

Н.Р. Юсупбеков, Ҳ.С. Нурмухамедов, С.Г. Зокиров

Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари

ЎзР ФА академиги Н.Р. Юсупбеков таҳририяти остида

**Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта
махсус таълим вазирлиги томонидан олий
ўқув юртлари учун дарслик сифатида
тавсия этилган**

**«Шарқ» нашриёт-матбаа акциядорлик
компанияси Бош таҳририяти
Тошкент - 2003**

Тақризчилар: Абу Райхон Беруний номидаги ТошДТУ нинг
«САНОАТ ИССИҚЛИК ЭНЕРГЕТИКАСИ»
кафедраси;

ЎзР ФА акад. Б.М. БЕГЛОВ;

т.ф.д., проф. М.М. ЮСИПОВ.

Н.Р. Юсупбеков, Ҳ.С. Нурмухамедов, С.Г. Зокиров. Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари. - Т.; «Шарқ», 2003. - 644 б.

Дарсликда кимёвий технология асосий жараёнлари, уларнинг назарияси, типик қурилмалар конструкциялари ва ишлаш принциплари ҳамда уларни ҳисоблаш услублари баён этилган.

Ушбу дарслик «Кимёвий технология», «Биотехнология», «Нефт, нефт ва газни қайта ишлаш технологияси», «Озиқ-овқат маҳсулотлари технологияси», «Дон ва дон маҳсулотлари технологияси», «Ёғочсозлик саноати технологияси, машина ва жиҳозлари», «Қурилиш материаллари ва конструкциялари технологияси», «Касбий таълим» ва «Атроф муҳит муҳофазаси», кимё ва нефт-газ кимёси. ҳамда юқорида қайд этилган мутахассисликлар машинасозлиги гуруҳига кирувчи йўналишларда таълим олувчи бакалавр ва магистрларга дарслик сифатида тавсия этилади. Бундан ташқари ундан кимё ва бошқа саноатларнинг инженер-техник ходимлари, аспирант ва докторантлари ҳам қўлланма сифатида фойдаланишлари мумкин.

Жадвал 19 та, расм — 424 та, адабиётлар — 133 та.

ББК 35.11

© «Шарқ» нашриёт-матбаа акциядорлик
компанияси Бош таҳририяти, 2003 йил.

МУНДАРИЖА

КИРИШ	9
1. «Жараён ва қурилмалар» фанининг мазмуни ва моҳияти	11
2. «Жараён ва қурилмалар» фанининг келиб чиқиши ва ривожланиши	12
3. Асосий технологик жараёнлар классификацияси	13
1-боб. УМУМИЙ ҚИСМ	
1.1. Ҳом-ашё, материал ва маҳсулотларнинг асосий хоссалари	16
1.2. Ўқшашлик назарияси асослари	25
1.3. Жараён ва қурилмаларни ҳисоблаш ва таҳлилининг асосий принциплари	32
2-боб. ГИДРАВЛИКА АСОСЛАРИ	
ГИДРОСТАТИКА	
2.1. Умумий тушунчалар	35
2.2. Эйлернинг мувозанат дифференциал тенгламаси	35
2.3. Гидростатиканинг асосий тенгламаси	37
2.4. Гидростатиканинг асосий тенгламасини амалиётда қўллаш	38
ГИДРОДИНАМИКА	
2.5. Суюқлик ҳаракатининг асосий характеристикалари	40
2.6. Оқимнинг узлуксизлик тенгламаси	42
2.7. Суюқлик ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенгламаси.	44
2.8. Ҳақиқий суюқлик оқими учун Бернулли тенгламаси	45
2.9. Суюқлик ҳаракатининг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси.	48
2.10. Бернулли тенгламасининг амалий қўлланилиши	49
2.11. Суюқлик ҳаракати режимлари	51
2.12. Ламинар ҳаракат қонунлари	53
2.13. Турбулент ҳаракат режими	55
2.14. Қовушоқ суюқлик ҳаракатининг критериял тенгламалари	57
2.15. Труба қувурларидаги гидравлик қаршилик	58
2.16. Труба қувурлари диаметрини ҳисоблаш	63
2.17. Насадка ва тешиклар орқали суюқлик оқиб чиқиши	64
2.18. Қаттиқ jismlarнинг суюқликда ҳаракати	68
НАСОСЛАР	
2.19. Умумий тушунчалар	71
2.20. Насослар классификацияси	71
2.21. Насосларнинг асосий параметрлари..	71
2.22. Марказдан қочма насослар	74
2.23. Поршенли насослар	80
2.24. Насосларнинг махсус турлари.	85
2.25. Насосларни таққослаш	88
КОМПРЕССОРЛАР	
2.26. Асосий тушунчалар	89
2.27. Газларни сиқиб жараёнининг термодинамик асослари	89
2.28. Поршенли компрессорлар	93
2.29. Роторли компрессорлар	98
2.30. Марказдан қочма типдаги компрессорлар	99
2.31. Ўқли ва винтли компрессорлар	101
2.32. Вакуум-насослар	103
2.33. Компрессорларни таққослаш ва танлаш	104
3-боб. ГИДРОМЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР	
3.1. Турли жинсли системалар классификацияси	106

3.2.	Ажратиш усуллари	107
3.3.	Ажратиш жараёнининг моддий баланси	107
ТИНДИРИШ ВА ЧЎКТИРИШ		
3.4.	Оғирлик кучи таъсирида чўктириш	108
3.5.	Сиқиқ чўкиш тезлиги	111
3.6.	Суспензия концентрацияси ва заррачалар шаклининг чўкиш тезлигига таъсири	113
3.7.	Марказдан қочма куч таъсирида чўктириш	113
3.8.	Тиндириш ва чўктириш қурилмалари	115
ФИЛЬТРАШ		
3.9.	Умумий тушунчалар	122
3.10.	Фильтрлаш турлари	123
3.11.	Фильтрлаш жараёнининг назарий асослари	124
3.12.	Фильтрлар	126
3.13.	Фильтрлаш жараёнини интенсивлаш	132
3.14.	Фильтрларни ҳисоблаш	133
ГАЗЛАРНИ ТОЗАЛАШ		
3.15.	Умумий тушунчалар	135
3.16.	Оғирлик кучи таъсирида газларни тозалаш	136
3.17.	Инерцион ва марказдан қочма кучлар таъсирида газларни тозалаш	137
3.18.	Газларни ғовакли тўсиқларда тозалаш	139
3.19.	Газларни суюқлик билан ювиб тозалаш	142
3.20.	Электр майдон таъсирида газларни тозалаш	144
3.21.	Газларни тозалаш жараёнини интенсивлаш	148
ҚЎЗҒАЛМАС ВА МАВҲУМ ҚАЙНАШ ҚАТЛАМЛАРИ ГИДРОДИНАМИКАСИ		
3.22.	Умумий тушунчалар	150
3.23.	Қўзғалмас донатор ва ғовак қатламлар орқали суюқлик ҳаракати	150
3.24.	Мавҳум қайнаш жараёни асослари ва гидродинамикаси	154
3.25.	Оқимчали мавҳум қайнаш	161
3.26.	Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар	164
АРАЛАШТИРИШ		
3.27.	Умумий тушунчалар	166
3.28.	Суюқликни аралаштириш усуллари	166
3.29.	Пластмассаларни аралаштириш	171
3.30.	Сочилувчан материалларни аралаштириш	172
3.31.	Аралаштириш мосламаларини ҳисоблаш	174
ТЕСКАРИ ОСМОС ВА УЛЬТРАФИЛЬТРАШ		
3.32.	Умумий тушунчалар	181
3.33.	Тескари осмос ва ультрафилтрлаш жараёнларнинг физик-кимёвий асослари	183
3.34.	Диффузион-мембранали жараёнлар	185
3.35.	Мембраналарни тозалаш усуллари	187
3.36.	Мембранали қурилмалар тузилиши ва ишлаш принципи	188
3.37.	Мембранали жараён ва қурилмаларни ҳисоблаш	193

4-боб. ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНЛАРИ

ИССИҚЛИК ЎТКАЗИШ		
4.1.	Умумий тушунчалар	196
4.1.1.	Иссиқлик баланси	197
4.1.2.	Температура майдони ва градиенти	198

4.2.	Иссиқлик ўтказувчанлик	199
4.2.1.	Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси	200
4.2.2.	Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги	202
4.2.3.	Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги	204
4.2.4.	Шарсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги	205
4.2.5.	Мураккаб шаклли жисмлар иссиқлик ўтказувчанлиги	207
4.3.	Иссиқлик нурланиши	208
4.4.	Конвектив иссиқлик алмашилиши	212
4.4.1.	Ньютон қонуни	212
4.4.2.	Конвектив иссиқлик алмашилишининг дифференциал тенгламаси (Фурье-Кирхгоф тенгламаси)	213
4.4.3.	Конвектив иссиқлик алмашилишининг ўхшашлик критерий ва тенгламалари.	215
4.4.4.	Эркин конвекция даврида иссиқлик бериш	217
4.4.5.	Мажбурий конвекция даврида иссиқлик бериш	218
4.4.6.	Иссиқлик элтикичнинг агрегат ҳолати ўзгаришида иссиқлик бериш	219
4.5.	Иссиқлик ўтказиш	223
4.6.	Иссиқлик алмашилиши жараёнларини ҳаракатга келтирувчи куч	226
ИСИТИШ, БУҒЛАНИШ, СОВИТИШ ВА КОНДЕНСАЦИЯЛАШ		
4.7	Умумий тушунчалар	230
4.7.1.	Буг билан иситиш	230
4.7.2.	Иссиқ сув билан иситиш	231
4.7.3.	Юқори температурали органик суюқлик ва уларнинг буғлари билан иситиш	231
4.7.4.	Тўйинган сув буғи билан иситиш	232
4.7.5.	Тутун газлари билан иситиш	233
4.7.6.	Электр токи билан иситиш	233
4.8.	Конденсациялаш	234
4.9.	Атроф муҳит температурасигача совитиш	235
4.10.	Атроф муҳит температурасидан паст температурагача совитиш.	237
4.11.	Иссиқлик алмашилиши қурилмалари	238
4.11.1.	Сиртий иссиқлик алмашилиши қурилмалари	238
4.11.2.	Регенератив иссиқлик алмашилиши қурилмалари	254
4.11.3.	Аралаштирувчи иссиқлик алмашилиши қурилмалари	255
4.12.	Иссиқлик алмашилиши қурилмаларини танлаш	257
4.13.	Иссиқлик алмашилиши жараёнларини интенсивлаш.	260
БУҒЛАТИШ		
4.14.	Умумий тушунчалар	269
4.15.	Буғлатишнинг назарий асослари.	270
4.16.	Буғлатиш усуллари	272
4.16.1.	Оддий буғлатишнинг моддий баланси	274
4.16.2.	Оддий буғлатишнинг иссиқлик баланси	274
4.16.3.	Иситиш юзаси	275
4.17.	Буғлаткичлар тузилиши ва ишлаш принциплари	280
4.18.	Перспектив иссиқлик алмашилиши қурилмалари	287
4.19.	Қобик-трубали иссиқлик алмашилиши қурилмаларини ҳисоблаш	291

5-БОБ. МАССА АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНЛАРИ

МАССА АЛМАШИНИШ АСОСЛАРИ

5.1.	Умумий тушунчалар	302
5.2.	Масса ўтказиш кинетикаси	303
5.3.	Масса алмашилиши жараёнининг моддий баланси	305
5.4.	Масса ўтказишнинг асосий қонунлари	306
5.5.	Қаттиқ жисм иштирокида масса алмашилиши	310
5.6.	Конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламаси	314

5.6.1.	Масса алмашиниш жараёни механизми	317
5.6.2.	Масса ўтказиш ва бериш коэффициентлари ўртасидаги боғлиқлик.	318
5.6.3.	Масса алмашиниш жараёнларининг моделлари	319
5.6.4.	Масса алмашиниш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи куч.	321
5.7.	Масса алмашиниш қурилмаларининг асосий ўлчамларини ҳисоблаш	325
АБСОРБЦИЯ		
5.8.	Умумий тушунчалар	329
5.9.	Абсорбция жараёнининг физик асослари	329
5.10.	Абсорбциянинг моддий баланси ва кинетик қонуниятлари.	331
5.11.	Абсорбция жараёнини олиб бориш усуллари.	334
5.12.	Абсорберлар конструкциялари	335
5.13.	Абсорберларни ҳисоблаш.	344
ҲАЙДАШ ВА РЕКТИФИКАЦИЯ		
5.14.	Умумий тушунчалар	350
5.15.	Ҳайдаш ва ректификация жараёнларининг назарий асослари	350
5.16.	Оддий ҳайдаш	354
5.17.	Ректификация	357
5.17.1.	Ректификация жараёнининг моддий ва иссиқлик баланслари	358
5.17.2.	Ўзлуксиз ишлайдиган ректификацион колоннанинг иссиқлик баланси.	360
5.17.3.	Ҳақиқий флегма сони.	362
5.17.4.	Ректификацион колонна ишчи баландлиги ва тарелкалар сонини ҳисоблаш	362
5.18.	Ректификация жараёнини ташкил этиш усуллари.	363
5.19.	Ректификацион колонналарни ҳисоблаш	365
«СУЮҚЛИК–СУЮҚЛИК» СИСТЕМАСИДА ЭКСТРАКЦИЯЛАШ		
5.20.	Умумий тушунчалар	369
5.21.	«Суюқлик - суюқлик» системасининг мувозанати.	370
5.22.	Экстракция жараёнида масса ўтказиш	372
5.23.	Экстракция жараёнини ташкил этиш усуллари	374
5.24.	Экстракторлар конструкциялари.	377
5.25.	Экстракторларни ҳисоблаш	383
«ҚАТТИҚ ЖИСМ – СУЮҚЛИК» СИСТЕМАСИДА ЭКСТРАКЦИЯЛАШ		
5.26.	Умумий тушунчалар	393
5.27.	Эритиш жараёни статикаси ва кинетикаси	393
5.28.	Ишқорлаб ажратиш экстракторларининг конструкциялари	396
5.29.	Эриткичларни ҳисоблаш.	401
АДСОРБЦИЯ		
5.30.	Умумий тушунчалар	404
5.31.	Адсорбентлар турлари ва характеристикалари	405
5.32.	Адсорбция жараёни мувозанати	407
5.33.	Адсорбция статикаси ва кинетикаси	408
5.34.	Адсорбция жараёнини ташкил этиш усуллари	411
5.35.	Десорбция	411
5.36.	Адсорберлар конструкциялари	412
5.37.	Адсорберларни ҳисоблаш	419
5.38.	Ион алмашиниш жараёнлари ва қурилмалари	421
ҚУРИТИШ		
5.39.	Умумий тушунчалар	426
5.40.	Рамзиннинг нам ҳаво I-х диаграммаси	427

5.41.	Қуриштиш жараёни статикаси.	431
5.42.	Материал билан намликнинг боғланиш усуллари	432
5.43.	Қуриштиш жараёни кинетикаси	435
5.44.	Қуриштишнинг моддий ва иссиқлик баланслари.	441
5.45.	Қуриштиш жараёнини ташкил этиш усуллари.	447
5.46.	Қуриштишлар конструкциялари	449
5.47.	Қуриштишларни ҳисоблаш	459

КРИСТАЛЛИНИШ

5.48.	Умумий тушунчалар	471
5.49.	Кристаллиниш статикаси ва кинетикаси	471
5.50.	Кристаллиниш усуллари	474
5.51.	Кристаллизаторлар конструкциялари	475
5.52.	Кристаллизаторларни ҳисоблаш	479

6-БОБ. БИОКИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР

6.1.	Умумий тушунчалар	482
6.2.	Ферментация жараёни кинетикаси	485
6.3.	Ферментация жараёнида масса алмашилиш	487
6.4.	Ферментаторлар конструкциялари	488
6.5.	Микробиологик синтез асосида маҳсулот ишлаб чиқаришнинг умумлашган технологик схемаси	489
6.6.	Ферментация жараёнининг тавсифлари ва технологик схемалари	491

7-БОБ. МЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР

ҚАТТИҚ МАТЕРИАЛЛАРНИ МАЙДАЛАШ ВА КЛАССИФИКАЦИЯЛАШ

7.1.	Умумий тушунчалар	496
7.2.	Сочилувчан материаллар механикасининг асослари	497
7.3.	Майдалаш усуллари	499
7.4.	Майдалагичлар конструкциялари	501
7.5.	Донадор, сочилувчан материалларни классификациялаш	511
7.6.	Қаттиқ материалларни майдалашнинг махсус усуллари.	515

8-БОБ. ГРАНУЛЛАШ ВА ПРЕССЛАШ

8.1.	Умумий тушунчалар	517
8.2.	Сувсизлантириш ва брикетлаш	517
8.3.	Шакллантириш	519
8.4.	Маҳсулотларни пресслаш ускуналари	519
8.5.	Грануллаш усуллари ва гранулятор конструкциялари	523
8.6.	Сочилувчан материални грануллашга мойиллигини баҳолаш	530
8.7.	Грануляторларни ҳисоблаш	531

9-БОБ. КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР

9.1.	Умумий тушунчалар	533
9.2.	Кимёвий айланишлар давридаги мувозанат	533
9.3.	Кимёвий жараёнлар кинетикаси	537
9.4.	Кимёвий жараёнлар моддий ва иссиқлик баланслари	543
9.5.	Кимёвий жараёнлар принципиал схемалари	545
9.6.	Реакторлар конструкциялари	546
9.7.	Реакторларнинг аралаштириш ва иссиқлик алмашилиш мосламалари	548
9.8.	Реакторларни ҳисоблаш	551

10-боб. СОВИТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

10.1.	Умумий тушунчалар	554
10.2.	Совуқлик олишнинг термодинамик асослари	554
10.3.	Сунъий совитиш усуллари	556
10.4.	Паст температура олиш усуллари	560
10.5.	Компрессор буғ совитиш машиналари	561
10.6.	Икки ва уч босқичли совитиш машиналари	564
10.7.	Совуқлик элткичлар	565
10.8.	Каскадли цикл	567
10.9.	Компрессор қурилмаларининг жиҳозлари	568
10.10.	Абсорбцион совитиш машиналари	568
10.11.	Сув-буғ инжектор совитиш машиналари	570
10.12.	Ўта паст температурали совуқлик олиш	570
10.13.	Газни дросселлаш цикллари	571
10.14.	Бир карра дросселланишли ва аммиакли совитиш цикли.	572
10.15.	Икки карра дросселланишли ва газнинг босим остидаги айланишли цикли	573
10.16.	Дросселланиш ва газни детандерда кенгайишига асосланган циклар	574
10.17.	Паст босим цикли (Капица цикли).	576
10.18.	Чуқур совитиш цикллари солиштириш	577
10.19.	Совитиш жараёни ва машиналарини ҳисоблаш.	579

11-боб. КИМЁ САНОАТИНИНГ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЯ АСОСЛАРИ

11.1.	Умумий тушунчалар	586
11.2.	Энергокимё-технологик системаларни (ЭКТС) термодинамик таҳлил қилиш усуллари	586
11.3.	Эксергия турлари	591
11.4.	Эксергетик ҳолат диаграммалари	594
11.5.	Эксергетик йўқотилиш турлари.	595
11.6.	ЭКТС ва элементларининг эксергетик баланси ва фойдали иш коэффициенти.	597
11.7.	Эксергетик унумдорлик ва қувват	600
11.8.	Термодинамик системалар энергетик ва эксергетик характеристикалари ўртасидаги боғлиқлик	601
11.9.	ЭКТС умумий кўрсаткич ва элементларнинг характеристикалари орасидаги боғлиқлик.	602
11.10.	Кимёвий технология жараёнларининг эксергетик таҳлили	603
11.11.	ЭКТС таҳлили ва термодинамик оптималлаш.	608
11.12.	Жараён ва қурилмалар эксергиясини ҳисоблаш	609

И Л О В А Л А Р 614

И1.	Физик катталиклар ўлчов бирликлари системаси	615
И2.	Асосий конструкцион материаллар ва уларнинг хоссалари	618

ТАЯНЧ СЎЗ ва ИБОРАЛАР 624

АДАБИЁТЛАР 638

КИРИШ

Ўзбекистон мустақил миллий демократик давлат сифатида ривожланиш йўлида муҳим қадамларидан бири **“Таълим тўғрисида”** ги янги Қонун, ҳамда **“Кадрлар тайёрлаш Миллий дастури”** нинг қабул қилиниши катта аҳамиятга эга.

Ватанимиз халқ хўжалиги учун малакали мутахассислар тайёрлашда **“Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари”** фанининг алоҳида ўрни бор.

Бу фан талабаларга ихтисослик фанларини чуқур ўзлаштиришга, қай йўл билан ишлаб чиқариш интенсивлигини ошириш ва технологик қурилмалардан унумли фойдаланиш мумкинлигини ўргатади.

Дарсликда келтирилган жараёнлар назарий асослари, уларни ҳисоблаш усуллари ва самарадор қурилмалар билан жиҳозлаш принциплари ушбу фан асосини ташкил этади.

Ушбу дарслик замонавий техника ва унинг ривожланиш истиқболларини ҳисобга олган ҳолда малакали мутахассисларни сифатли тайёрлашда узлуксиз мукаммаллаштиришга хизмат қилади.

Охирги ўн йил ичида кимёвий, нефт ва газни қайта ишлаш озиқ-овқат ва бошқа саноатларда кескин ўзгаришлар рўй бериб, янги технологиялар амалда қўлланиб, ривожланиш бошланди. Бундай ўзгаришлар жараён ва қурилмалар фанини янада юқори даражага кўтарилишига сабабчи бўлди. Ушбу фаннинг бундай юқори савияга кўтарилишига ҳисоблаш техникасининг гуркираб ривожланиши ҳам ўз хиссасини қўшди, чунки у жараён ва қурилмаларни ўрганиш, моделлаштириш ва ҳисоблаш ишларини мисли қўрилмаган имкониятларини яратди.

Ҳар бир жараённи ўрганишда унинг статикаси ва кинетикасига, яъни ўрганилаётган системанинг мувозанат нисбатлари ва жараён механизмига алоҳида эътибор бериш зарур.

Тавсия этилаётган дарслик фаннинг тасдиқланган дастурига биноан тузилган бўлиб, талабаларнинг физика, химия, математика, термодинамика, иссиқлик ва совитиш техникаси ва бошқа фанлардан олган билимларини ҳисобга олган.

Дарсликнинг кириш қисмида **«Жараён ва қурилмалар»** фанининг мазмуни, келиб чиқиши ва жараёнлар классификациялари берилган.

1-бобда газ, суюқлик, хом-ашё ва маҳсулотларнинг асосий физик-механик ва иссиқлик-диффузион хоссалари, ўхшашлик назарияси асослари, ўхшашлик теоремалари ва шартлари, ўлчов бирликлар таҳлил усули, ҳамда жараён ва қурилмалар таҳлилининг асосий принциплари, машина ва қурилмаларга қўйиладиган талаблар келтирилган.

2-боб гидравлика асослари, яъни суюқликлар гидростатика ва гидродинамикаси, суюқлик ҳаракатининг асосий характеристикалари, труба қувурларидаги гидравлик қаршилик, уларнинг оптимал диаметрини аниқлаш, қаттиқ жисмларнинг суюқликдаги ҳаракати, насос ва компрессор машиналарининг тузилиши, ишлаш принципи ва уларни танлашга бағишланган.

Кейинги 3-бобда гидромеханик жараёнлар, яъни турли жинсли газсимон ва суюқлик аралашмаларини ажратишга бағишланган. Бунда тиндириш ва чўктириш, филтрлаш, газларни тозалаш, мавҳум қайнаш қатлами гид-

родинамикаси, аралаштириш, тескари осмос ва ультрафилтрлаш каби жараёнлар ўрганилади. Ҳар бир бўлим охирида, ушбу жараённи интенсивлаш ёки қурилмани ҳисоблаш услуби келтирилган.

4-боб бутунлай иссиқлик алмашилиш жараёнлар назарияси, уни ташкил этиш усуллари ва қурилмаларига бағишланган. Ундан ташқари, ушбу бобда иситиш, совитиш, буғлатиш ва конденсациялаш жараёнлари, иссиқлик элтикичлар турлари ва ушбу жараёнларнинг асосий теорема ва қонуниятлари, ҳамда эритмаларни буғлатиш усуллари ва қурилмалари кўриб чиқилган. Шу билан бирга, бу бобда иссиқлик алмашилиш жараёнларини интенсивлаш усуллари, мосламалари ва перспектив иссиқлик алмашилиш қурилмалари келтирилган. Ушбу бобнинг якунида турли иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ҳисоблаш кетма-кетлиги берилган.

Масса алмашилиш жараён ва қурилмалари 5-бобда баён этилган. Унда жараённинг назарий асослари билан бирга, абсорбция, ҳайдаш ва ректификация, экстракция, адсорбция, қуриштириш, кристалланиш каби жараёнлар ва уларни қурилмалар билан жиҳозлаш тизимлари кўрсатилган.

6-бобда биокимёвий жараёнларда масса алмашилиш назарияси ва уни ўтказиш учун қурилмалар конструкциялари, тузилиши ва ишлаш принциплари, ҳамда жараённинг умумлашган технологик схемалари келтирилган.

7,8-боблар механик жараёнларга бағишланган. Уларда қаттиқ жисмларни майдалаш усуллари, жараёнларнинг назарий асослари, классификациялаш, грануллаш ва пресслаш, ҳамда бу жараёнларга тегишли қурилмалар конструкциялари ва уларни ҳисоблаш услублари берилган.

Кимёвий жараёнлар 9-бобда баён этилган бўлиб, унда жараён мувозанати, кинетикаси, ташкил этиш усуллари ва реакторлар конструкциялари, ҳамда реакторларнинг аралаштириш, иссиқлик алмашилиш мосламалари ва бу турдаги қурилмаларнинг ҳисоблаш кетма-кетликлари келтирилган.

10-бобда сунъий совуқлик олиш, яъни ўрта ва ўта паст температуралар олиш усуллари ва қурилмалари баён этилган.

11-бобда кимё саноатининг энерготехнология асослари, эксергия, кимёвий технология жараёнларининг эксергетик таҳлили ва термодинамик оптималлаш, ҳамда қурилмалар эксергиясининг ҳисоби келтирилган. Жумладан, китобнинг илова қисмида физик катталиклар ўлчам бирликлари системаси, асосий конструкцион материаллар ва уларни танлаш учун жадваллар берилган.

Ҳар боб унга тегишли қурилмаларни ҳисоблаш билан якунланади.

Китобнинг ҳажми чегараланганлиги ва фақат ўқув дастури тўлиқ ёритилиши лозим бўлганлиги сабабли дарсликда минимал миқдорда эмпирик формулалар ва ёрдамчи маълумотлар келтирилган.

Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмаларини ҳисоблаш эмпирик тенгламалари, қурилма қисмлари ва деталлари тўғрисидаги тўлиқ маълумотлар қуйидаги ўқув қўлланмаларда батафсил келтирилган:

Юсупбеков Н.Р., Нурмуҳамедов Ҳ.С., Исматуллаев П.Р. «Кимё ва озиқ-овқат саноатларининг жараёнлари ва қурилмалари фанидан ҳисоблар ва мисоллар». — Тошкент, Nisim, 1999. — 351 б;

- Юсупбеков Н.Р., Нурмуҳамедов Ҳ.С., Исматуллаев П.Р., Зокиров С.Г., Маннанов У.В. «Кимё ва озиқ-овқат саноатларининг асосий жараён ва қурилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш». — Тошкент, Жаҳон, 2000. — 266 б.

Бу икки китобларни ушбу дарсликнинг амалий қисми деб ҳисобласа бўлади.

Ушбу дарслик ТошКТИ «Технологик жараён ва қурилмалар» кафедраси профессор-ўқитувчиларининг кўп йиллик тажрибасига таяниб ёзилган. Ки-

тобнинг кириш, 1,3,5,6 боблари ЎзР ФА акад. Юсупбеков Н.Р., 4,5,7,8,9 боблари ва дарсликнинг якунидаги таянч сўз ва иборалар проф. Нурмухамедов Х.С. ва 4,10,11 боблари эса - проф. Зокиров С.Г лар томонидан ёзилган.

Муаллифлар номидан кафедра доценти Нигматджонов С.К. га 2,3 бобларни ёзиб берганлиги ва проф.Вакил М.М.га 6 бобнинг тақризи учун катта миннатдорчилик билдирамыз.

Ушбу дарсликни компьютерда кафедранинг доц. Абдуллаев А.Ш., асс. Алиева Ш.Ш. таборантлари Ўтбосарова М., Абдуллаева С., Ҳалилова Л., Тўхтаева М. ва талаба Шахабидинов Р.Ж. лар теришди. Муаллифлар номидан уларга катта миннатдорчилик билдирамыз.

Дарсликнинг сифатини яхшилаш учун қаратилган таклиф ва танқидий фикр-мулоҳазалар ташаккурлик билан қабул қилинади.

Қўлёзманинг тақризчилари: Абу Райхон Беруний номидаги Тошкент Давлат техника университетининг «Саноат иссиқлик энергетикаси» кафедрасига, ЎзР ФА акад. Беглов Б.М. ва проф.Юсипов М.М. ларга катта миннатдорчилик билдирамыз.

Бизнинг манзилимиз: 700011, Тошкент, Навоий кўчаси, 32 уй. ТошКТИ, КТФ, «Технологик жараён ва қурилмалар» кафедраси.

1. «Жараён ва қурилмалар» фанининг мазмуни ва моҳияти

«Жараён ва қурилмалар» фани бакалаврларни тайёрлашда умуммухандислик бўлим фанларидан, махсус фанларни ўрганишга ўтишда энг муҳим вазифани бажарувчи зарур фандир.

Ҳозирги кун фанининг аниқловчи ва тавсифловчи белгиларидан бири бу саноат ва техниканинг фан билан узвий боғланишининг чуқурлашиши ва кенгайишидир. Дунёнинг кўпчилик таниқли олимлари фан ва унинг амалиётда қўлланиши бир бутун ва узвий боғлиқ эканлигини таъкидлаган.

«Жараёнлар ва қурилмалар» фани ҳақидаги замонавий таълим кимё, физика, математика, механика, иссиқлик ва совуқлик техникаси, электротехника, кимёвий кибернетика, материалшунослик, саноат иқтисодиёти ва бошқа соҳалар фундаментал фанларининг асосий қонунларига таянади. Лекин, жараёнлар ва қурилмалар тўғрисидаги таълим фан сифатида аниқ, алоҳида курс бўлиб, ўзининг тажриба, ҳисоблаш услублари, ҳамда назарий қонуниятлари билан ажралиб туради.

Кимё, озиқ-овқат, нефт ва нефт маҳсулотларини қайта ишлаш, фармацевтика ва халқ хўжалиги саноатларининг бошқа тармоқлари учун умумий бўлган жараёнлар ва қурилмалар **асосий жараёнлар ва қурилмалар** деб аталади.

Исталган кимёвий ёки бошқа технологик жараён, унинг турли услубларда ўтказилишидан қатъий назар, ўзаро бир-бирига боғлиқ типик технологик босқичлар мажмуасидан иборат.

«Жараён ва қурилмалар» курсида асосий жараёнларнинг назарияси, ушбу жараёнларни амалга оширадиган машина ва қурилмаларнинг тузилиш принциплари ва уларни ҳисоблаш услублари ўрганилади.

Маълумки, кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноат технологиялари мураккаб ва кўпинча бир неча жараёнлардан ташкил топган бўлади.

Ушбу дарсликда асосий жараёнлар асослари келтирилган бўлиб, уларни ўрганиш учун бир хил кинетик қонуниятлар қўлланилган.

Замонавий саноат ишлаб чиқариш жараёнларини лойиҳалашда «Жараён ва қурилмалар» фанининг аҳамияти катта. Бу фан асосида турли хил

жараёнларнинг ҳисоблаш ва таҳлил қилиш, уларнинг оптимал параметрларини аниқлаш, зарур қурилмаларни ҳисоблаш ва лойиҳалаш мумкин. Ундан ташқари, ушбу курсда лаборатория шароитидаги жараён ва қурилмалардан саноат жараён ва қурилмаларига **масштаб** усулида ўтиш қонуниятлари ҳам ўрганилади. Бу қонуниятларни билиш, кўп тонналик саноат жараён ва қурилмаларини лойиҳалашга ёрдам беради ва зарур.

Лаборатория шароити ва кичик системаларда олинган тажрибавий натижалардан саноат ва катта кимёвий технологик системаларда фойдаланиш қонуниятлари **моделлаштириш** деб юритилади.

Моделлаштириш «жараён ва қурилмалар» фанининг муҳим вазифаларидан бири ва ажралмас қисми деб ҳисобланади. «Кимёвий технология ва биотехнология», «Озиқ-овқат маҳсулотлари технологияси», «Дон ва дон маҳсулотларини қайта ишлаш технологияси», «Нефт ва нефт маҳсулотларини қайта ишлаш технологияси», «Атроф муҳит муҳофазаси», «Қасбий таълим» йўналишларидаги бакалаврлар кенг мухандислик дунёқарашга эга мутахассислар бўлиши керак.

Ундан ташқари, улар жараёнларни технологик қурилмалар билан жиҳозлашнинг илмий принципларини тушуниши, қурилмаларни техник-иқтисодий характеристикаларини таҳлил қилиш, баҳолаш ва энг оптимал қурилмани танлаш, жараёнлар самарадорлигини ва тежамкорлигини ошириш омилларини аниқлаш, энергия сарфини ва маҳсулот таннархини камайтириш йўллари билишлари керак.

Ундан ташқари, бакалаврлар саноат самарадорлигини ошириш учун илмий тадқиқот усулларини мукамал билишлари зарур.

2. «Жараён ва қурилмалар» фанининг келиб чиқиши ва ривожланиши

«Жараён ва қурилмалар» фанининг келиб чиқиши кимё саноатининг ривожланиши билан боғлиқ бўлиб, XVIII аср охири ва XIX асрнинг бошларига тўғри келади ва жуда қисқа вақт ичида кўпчилик мамлакатлар халқ хўжалигининг муҳим тармоқларидан бирига айланди. Кимё саноатининг ривожланиши билан турли саноатдаги жараёнларни умумлаштирувчи, машина ва қурилмаларнинг ҳисобини рационал ҳал этувчи фанга эҳтиёж кучайди.

Ушбу фанни келиб чиқишида Россия, АҚШ олим ва мухандисларининг ҳиссалари катта. Биринчи бўлиб, 1828 йилда кимё саноатининг турли соҳаларида қўлланиладиган асосий жараён ва қурилмаларнинг умумий қатори тўғрисидаги ғояни проф. Ф.А.Денисов билдирди. Сўнг эса, Д.И.Менделеев кимёвий технология асосий жараёнларининг классификациясини тузиб чиқди. XIX асрнинг охирида Санкт-Петербург технология институтининг профессори А.К.Крупский «Асосий жараёнлар ва қурилмаларни ҳисоблаш ва лойиҳалаш» фани бўйича маъруза ўқий бошлади.

Ундан кейин, Москва олий техника университетида проф. И.А.Тищенко ушбу фан бўйича маъруза ўқийди. Шунинг учун, профессорлар А.К.Крупский ва И.А.Тищенко «Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг асосчилари ҳисобланади.

1923 йили АҚШ олимлари Уокер, Льюис ва Мак-Адамсларнинг «Жараён ва қурилмаларнинг принциплари» номли китоби чоп этилади.

«Жараён ва қурилмалар» тўғрисидаги фаннинг айрим бўлимларини ишлаб чиқишда проф. И.А.Тищенко (буғлатиш қурилмаларини ҳисоблаш назарияси), проф. Д.П.Коновалов (суяқ аралашмаларни ҳайдашнинг назарий асос-

лари), проф.Л.Ф.Фокин ва проф.К.Ф.Павлов (оригинал ва чуқур мазмунли монографиялари) катта хисса қўшишди. 1935 йилда проф.А.Г. Касаткин томонидан «Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари» дарслигининг чоп этилиши, уни фан сифатида тан олинишида ва ривожланишида муҳим аҳамиятга эга бўлди.

Проф.Д.П.Коновалов кимёвий технология фанининг асосий вазифасини қуйидагича «Кимёвий технологиянинг энг асосий вазифаси шундаким, у жараёнлар ўтиши учун энг қулай шарт-шароитларни топиш ва уларга мос саноат асбоблари ва механик ускуналар лойиҳалаштириш» деб белгиланган.

Россияда жараён ва қурилмалар фани Д.И.Менделеев номли кимё-технология институтида алоҳида ривож топди. Бу институтдаги илмий мактабларга А.Г. Касаткин, В.В.Кафаровлар раҳбарлик қилишган; МИХМда - А.Н.Плановский; М.В.Ломоносов номли МИТХТда - Н.И. Гельперин.

Илмий мактаблар Ленсовет номли ЛТИ да (П.Г.Романков), КТИПП да (В.Н.Стабников, В.М.Лисянский) ҳам ташкил этилган.

«Жараён ва қурилмалар» фани Ўзбекистонда ўтган асрда илк бор ривож топа бошлади. 1950-60 йилларда Абу Райхон Беруни номидаги Тошкент политехника институти (ТошПИ)нинг Кимё-технология факультетида «жараёнлар ва қурилмалар» фанига алоҳида эътибор берилди.

ТошПИнинг етук олимлари М.И.Ниёзов, Н.У.Ризаев, И.П.Левш, О.Б.Ерофеева ва Х.Т.Тошпўлатовлар фанининг турли бўлимлари бўйича илмий мактаблар ташкил этишди.

Ўтган асрнинг 70-80 йилларида шу дарслик муаллифларидан ташқари З.Салимов, О.К.Убайдуллаев, В.И.Левш ва бошқалар жараён ва қурилмалар фани бўйича янги йўналишларга илмий раҳбарлик қилишди, катта ютуқларга эришишди, ўз илмий мактабларини ташкил этишди ва шу кунгача фаол ишлаб келишмоқда.

90-йилларда М.М.Юсипов (ион алмашиниш жараёнининг назарий асослари), Б.Э.Мухамедов (пахта чигити шротидан эритувчини ажратиш), Ш.Н.Нуритдинов (қаттиқ фаза иштирокидаги масса алмашиниш жараёнларини моделлаш), У.В.Маннанов (мураккаб реакцион-ажратиш жараёнларида иссиқлик ва масса алмашиниш) лар докторлик диссертацияларини ёқлашди ва шу кунгача ўз изланишлари билан жараён ва қурилмалар фанининг ривожланишига ўз хиссаларини қўшишмоқда.

3. Асосий технологик жараёнлар классификацияси

Жараён ва қурилмалар фанининг ривожланиши технологик жараёнларнинг илмий асосланган классификацияси ва тушунчалар системасини яратиш имконини берди.

Шунинг учун саноат жараёни, технология ва технологик қурилма, машина каби асосий тушунчаларни кўриб чиқамиз.

Саноат жараёни* - маълум натижага эришиш учун амалга ошириладиган кетма-кет ҳаракатларнинг мажмуаси ва йиғиндиси.

Технология — бу хом-ашёдан аввалдан белгиланган хоссаларга эга маҳсулот олиш мақсадида ўтказиладиган бир қатор усуллардир. Технологиянинг фан сифатидаги мақсади энг самарадор ва тежамкор технологик жараёнларни аниқлаш ва амалиётда қўллаш учун физик, кимёвий, механик ва бошқа қонуниятларини ўрганишдир.

* processus (лотинча) - ҳаракат

Технологик қурилма технологик жараёнларни ўтказиш учун мўлжалланган **қурилма***, **ускуна** ёки **мослама ёки жиҳоз**.

Машина — энергия ёки материални ўзгартириш учун механик ҳаракат қиладиган **ускуна** ёки **мослама**.

Кимё, озиқ-овқат ва бошқа технологияларни кўп қиррали, турли асосий жараёнларнинг **ўтиш** қонуниятларига қараб асосан 6 гуруҳга ажратса бўлади: 1) *гидромеханик* жараёнлар; 2) *иссиқлик алмашилиш* жараёнлар; 3) *масса алмашилиш* жараёнлар; 4) *механик* жараёнлар; 5) *кимёвий ва биокимёвий* жараёнлар; 6) *совитиш* жараёнлар.

ГИДРОМЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР — бу шундай жараёнларки, уларнинг тезлиги механика ва гидродинамика қонунлари билан белгиланади.

Уларга труба ва қурилмаларда газ ва суюқликларни узатиш, суюқликларни аралаштириш, эмульсия ва суспензияларни чўктириш, филтрлаш, центрифугалаш каби усулларида ажратиш, тескари осмос ва ультра-филтрлаш, донатор, сочилувчан материалларни мавҳум қайнаши каби жараёнлар киради.

Ҳар бир саноатда қайси жараён бўлишидан қатъий назар, унинг тезлигини оширишга ҳаракат қилинади, чунки жараён тезлигини кўпайиши қурилманинг иш унумдорлигини ўсишига олиб келади. Гидромеханик, иссиқлик ва масса алмашилиш, ҳамда кимёвий жараёнларнинг кинетик қонуниятлари қуйидаги умумий қонун кўринишида ифодаланиши мумкин: жараённинг тезлиги ҳаракатлантирувчи кучга тўғри ва қаршиликка тескари пропорционал.

Агар, қаршиликка тескари катталики тезлик коэффициентини деб белгиласак, гидромеханик жараёнлар учун кинетик тенглама ушбу кўринишга эга бўлади:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta P}{R_1} = K_1 \Delta P$$

бу ерда V — оқиб ўтадиган суюқлик миқдори; F — кўндаланг кесим юзаси; τ — вақт; K_1 — жараённинг тезлик коэффициенти; ΔP — ҳаракатга келтирувчи куч (босимлар фарқи); R_1 — гидравлик қаршилик.

ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНЛАРИ бу шундай жараёнларки, уларда, температураси юқори жисм (ёки муҳит) дан температураси паст жисмга (ёки муҳитга) иссиқлик ўтади. Уларга иситиш, пастеризация, стерилизация, совитиш, буғлатиш, конденсациялаш ва бошқалар киради. Иссиқлик алмашилиш жараёнларининг тезлиги иссиқлик ўтказиш қонунлари билан аниқланади ва қуйидаги кинетик тенглама орқали ифодланади:

$$\frac{dQ}{Fd\tau} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \Delta t$$

бу ерда Q — ўтказилган иссиқлик миқдори; F — иссиқлик алмашилиш юзаси; K_2 — иссиқлик ўтказиш коэффициенти; R_2 — термик қаршилик; Δt — ўртача температуралар фарқи.

МАССА АЛМАШИНИШ ЁКИ ДИФФУЗИОН ЖАРАЁНЛАР бу шундай жараёнларки, бунда концентрацияси юқори фазадан концентрацияси паст фазага турли агрегат ҳолатларда масса ўтади.

apparatus (лотинча) - **қурилма**

Бу жараёнларга абсорбция ва десорбция, ҳайдаш ва ректификация, адсорбция, экстракциялаш, эриш, кристалланиш, намлаш, қуриштиш, ион алмашилиш ва бошқалар киради.

Масса алмашилиш жараёнларнинг тезлиги масса ўтказиш қонунлари билан аниқланади ва қуйидаги кинетик тенглама орқати топилади:

$$\frac{dM}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta C}{R_3} = K_3 \cdot \Delta C$$

бу ерда M — ўтказилган масса миқдори; ΔC — жараёни ҳаракатга келтирувчи куч, ўртача концентрациялар фарқи; K_3 — масса ўтказиш коэффициенти; R_3 — диффузион қаршилиқ.

МЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР — бу шундай жараёнларки, уларда жисмларнинг фақат механик ўзаро таъсирида ўтади. Уларга қаттиқ, сочилувчан материалларни майдалаш, классификациялаш (синфлаш), пресслаш, грануллаш ва бошқалар киради.

КИМЁВИЙ ВА БИОКИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР бу шундай жараёнларки, уларда моддаларнинг кимёвий таркиби ва хоссалари ўзгариши билан характерланади. Ушбу жараёнларнинг тезлиги кимёвий кинетика қонунлари билан аниқланади ва қуйидаги тенглама ёрдамида ифодаланади:

$$\frac{dM}{V d\tau} = K_4 \cdot f(c)$$

бу ерда M — кимёвий жараён пайтида ўтган масса миқдори; V — реактор (қурилма) ҳажми; K_4 — кимёвий жараён тезлиги коэффициенти; $f(c)$ — жараёни ҳаракатга келтирувчи куч бўлиб, реакцияда иштирок этувчи моддалар концентрацияларининг функциясидир.

Шундай қилиб, юқорида кўриб чиқилган ҳамма кинетик тенгламалар қуйидаги умумий кўринишга келтирилиши мумкин:

$$I = I \cdot x$$

бу ерда I — жараёни ўтиш тезлиги; x — жараёни ҳаракатга келтирувчи куч, турли катталиклар фарқи (босим, температура, концентрация); I — ўтказувчанлик коэффициенти, бирор жараён учун скаляр катталик бўлиб, қаршилиқка тескари катталик.

Турли жараёнларнинг тезлик коэффициентлари асосан материал оқимларининг ҳаракат тезлигига боғлиқ. Шунинг учун, ҳамма кинетик қонуниятлар материал оқимларининг ҳаракат қонунларига асосланади.

Кинетик тенгламалар таҳлили жараёни интенсификациянинг умумий принципларини аниқлаш имконини беради. Жараён тезлигини ошириш учун ҳаракатга келтирувчи кучни ошириш ва қаршилиқни камайтириш керак.

Исталган жараён таҳлил қилинганда «ҳаракатга келтирувчи куч» асосий омилдир.

Жараёнларнинг кинетик қонуниятларини билиш ва тўғри аниқлаш турли хилдаги қурилмаларнинг асосий ўлчамларини топишда асос бўлади.

1-606. УМУМИЙ ҚИСМ



Кимё ва озиқ-овқат саноатларида турли хил хом-ашёлар қайта ишланади ва натижада қаттиқ, суюқ, буғ ва газ агрегат ҳолатларидаги турлитуман тайёр маҳсулотлар олинади. Маълумки, ҳар бир жараён ва қурилмаларни ҳисоблаш учун хом-ашё ва маҳсулотларнинг хоссаларини билиш зарур.

1.1. Хом-ашё, материал ва маҳсулотларнинг асосий хоссалари

Хом-ашёни қайта ишлаш натижасида ҳосил бўлган қўпгина кимё ва озиқ-овқат маҳсулотлари турли жинсли системалардан ташкил топган бўлади. Уларнинг асосий физик-механик ва диффузион-иссиқлик хоссалари зичлик, солиштирма оғирлик, қовушоқлик, сиртий таранглик, иссиқлик сиғим ва ўтказувчанлик, температура ўтказувчанлик ва бошқалар билан характерланади.

Зичлик. Ҳажм бирлигидаги V бир жинсли жисмнинг массаси m зичлик ρ деб юритилади:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

бу ерда ρ - зичлик, кг/м^3 ; m - масса, кг ; V - ҳажм, м^3 .

Зичлик катталигига тескари бўлган катталик солиштирма ҳажм v деб юритилади:

$$v = \frac{V}{m} \quad (2)$$

бу ерда v - солиштирма ҳажм, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Нисбий зичлик Δ деб модда ρ зичлигининг сув зичлиги ρ_c нисбатига айтилади ва у ушбу кўринишга эга:

$$\Delta = \frac{\rho}{\rho_c} \quad (3)$$

Суюқ, тоза моддалар эритмаларининг зичлиги эриган модда концен-трацияси ва эритма температурасига боғлиқ:

$$\rho = f(KM, T) \quad (4)$$

бу ерда KM - қуруқ модда концен-трацияси, %; T - эритма температураси, К .

Суюқлик аралашмасининг ҳажмини компонентлар ҳажмларининг йиғиндиси-га тенг деб қабул қилиб, унинг зичлигини ушбу формуладан аниқлаш мумкин:

$$\frac{1}{\rho_{ар}} = \frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} + \dots \quad (5)$$

бу ерда $x_1, x_2, \dots$ - компонентларнинг массавий улушлари; $\rho_{ар}, \rho_1, \rho_2, \dots$ - аралашма ва компонентларнинг зичликлари, кг/м^3 .

Суспензия зичлиги $\rho_{\text{сус}}$ қуйидаги формула ёрдамида ҳисоблаб топилади:

$$\frac{1}{\rho_{\text{сус}}} = \frac{x}{\rho_{\kappa}} + \frac{1-x}{\rho_{\text{с}}} \quad \text{ёки} \quad \rho_{\text{сус}} = \rho_{\kappa} \cdot x + \rho_{\text{с}} \cdot (1-x) \quad (6)$$

бу ерда x - суспензия таркибидаги қаттиқ фазанинг массавий улуши; ρ_{κ} ва $\rho_{\text{с}}$ қаттиқ ва суюқ фазаларнинг зичликлари, кг/м^3 .

Қанд қиёми, мева ва мева-резаворларнинг шарбати ёки шакарли сут каби суюқликларнинг 20°C температурадаги зичлиги ушбу формуладан аниқланади:

$$\rho_{20} = 10 \cdot [1,42 \cdot x + (100 - x)] \rho \quad (7)$$

бу ерда x - қуруқ моддалар концентрацияси, %.

Агарда, температура 20°C дан фарқли бўлса, қуйидаги формула қўлланилади:

$$\rho_t = \rho_{20} - 0,5(t - 20) \quad (8)$$

бу ерда t - маҳсулот температураси, $^{\circ}\text{C}$.

Томат маҳсулотларининг зичлиги эса, ушбу формулада ҳисобланади:

$$\rho = 1016,76 + 4,4 \cdot x - 0,53 \cdot t \quad (9)$$

a ва b компонентлардан ташкил топган бинар, турли жинсли система-ларнинг зичлиги:

$$\rho = \left(\frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_b}{\rho_b} \right)^{-1} \quad (10)$$

формуладан аниқланади.

Бу ерда m_a - аралашма таркибида a компонентнинг массавий улуши; $m_b = 1 - m_a$ - аралашма таркибида b компонентнинг массавий улуши; ρ_a ва ρ_b - a ва b компонентларнинг зичликлари, кг/м^3 .

Агарда, бинар, турли жинсли система ρ_{κ} бўлган қаттиқ заррачалар ва $\rho_{\text{с}}$ бўлган суюқ, моддалардан таркиб топган бўлса, унинг зичлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$\rho = \left(\frac{m_{\kappa}}{\rho_{\kappa}} + \frac{1-m_{\kappa}}{\rho_{\text{с}}} \right)^{-1} \quad (11)$$

бу ерда m_{κ} - аралашмадаги заррачаларнинг массавий улуши.

Исталган газнинг T температура ва P босимдаги зичлиги ушбу формулада ҳисобланади:

$$\rho = \rho_o \cdot \frac{T_o \cdot p}{T \cdot p_o} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot p}{T \cdot p_o} \quad (12)$$

бу ерда $\rho_o = M/22,4$ - нормал шароитда (0°C ва 760 мм.сим.уст.) газнинг зичлиги, кг/м^3 ; M - моляр масса, кг ; T - температура, K .

Газ аралашмасининг зичлиги эса қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\rho_{ap} = y_1 \rho_1 + y_2 \rho_2 + \dots \quad (13)$$

бу ерда y_1, y_2 аралашма компонентларининг ҳажмий улушлари; ρ_1, ρ_2 компонентларнинг тегишли зичликлари, кг/м^3 .

Сочилувчан материал ва маҳсулотлар зичлиги одатда "тўкма" зичлик орқали ифодаланиб, материалнинг қаттиқ заррачаларининг ҳақиқий зичлиги ва улар орасидаги бўшлиққа боғлиқдир:

$$\rho_t = (1 - \varepsilon) \cdot \rho_k \quad (14)$$

бу ерда ρ_t - сочилувчан материалнинг "тўкма" зичлиги, кг/м^3 ; ρ_k - қаттиқ заррачаларнинг ҳақиқий зичлиги, кг/м^3 ; ε - қатлам заррачалари орасидаги бўшлиқ

$$\varepsilon = \frac{V - V_o}{V} \quad (15)$$

бу ерда V донасимон қатлам ҳажми, м^3 ; V_o қатламдаги заррачалар эгаллаган ҳажм, м^3

Оддий сочилувчан материаллар "тўкма" қатламининг бўш ҳажми одатда $\varepsilon = 0,38-0,42$ га тенгдир.

Қаттиқ мева ва мева-резаворларнинг физик зичлиги ва "тўкма" зичликлари орасида қуйидаги боғлиқлик бор:
олма ва карам учун

$$\rho_t = 0,55 \rho$$

қолган хом-ашёлар учун эса

$$\rho_t = 0,6 \cdot \rho$$

Пахта чигитининг ҳақиқий зичлигини қуйидаги формула ёрдамида ҳисоблаб топиш мумкин [13]:

$$\rho = 666,7 \cdot 0_n^{0,2} \quad (16)$$

Чигитнинг "келтирилган" зичлиги унинг момиқлигига боғлиқ бўлиб, сон жиҳатдан 650...1110 кг/м^3 ораликда бўлади [4,13].

Солиштирма оғирлик. Ҳажм V бирлигидаги суюқликнинг оғирлиги G солиштирма оғирлик γ дейилади:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (17)$$

бу ерда G - суюқлик оғирлиги, Н; V - ҳажм, м^3 ; γ - солиштирма оғирлик, Н/м^3 .

Масса билан оғирлик ўзаро қуйидагича боғланган:

$$m = \frac{G}{g} \quad (18)$$

бу ерда $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - эркин тушиш тезланиши.

Масса миқдорини солиштирма оғирлик формуласига қўйсак, зичлик билан солиштирма оғирликнинг ўзаро боғланиш нисбати қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (19)$$

Қовушоқлик. Динамик қовушоқлик коэффициентини μ нинг суюқлик зичлиги ρ га нисбати кинематик қовушоқлик ν дейилади:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (20)$$

бу ерда ν - кинематик қовушоқлик, $\text{м}^2/\text{с}$; μ - динамик қовушоқлик, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

20°C температурада кўпчилик органик суюқликларнинг динамик қовушоқлик коэффициентини қуйидаги эмпирик формула ёрдамида ҳисобланса бўлади [5]:

$$\lg(\lg \mu) = \left(\sum A \cdot n + \sum P \right) \frac{\rho}{10^3 M} - 2,9 \quad (21)$$

бу ерда μ - атмосфера босими ва 20°C да суюқликнинг динамик қовушоқлик коэффициенти, $\text{мПа} \cdot \text{с}$; ρ - суюқлик зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; M - моль масса, $\text{кг}/\text{кмоль}$; A - органик бирикма таркибидаги бир хил атомларнинг сони; n - атом молекуласи константасининг сон қийматлари; P - атомлар орасидаги боғлиқлик характери ва гуруҳлашга киритиладиган тузатма қиймати.

Атом константалари n ва тузатма P ларнинг қийматлари иловадаги 2- жадвалда келтирилган [5].

Нормал (ассоциацияланмаган) суюқликлар аралашмасининг динамик қовушоқлик коэффициенти μ_{ap} ни ушбу формула орқали ҳисоблаб аниқлаш мумкин:

$$\lg \mu_{ap} = x_1 \cdot \lg \mu_1 + x_2 \cdot \lg \mu_2 + \dots \quad (22)$$

бу ерда $\mu_1, \mu_2, \dots$ - компонентларнинг динамик қовушоқлик коэффициентлари; $x_1, x_2, \dots$ - аралашмадаги компонентларнинг моль улуши.

Суспензиянинг динамик қовушоқлик коэффициенти қуйидаги формула ёрдамида топилиши мумкин:
қаттиқ фаза концентрацияси 10% (ҳажм.) дан кам бўлганда

$$\mu_{сус} = \mu_c \cdot (1 + 2,5 \cdot \varphi) \quad (23)$$

қаттиқ фаза концентрацияси 10% (ҳажм.) дан кўп бўлганда

$$\mu_{сус} = \mu_c \cdot (1 + 4,5 \cdot \varphi) \quad (24)$$

қаттиқ фаза концентрацияси 30% (ҳажм.) гача бўлганда

$$\mu_{сус} = \mu_c \cdot \frac{0,59}{(0,77 - \varphi)^2} \quad (25)$$

бу ерда μ_c - тоза суюқликнинг динамик қовушоқлик коэффициенти; φ - суспензия таркибидаги қаттиқ фазанинг ҳажмий улуши. Кўпчилик суюқликларнинг динамик қовушоқлик коэффициентлари адабиётларда берилган [5,8,17,25,55].

Бирор t температурада шарбатлар, қиёмлар, қуюлтирилган ва хом сутларнинг динамик қовушоқлик коэффиценти ушбу формуладан аниқланади:

$$\mu_t = \frac{12,9 \cdot \mu}{t^{0,85}} \quad (26)$$

бу ерда μ - 20°C температурадаги динамик қовушоқлик.

Хом сут учун

$$\mu_t = 0,7 \cdot \exp(0,06 + 0,08 \cdot x) \quad (27)$$

бу ерда x - қуруқ моддалар концентрацияси.

Ўсимлик ёғларининг динамик қовушоқлик коэффиценти (мПа·с):

$$\mu_t = \frac{0,175}{10 \cdot \exp(0,31 + 0,026 \cdot t)} \quad (28)$$

томат маҳсулотлари учун (Па·с):

$$\mu_t = 0,0199 \cdot x^{2,94} \cdot t^{-1,17} \quad (29)$$

Ҳар хил температураларда газларнинг динамик қовушоқлик коэффиценти махсус адабиётларда келтирилган [25].

Газ аралашмаларининг динамик қовушоқлик коэффиценти қуйидаги таҳминий формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$\frac{M_{\text{ср}}}{\mu_{\text{с}}} = \frac{y_2 \cdot M_1}{\mu_1} + \frac{y_2 \cdot M_2}{\mu_2} + K \quad (30)$$

бу ерда $M_{\text{ср}}$, M_1 , M_2 , газ аралашмаси ва компонентларнинг моль массаси; $\mu_{\text{с}}$, μ_1 , μ_2 , тегишли динамик қовушоқлик коэффицентлари; y_1 , y_2 , - аралашмадаги компонентларнинг ҳажмий улушлари.

Атмосфера босимида бир қатор газларнинг (кокс, генератор газлари ва бошқалар) динамик қовушоқлик коэффиценти $\mu_{\text{ар}}$ ни ҳисоблаш учун қуйидаги эмпирик формулани ҳам қўллаш мумкин:

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{y_1 \mu_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{\text{кр}1}} + y_2 \mu_2 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{\text{кр}2}} + K}{y_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{\text{кр}1}} + y_2 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{\text{кр}2}} + K} \quad (31)$$

бу ерда $\mu_{\text{ар}}$ - аралашманинг t температурадаги динамик қовушоқлик коэффиценти; μ_1 , μ_2 , - t температурада компонентларнинг динамик қовушоқлик коэффицентлари; y_1 , y_2 , компонентларнинг ҳажмий улушлари; M_1 , M_2 , - компонентларнинг моль массалари; $T_{\text{кр}1}$, $T_{\text{кр}2}$, - компонентларнинг критик температуралари, K .

Ҳар хил газлар учун $\sqrt{M \cdot T_{\text{кр}}}$ қийматлари иловадаги 3 - жадвалда берилган [5].

Динамик қовушоқлик коэффицентининг температурага боғлиқлиги ушбу формула билан ифодаланади:

$$\mu_t = \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{T + C} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5} \quad (32)$$

бу ерда μ_0 0°C температурадаги динамик қовушоқлик коэффиценти; T - температура, K ; C - Сатерленд константаси.

Сиртий таранглик σ ўзгармас температурада фазаларни ажратувчи юзани бир бирликка қўлайтириш учун сон жиҳатдан баробар сарфланадиган ишга тенг қийматдир.

Агарда, бир томчи суюқлик ташқи кучлардан ҳоли бўлса, у сиртий таранглик кучи таъсирида шар шаклини олади.

Сиртий таранглик температурага боғлиқ бўлади ва температура ортиши билан унинг сон қийматлари камаяди.

Баъзи суюқликлар учун сиртий тарангликнинг сон қийматлари 1-1 жадвалда ва иловадаги 4 - жадвалда келтирилган [5,6].

1-1 жадвал

Суюқликларнинг сиртий таранглиги

Суюқлик	Температура, °C	Сиртий таранглик, $\sigma \cdot 10^3, \text{Н/м}$
Сув	0	75,6
	20	72,8
Оливка ёғи	20	32,0
Этил спирти	20	24,1
Метил спирти	20	22,6
Сирқа кислота	20	27,8

Иссиқлик сифим c - моддага қандайдир жараёнда берилаётган иссиқлик миқдорининг тегишли температура ўзгариши нисбатига айтилади.

Амалиётда массавий, ҳажмий ва моль солиштирма иссиқлик сифимлари ишлатилади. Солиштирма иссиқлик сифими қайси жараёнда (изобар, изохор, изотермик, адиабатик, политропик) модда ва атроф муҳит орасида энергия алмашилишига боғлиқдир. Ҳисоблашларда жуда кўп изобар c_p ва изохор c_v иссиқлик сифимлар қўлланилади.

Ўзаро бу икки солиштирма иссиқлик сифимликлар Майер формуласи билан боғлиқдир [24,61]:

$$c_p - c_v = R \quad (33)$$

бу ерда R - универсал газ константаси, Ж/(моль К) ёки Ж/(кг·К).

Изобар иссиқлик сифимнинг изохор иссиқлик сифим нисбатига адиабата кўрсаткичи дейилади:

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad (34)$$

1-2 жадвал

Баъзи моддаларнинг солиштирма иссиқлик сифими

Т/р	Моддалар номи	Солиштирма иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К)
1.	Суюқликлар	0,80 4,19
2.	Газлар	0,50 2,2
3.	Қаттиқ моддалар	0,13 1,8
4.	Ҳайвон маҳсулотларининг қуруқ моддалари	1,38 1,68
5.	Ўсимлик маҳсулотларининг қуруқ моддалари	0,71 ... 1,36

Турли жинсли системаларнинг солиштирма иссиқлик сифими одатда аддитивлик (тўғри пропорционаллик) қондасига бўйсинади ва ушбу формуладан аниқланади:

$$c_p = c_1 m_1 + c_1 m_1 + c_1 m_1 + \dots \quad (35)$$

бу ерда c_1, c_2, c_3 , компонентларнинг солиштирма иссиқлик сифимлари; m_1, m_2, m_3 , - аралашмадаги компонентларнинг массавий улушлар.

Томат маҳсулотларининг солиштирма иссиқлик сифими ушбу формулада ҳисобланади:

$$c = 4228,7 - 20,98x - 10,88 \cdot t \quad (36)$$

Ўсимлик хом-ашёлариники эса

$$c = c_{акм} \cdot (1 - 0,01 \cdot W) + 41,87W \quad (37)$$

бу ерда $c_{акм}$ - абсолют қуруқ модданинг солиштирма иссиқлик сифими; W - намлик, %.

Сахарозанинг солиштирма иссиқлик сифими

$$c = 4190 - 0,01 \cdot x \cdot 2510 - 7,54 \cdot t + 4,61 \cdot (100 - Дб) \quad (38)$$

бу ерда x - қуруқ моддалар концентрацияси; $Дб$ - маҳсулот сифати, %.

ҳамирники:

$$c = 1675 \cdot (1 + 0,015 \cdot W) \quad (39)$$

бугдойники:

$$c = 1550 + 26,4 \cdot W \quad (40)$$

Пахта чигити мураккаб, кўп компонентли система бўлгани учун тўғридан-тўғри унинг солиштирма иссиқлик сифимини аниқлаш қийин. Чигит каби гетероген материаллар учун эффектив солиштирма иссиқлик сифимини топиш мақсадга мувофиқдир. Бунинг учун ҳар бир компонентнинг, яъни мағиз, чигит қобиғи ва пахта толаларининг солиштирма иссиқлик сифимларини билиш керак [5].

Пахта толасининг солиштирма иссиқлик сифимини қуйидаги формула орқали топилади [5,13]:

$$c = c_{акм} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right) + \frac{c_c \cdot W}{100} \quad (41)$$

бу ерда c_c - сувнинг солиштирма иссиқлик сифими.

Пахта чигитининг мағизи ва қобиғининг солиштирма иссиқлик сифимлари проф.Нурмуҳамедов Ҳ.С. томонидан таклиф этилган эмпирик формулалар ёрдамида ҳисобланади [5,6,13]:

мағиз учун

$$c = 540 + (3,56 \cdot W^{0,8} + 0,73) \cdot (T - 110,5) \quad (42)$$

қобиф учун

$$c = 60 + 4 \cdot (T - 50) \cdot \exp 0,028 \cdot W \quad (43)$$

кунжара учун

$$c = (0,05 + 0,02 \cdot W) \cdot T^{1,25} \quad (44)$$

бу ерда W - материал намлиги, %; T - абсолют температура, К.

Пахта чигитининг эффектив солиштирма иссиқлик сифими ушбу формулада ҳисобланади [5,6,13]:

$$c_{ef} = m_1 \left[c_{акм} \cdot \left(1 - \frac{W}{100} \right) + \frac{c_c \cdot W}{100} \right] + m_2 \cdot [60 + 4 \cdot (T - 50) \cdot \exp 0,028 \cdot W] + m_3 \cdot [540 + (356 \cdot W^{0,8} + 0,73) \cdot (T - 110,5)] \quad (45)$$

бу ерда m_1 , m_2 , m_3 , пахта толаси, чигит мағизи ва қобигининг массавий улушлари.

(45) формула ёрдамида ҳисоблаб чиқилган пахта чигитининг эффектив солиштирма сифимлари 1-3 жадвалда келтирилган [13].

1-3 жадвал

Т, К	Эффектив солиштирма иссиқлик сифими c_{ef} , Ж/(кг·К)							
	Пахта чигитининг момиқлиги, %							
	0	5	10	15	20	25	30	35
250	1466	1460	1454	1448	1441	1435	1429	1423
300	1812	1808	1804	1801	1797	1793	1789	1785
350	2158	2137	2116	2095	2073	2052	2031	2010
400	2504	2466	2427	2389	2360	2312	2273	2245
450	2850	2794	2738	2683	2627	2571	2515	2460

Иссиқлик ўтказувчанлик λ бу микрозаррачаларнинг ўзаро таъсири ва иссиқлик ҳаракати натижасида иссиқ жисмдан совуқ жисмга энергия ўтказилиши туфайли жисм температурасининг турғунлашишидир.

Қаттиқ материал, суюқлик ва газларда иссиқлик ўтказувчанликнинг интенсивлиги иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти λ билан характерланади.

30°C температурадаги суюқликнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ушбу формула ёрдамида ҳисобланиши мумкин:

$$\lambda_{30} = A_1 \cdot c \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho}{M}} \quad (46)$$

бу ерда A_1 суюқликнинг ассоциацияланиш даражасига боғлиқ коэффициент; c - суюқликнинг солиштирма иссиқлик сифими, Ж/(кг·К); ρ суюқлик зичлиги, кг/м³; M - моль масса.

$$\begin{aligned} \text{сув учун} \quad A_1 &= 3,58 \cdot 10^{-8} \\ \text{бензол учун} \quad A_1 &= 4,22 \cdot 10^{-8} \end{aligned}$$

Бирор t температурадаги суюқликнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини ушбу формуладан топилади:

$$\lambda_t = \lambda_{30} \cdot [1 - \varepsilon \cdot (t - 30)] \quad (47)$$

бу ерда ε - температура коэффициентини.

Метил спирти учун $\varepsilon = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

Этил спирти учун $\varepsilon = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

Мева, мева-резаворлар шарбати, қиёмлар, шакарли сут учун λ коэффициентини ушбу формуладан аниқланади:

$$\lambda_t = \lambda_{20} + 0,00068 \cdot (t - 20) \quad (48)$$

20°C да эса

$$\lambda_{20} = 0,593 - 0,025 \cdot x^{0,33} \quad (49)$$

бу ерда x - абсолют қуруқ моддалар концентрацияси.

Томат маҳсулотларининг λ коэффициентини қуйидаги формуладан топилади:

$$\lambda = (528 - 4,04 \cdot x + 2,05 \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (50)$$

$0 < x < 65\%$ ва 80°C гача бўлган ораликда сахарозанинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини эса,

$$\lambda = (1 - 5,479 \cdot 10^{-3} \cdot x) \cdot (0,5686 + 1,514 \cdot 10^{-3} \cdot t - 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) \quad (51)$$

Донасимон тукли, кўп компонентли пахта чигитининг эффектив иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини ҳам проф. Нурмухамедов Х.С. томонидан келтириб чиқарилган формуладан топилади [5,6,13]:

$$\lambda_{ef} = f \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_5} \right) \left[\frac{1}{\lambda_1} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{1}{\lambda_2} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right) + \frac{1}{\lambda_3} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) + \frac{1}{\lambda_4} \left(\frac{1}{r_4} - \frac{1}{r_5} \right) \right]^{-1} \quad (52)$$

бу ерда r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 - бўшлиқ, ядро, ҳаво қатлами, қобиқ ва момиқлик радиуслари. м; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ ядро, ҳаво, қобиқ ва пахта толаларининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари, Вт/(м·К); f - шакл коэффициентини.

Нотўғри шаклга эга бўлган пахта чигити учун f ушбу формуладан топилади [13]:

$$f = 1,063 + 5,5 \cdot 10^{-2} \cdot O_n \quad (53)$$

бу ерда O_n - пахта чигитининг момиқлиги бўлиб, одатда унинг сон қийматлари $f = 0,89-0,93$ ораликда бўлади.

(52) формула ёрдамида ҳисобланган пахта чигитининг эффектив иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қийматлари 1-4 жадвалда келтирилган.

Т, К	О _п , моимгликдаги λ , Вт/(м·К)					
	0	3	6	9	12	15
250	0,484	0,477	0,470	0,464	0,457	0,453
300	0,406	0,401	0,395	0,390	0,384	0,380
350	0,433	0,427	0,421	0,415	0,409	0,405
400	0,377	0,318	0,313	0,309	0,304	0,301
450	0,291	0,287	0,283	0,279	0,275	0,272

Маълумки, температура ўзгариши билан маҳсулотнинг иссиқлик ва физик хоссалари кескин ўзгаради. Материал хоссаларининг бунчалик ўзгаришига уларнинг таркибидаги сув ёки музларнинг асосий хоссаларидаги катта фарқ сабабчидир (1-5 жадвал).

1-5 жадвал

т/р	Хоссалар	Бирлиги	Сув	Муз
1.	Солиштира иссиқлик сизим	с, кЖ/(кг·К)	4,190	2,10
2.	Иссиқлик ўтказувчанлик	λ , Вт/(м·К)	0,554	2,21
3.	Температура ўтказувчанлик	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	0,130	0,17
4.	Зичлик	ρ , кг/м ³	999,5	916,2

1.2. Ўхшашлик назарияси асослари

Кимёвий технология жараёнларини ўрганиш йўллари

Жараёнларни таҳлил қилиш ва ҳисоблаш учун тенгламаларни келтириб чиқариш мақсадида уларни назарий усулда амалга оширсан бўлади.

Ушбу йўл энг қулай бўлиб, жараёнларни тавсифловчи математик тенгламалар (кўпинча дифференциал) тузиш ва уларни счишдан иборатдир.

Бир турдаги бутун бир синфга оид ҳодиса ва воқеаларни дифференциал тенгламалар ифода этади. Ушбу синфдан бирор аниқ бир ҳодиса ёки воқеани ажратиб олиш учун дифференциал тенглама қўшимча шартлар (бир хиллик шартлари) билан чегараланади.

Бир хиллик шартлари ўз ичига қуйидагиларни қамраб олган: геометрик шакл ва система қурилма ўлчамларини; жараённи олиб бориш шартлари, яъни моддалар физик ўзгармас катталикларини; бошланғич шартлари, яъни бошланғич тезлик, температура, концентрация ва ҳоказо; система чегарасида ҳолатни характерловчи чегаравий шартларни, масалан, труба девори яқинида тезликнинг нолга тенглиги.

Лекин, кимёвий ва озиқ-овқат технологияларининг аксарияти жуда мураккаб ва ўзгарувчи параметрлар кўплиги билан характерланади. Шунинг учун, кўпинча фақат масаланинг математик ва бир хиллик шартлар ифодасини олиш мумкин. Олинган дифференциал тенгламаларни математикада маълум усуллар билан ечиб бўлмайди.

Турбулент оқимларда иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнларини назарий ўрганишда ҳам худди шундай қийинчиликлар бор.

Ундан ташқари, хаттоки мураккаб жараёнларни ифодаловчи дифференциал тенгламалар системасини ҳам тузиб бўлмайди.

Шундай қилиб, қурилмани лойиҳалаш учун зарур ҳисоблаш тенгламаларини назарий келтириб чиқариш имконияти йўқ. Бундай ҳолатларда тажриба ўтказиш йўли билан жараённи характерловчи катталиклар орасидаги боғлиқлик аниқланади.

Олинган тажриба маълумотлари асосида эмпирик тенгламалар келтириб чиқарилади. Ушбу тенгламалар хусусий характерга эга бўлиб, улардан фақат аниқ шароитларда фойдаланиш мумкин. Одатда эмпирик тенгламалар маълум қадр-қийматга эга ва уларни муҳандислик ҳисоблашларда қўлланилади.

Лекин ҳар қандай мураккаб жараённи тадқиқот қилиш вақтида умумий бўлган қонуният ва тенгламаларни келтириб чиқариш керак. Улар ёрдамида бирор хусусий тажриба натижаларини бошқа жараёнларни ҳам текширишга қўллаш имконияти бўлсин. Шу мақсадга тажриба натижаларини қайта ишлашда, ўхшашлик назарияси усуллари қўллаш орқали эришиш мумкин.

Ўхшашлик назарияси — бу тажриба натижаларини илмий умумлаштириш усуллари ҳақидаги таълимот.

Ўхшаш жараёнларда уларни характерловчи ва ўхшаш бўлган катталиклар нисбати ўзгармасдир. Ўхшашлик назарияси қандай тажриба ўтказиш ва олинган натижаларни қайси усул билан қайта ишлаш йўллари йўргатади.

Ўхшашлик назариясини моделларда (тажриба қурилмаларида) жараённинг номаълум катталикларини аниқлаш, текшириб кўриш ва олинган натижаларни саноат қурилмаларига кўчиришга ёрдам беради.

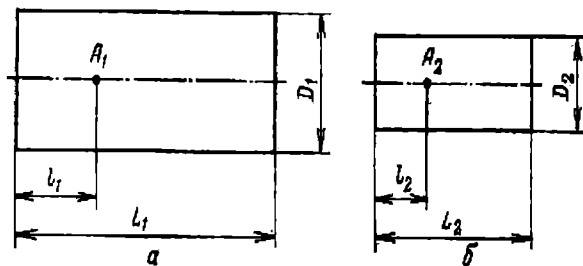
Шундай қилиб, масштаблаш ва моделлаш асоси бўлиб ўхшашлик назария усуллари ҳисобланади.

Ўхшашлик теоремалари ва шартлари

Ўхшашлик назариясининг асосий принципларидан бири бўлиб, умумий қонуният билан ифодаланувчи ўхшаш ҳодисалар (жараёнлар) гуруҳини ажратиб олишдир.

Мос тушадиган ва уларни характерловчи катталикларнинг нисбатлари ўзгармас бўлган ҳодисалар *ўхшаш* деб аталади.

Ўхшашлик шартларига биноан ўхшаш ҳодиса ва воқеалар қуйидаги гуруҳлардан иборат: а) геометрик ўхшашлик; б) вақт бўйича ўхшашлик; в) физик ўхшашлик; г) бошланғич ва чегаравий шартларнинг ўхшашлиги.



1.1-расм. Натура (а) ва моделнинг (б) ўхшашлик шартларини аниқлашга оид.

Геометрик ўхшашлик.

Бу шундай ўхшашликки, натура ва моделларнинг мос тушадиган ўлчамлари параллел ва уларнинг нисбати ўзгармас катталик билан ифодаланади.

Масалан, айланаётган цилиндр ичидаги газнинг ҳаракатини текширагимиз (1.1-расм).

Ушбу қурилмадаги жараённи текшириш учун геометрик ўхшашликка риоя

қилиб модел қурилади (1.1б-расм), яъни натура ва моделнинг мос тушадиган чизиқли ўлчамларининг нисбатлари тенг.

Геометрик бир хилликка биноан иккита ўхшаш системани геометрик ўлчов катталиклари ўзаро параллел бўлса, уларнинг нисбати ҳам ўзгармас бўлади:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{l_1}{l_2} = a_l = const \quad (1.1)$$

Ўлчовсиз катталик a_l геометрик ўхшашлик ўзгармас катталиги (константа) ёки масштаб (ўтиш) кўпайтмаси деб аталади. Ушбу ўзгармас катталик ўхшаш системалардаги бир хил турдаги мос келадиган катталиклар нисбатини ифодалайди ва модел ўлчамидан натурага ўтиш имконини беради.

Вақт бирликлари ўхшашлиги. Геометрик ўхшашликда вақт бўйича бирхиллик ҳосил бўлади. Бунга биноан, икки геометрик жисмдаги нуқталар ўхшаш траектория бўйлаб, вақт бирлигида бир хил масофа босиб ўтади.

Уларнинг ўзаро бир-бирига нисбати ўзгармас катталиikka тенг:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = a_\tau = const \quad (1.2)$$

бу ерда T_1, T_2 — мос келадиган заррачалар билан бутун қурилмадан ўтиш вақти; τ_1, τ_2 — мос келадиган заррачалар билан L_1 ва L_2 масофалардан ўтиши; a_τ — вақт бўйича ўхшашлик константаси.

Физик ўхшашлик. Физик ўхшашликка биноан, фазода жойлашган икки система физик хоссаларининг нисбати вақт бирлигида ўзгармасдир. Масалан, агар заррача натурада τ_1 вақтда L_1 масофани босиб ўтса (1.1-расм), моделда эса τ_2 вақт ичида L_2 масофани босади. Унда, мос келадиган A_1 ва A_2 нуқталар учун.

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = a_\mu; \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = a_\rho \quad \text{ёки} \quad \frac{u_1}{u_2} = a_u \quad (1.3)$$

бу ерда u_1 ва u_2 — физик катталиклар йиғиндиси (лекин $a_\mu \neq a_\rho \neq a_l \neq a_\tau$ ва ҳ.к.); a_μ, a_ρ — физик катталиклар константаси.

Шундай қилиб, агар геометрик ва вақт бирлиги ўхшашлиги сақланса, унда тезлик, температура, концентрация ва бошқа физик катталик майдонлари ўхшашлиги ҳам сақланиб қолади, яъни $w_1/w_2 = a_w$; $l_1/l_2 = a_l$; $c_1/c_2 = a_c$.

Бошланғич ва чегаравий шартлар ўхшашлигига биноан бошланғич ҳолат ва системалар (натура ва модел) чегарасидаги ҳолатлар ўхшашдир, яъни бошланғич ва система чегараларидаги асосий параметрлар нисбати ўзгармасдир.

Бу ҳолат ўхшаш фазодаги системанинг геометрик, физик ва вақт бўйича ўхшаш бўлиши учун уларнинг бошланғич ва чегаравий шартлари бир хил бўлиши зарур.

Ўхшашлик инвариантлари ва критерийлари. Агар, натура ва унга ўхшаш моделларнинг ҳолатини аниқловчи ҳамма мос келадиган катталиклар нисбий бирликларда ўлчанса, яъни ҳар бир система учун мос келадиган нисбатлар олинса, унда у ҳам ўзгармас ва ўлчамсиз катталик бўлади. Масалан:

$$\frac{L_1}{D_1} = \frac{L_2}{D_2} = inv^* = idem^{**} = i_l; \quad \frac{T_1}{\tau_1} = \frac{T_2}{\tau_2} = i_\tau \quad (1.4)$$

i_b, i_r ва ҳоказо катталиклар натура ва модел ўлчамлари нисбатига боғлиқ эмас. Шунинг учун ўхшаш системаларда иккита бир хил катталиклар нисбатини ифодаловчи ўлчамсиз бирлик i инвариант ўхшашлик дейилади.

Бир хил катталиклар нисбатини ифодаловчи инвариант ўхшашлик **симплекс**^{***} ёки **параметрик критерий** деб аталади.

Турли хил катталиклар нисбатини ифодаловчи инвариант ўхшашлик **критериал**^{****} ўхшашлик дейилади. Одатда критерийлар шу соҳа **назариясига** катта ҳисса қўшган олимларнинг исмининг биринчи икки ҳарфи билан белгиланади (масалан, Re – Рейнольдс сони ёки критерийси).

Исталган физик ҳодиса учун критерий келтириб чиқариш мумкин. Бунинг учун текширилаётган ҳодисанинг ўзгарувчан катталиклари орасидаги аналитик боғлиқликни билиш кифоя.

Ўхшашлик критерийлари ўлчамсиз бўлади.

Шундай қилиб, ўзаро ўхшаш ҳодисалар, сон жиҳатдан тенг ўхшашлик критерийлар билан характерланади. Ўхшашлик критерийларининг тенглиги жараёнлар ўхшашлигининг бирдан-бир миқдорий шарт.

Бир система критерийларининг бошқа унга ўхшаш система критерийларига нисбати ҳар доим 1 га тенг. Масалан, натура ва модел учун $Re_1 = Re_2$. Унда

$$\frac{w_1}{w_2} \frac{d_1 \rho_1}{d_2 \rho_2} \frac{1}{\mu_1} = 1$$

Ўхшашлик инвариантлари турли хил катталиклар нисбатлари билан ҳам ифодаланиши мумкин, яъни шу катталикларнинг ўлчамсиз симплексларини ифодалайди. Масалан,

$$\frac{w_1}{\mu_1} \frac{d_1 \rho_1}{\mu_2} = \frac{w_2}{\mu_2} \frac{d_2 \rho_2}{\mu_2} = idem = Re \quad (1.5)$$

Агар жараёни тавсифловчи, дифференциал тенгламаларни ўзгартириш йўли билан олинган ўхшашлик инвариант катталик комплекслари билан ифодаланса, улар **ўхшашлик критерийлари** деб номланади.

Демак, ўхшашлик критерийлари ҳар доим физик маънога эга бўлиб, текширилаётган жараён учун катта аҳамиятли, исталган иккита эффектлар (кучлар ва ҳ.) ўртасидаги нисбат ўлчовидир.

Ўхшашлик критерийлари исталган жараён учун келтирилиб чиқарилиши мумкин. Ўлчовсиз симплекс ёки катталиклар комплекси, хусусан ўхшашлик критерийлари, **умумлаштирилган ўзгарувчи** деб номланади.

Ўхшашлик назарияси асосан 3 та теоремага таянади ва асосланади.

Биринчи теоремани И.Ньютон кашф этган. Унга биноан, ўхшаш ҳодисалар сон жиҳатдан тенг ўхшашлик критерийлари билан характерланади:

$$\frac{f\tau}{m \cdot w} = idem = Ne$$

* invariantis (лотинча) – ўзгармас

** idem (лотинча) – бир хил

*** simplex (лотинча) – оддий

**** kreterion (грекча) – мезон

ёки $\tau = l/w$ эканлигини инобатга олсак,

$$\frac{fl}{mw^2} = Ne \quad (1.6)$$

бу ерда f – куч; m – заррача массаси.

Ушбу комплекс **Ньютон критерийси** деб номланади. Ушбу критерий заррачага таъсир этувчи кучнинг инерция кучига нисбатини характерлайди.

Бир қатор гидродинамик критерийлар оқимдаги кучларнинг ўзаро таъсир нисбатларини ифодалайди, яъни оғирлик, босим, ишқаланиш ва инерция кучлари орасидаги ўзаро таъсирни. Шундай қилиб, кўпчилик гидродинамик критерийлар Ньютон критерийсининг хусусий ҳолидир.

Биринчи теорема. Ўхшашлик критерийларига кирувчи ҳамма катталиклар тажриба даврида ўлчаниши кераклигини тақозо этади.

Иккинчи теорема. Бекингем, Федерман ва Афанасьева – Эренфест олимлар гуруҳи томонидан кашф этилган. Ушбу теоремага биноан, тажриба натижалари критерийлар орасидаги боғлиқлик кўринишида ифодалаш керак.

Ўхшашлик критерийлари ўртасидаги функционал боғлиқлик **критериал тенглама** деб номланади.

Критериал тенгламалар ҳамма ўхшаш жараёнлар гуруҳини ифодалайди. Критериал тенглама кўриниши тажриба йўли билан аниқланади. Кўпчилик ҳолатларда ушбу тенглама даражали боғлиқлик кўринишида бўлади.

Учинчи теорема. М.В. Кирпичев ва А.А. Гухманлар томонидан кашф этилган. Ушбу теоремага биноан, критериал тенгламаларни фақат ўхшаш жараёнларга қўллаш мумкин.

Агар ҳодисаларни аниқловчи критерийлар сон жиҳатдан тенг бўлса, унда албатта ўхшаш ҳодисаларда аниқланаётган критерийлар ҳам тенгдир. Шундай қилиб, ўхшашлик назарияси усулларини қўллаб жараёнларни ўрганиш қуйидаги босқичлардан иборат:

1. Жараённинг тўлиқ математик ифодасини олиш, яъни дифференциал тенглама тузилади ва бир хиллик шартлари аниқланади, уни ечими ўзгартирилади ва ўхшашлик критерийлари топилади.

2. Моделларда тажрибалар асосида ўхшашлик критерийлари орасидаги боғлиқлик аниқланади. Олинган умумлаштирувчи ҳисоблаш тенгламасини ўхшаш жараёнларни ҳисоблашда қўллаш мумкин.

Асосий жараёнларни ҳисоблашда бир неча хил ўхшашлик критерийлари ишлатилади ва улар ўрганилаётган жараённи ифодаловчи ўлчамсиз физик катталиклардир. Ўхшашлик критерийлари 3 гуруҳга бўлинади:

- гидромеханик ўхшашлик критерийлари;
- иссиқлик ўхшашлик критерийлари;
- диффузион ўхшашлик критерийлари;

Гидромеханик ўхшашлик критерийларига Рейнольдс (**Re**), Эйлер (**Eu**), Фруд (**Fr**), Галилей (**Ga**), гомохронлик (**Ho**) ва бошқа критерийлар киради.

Рейнольдс критерийси ишқаланиш кучларининг суюқлик ҳаракатига таъсирини ифодаловчи ўлчамсиз комплекс бўлиб, қуйидаги кўринишга эга:

$$Re = \frac{wl\rho}{\mu} = \frac{wv}{\nu} \quad (1.7)$$

бу ерда w – суюқлик оқимининг тезлиги, м/с; l – характерли ўлчам, м; ρ – суюқлик зичлиги, кг/м³; μ – суюқлик динамик қовушоқлиги, Па·с; ν – суюқлик кинематик қовушоқлиги, м²/с.

Ушбу критерий ўхшаш оқимларда инерцион кучларнинг ишқаланиш кучларига нисбатини характерлайди.

Эйлер критерийси гидростатик босим фарқининг суюқлик ҳаракатига таъсирини ифодалайдиган ўлчамсиз комплекс бўлиб, қуйидаги кўринишга эга:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^2} \quad (1.8)$$

Ушбу критерий ўхшаш оқимларда гидростатик кучларнинг инерция кучларига нисбатини характерлайди. Бу ерда Δp – оқимнинг гидростатик босимининг фарқи.

Фруд критерийси суюқлик ҳаракатига оғирлик кучлари таъсирини ифодаловчи ўлчамсиз комплекс бўлиб, қуйидаги кўринишга эга:

$$Fr = \frac{w^2}{gl} \quad (1.9)$$

бу ерда g – эркин тушиш тезланиши, м/с². Ушбу критерий ўхшаш оқимларда инерция кучларини оғирлик кучларига нисбатини характерлайди.

Гомохронлик критерийси суюқлик ҳаракати тезлик майдонининг вақт ўтиши билан ўзгариши тезлигини ифодаловчи ўлчамсиз комплекс бўлиб, қуйидаги кўринишга эга:

$$Ho = \frac{w\tau}{l} \quad (1.10)$$

бу ерда τ – вақт, с.

Ушбу критерий ўхшаш оқимларда суюқлик ҳаракатининг турғунмас характерини ҳисобга олади. Айрим адабиётларда ушбу критерий **Струхаль** **Sh критерийси** деб номланади.

Галилей критерийси оқимдаги молекуляр ишқаланиш кучларини оғирлик кучларига нисбатини ифодаловчи ўлчамсиз комплекс бўлиб, қуйидаги кўринишга эга:

$$Ga = \frac{Re^2}{Fr} = \frac{gl^3}{\nu^2} \quad (1.11)$$

Ушбу критерий эркин оқиш майдонларини характерлайди.

Ўлчов бирликлар таҳлил усули

Мурракаб жараёнларни ўрганиш пайтида, масалан, ҳаракатдаги суюқликда иссиқлик алмашилиш даврида, ҳар доим ҳам жараёни тўлиқ ифодаловчи дифференциал тенглама тузиб бўлмайди ва бир хиллик шартларини ифодалаш қийин. Шунинг учун, бундай ҳолларга ўхшашлик назариясини ҳам қўллаб бўлмайди.

Лекин, критериял тенграмалар келтириб чиқариш учун жараёнга таъсир этувчи асосий физик катталиклар тажриба натижасида аниқланган бўлса, ўлчов бирликлар таҳлили усулини қўллаш мумкин.

Дарси – Вейсбах тенграмаси мисолида критериял тенграмалар келтириб чиқаришда ўлчов бирликлар таҳлили усулини кўриб чиқамиз.

Трубалар ичида суюқлик ҳаракати жараёнини тажрибавий ўрганиш натижасида, босимлар йўқотилиши труба диаметри ва узунлиги, зичлик, қовушоқлик ва суюқлик тезлигига боғлиқлиги аниқланади.

Умумий кўринишда функционал боғлиқлик қуйидагича ёзилади: $\Delta p = f(d, l, \rho, \mu, w)$. Ҳамма параметрларнинг ўлчов бирликлари битта системада ифодаланиши шарт.

Юқорида функционал боғлиқликка 6 та катталиқ ($n=6$) киради. Улар СИ системасида қуйидаги ўлчов бирликларга эга:

$$[\Delta p] = \left[\frac{H}{m^2} \right] = \left[\frac{\kappa z}{m \cdot c^2} \right] = [FL^{-1}T^{-2}];$$

$$[d] = [m] = [L];$$

$$[l] = [m] = [L];$$

$$[\rho] = \left[\frac{\kappa z}{m^3} \right] = [FL^{-3}];$$

$$[\mu] = \left[\frac{H \cdot c}{m^2} \right] = \left[\frac{\kappa z}{m \cdot c} \right] = [FL^{-1}T^{-1}];$$

$$[w] = \left[\frac{m}{c} \right] = [LT^{-1}];$$

Ушбу ўлчов бирликларни тузишда 3 та бирламчи ўлчов бирлиги ишлатилган ($m=3$): м, с, кг. Демак, Бекингем теоремасига биноан, функционал боғлиқликни критериял тенглама кўринишига келтириш мумкин. Унда, $n - m = 6 - 3 = 3$ та ўхшашлик критерийси бўлади.

Умумий функционал боғлиқликни даражали функция кўринишида ёзамиз:

$$\Delta p = A d^a l^e \rho^c \mu^e w^k \quad (1.12)$$

Ушбу катталикларни ўлчов бирликлар формулалари билан алмаштирамиз:

$$[FL^{-1}T^{-2}] = L^a L^e [FL^{-3}]^c [FL^{-1}T^{-1}]^e [LT^{-1}]^k$$

Қавсларни очсак, қуйидаги кўринишни оламиз:

$$FL^{-1}T^{-2} = L^{a+b-3c-e+R} \cdot F^{c+e} \cdot T^{-e-k}$$

Ўлчов бирлиги бир хил символларнинг даража кўрсаткичларини тенглаштириб 5 та номаълумли 3 та тенглама ҳосил қиламиз:

$$\left. \begin{aligned} a + b - 3c - e + k &= -1 \\ c + e &= 1 \\ -e - k &= -2 \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

(1.13)нинг 2 – тенгламасидан $c=1-e$, учинчисидан- $k=2-e$ ларни топамиз. Олинган c ва k ларнинг қийматини (1.13) тенгламага қўйсак, $a = -e - e$ эканлигини аниқлаймиз.

Олинган a , c ва k ларни дастлабки (1.11) тенгламага қўйиб, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$\Delta p = A d^{-b-e} \cdot l^b \cdot \rho^{1-e} \cdot \mu^e \cdot w^{2-e}$$

Даража кўрсаткичларини гуруҳлаймиз ва қуйидаги кўринишдаги критериял тенгламани оламиз:

$$\frac{\Delta p}{\rho w^2} = A \cdot \left(\frac{l}{d} \right)^b \left(\frac{\mu}{w d \rho} \right)^e \quad (1.14)$$

(1.14) тенгламадаги ўзгармас A , b ва e лар тажриба асосида топилади.

$b=1$ эканлиги маълум, A ва e лар эса труба ичидаги суyoқлик ҳаракат режимига боғлиқ.

1.3. Жараён ва қурилмаларни ҳисоблаш ва таҳлилининг асосий принциплари

Қайта ишланаётган материалларнинг массавий оқимларини аниқлашдан мақсад машина ва қурилмаларни ҳисоблаш, ҳамда зарур энергия миқдорини, иссиқлик ва масса алмашилиш қурилмаларининг оптимал юзларини ёки жараённинг давомийлигини аниқлашдир.

Кинетик қонуниятларнинг таҳлили, машина ва қурилманинг минимал ўлчамларига оид жараённинг шартларини баҳолаш ва оптимал режимларни топиш имкониятини беради.

Жараёнлар таҳлили, машина ва қурилмалар ҳисоби қуйидаги кетма-кетликда ўтказилади:

- жараённинг моддий ва энергетик баланслари тузилади;

статика қонуниятларига таяниб жараённинг ҳаракат йўналиши ва мувозанат шартлари аниқланади;

ҳаракатга келтирувчи куч ҳисобланади;

- кинетика қонуниятларига таяниб жараён тезлиги топилади.

Аниқланган оптимал режим учун жараён тезлиги ва ҳаракатга келтирувчи куч катталиклари асосида қурилманинг асосий ўлчамлари: ишчи ҳажм ёки ишчи майдон юзаси аниқланади. Асосий ўлчам ёрдамида қурилманинг қолган ўлчамлари ҳисоблаб топилади.

Моддий баланс массанинг сақланиш қонунига таяниб тузилади, яъни жараён ўтказилиш пайтида қурилмага киритилаётган материал миқдори $\Sigma G_{\text{бош}}$, ундан чиқаётган маҳсулот миқдори $\Sigma G_{\text{ох}}$ га тенг бўлиши зарур:

$$\sum G_{\text{бош}} = \sum G_{\text{ох}} \quad (1.15)$$

Моддий баланс асосида чиқаётган маҳсулот миқдори топилади, яъни максимал маҳсулот чиқиш имкониятига нисбатан процент ҳисобида чиққан тайёр маҳсулот миқдори. Одатда, олинган тайёр маҳсулот миқдори сарфланган хом-ашё бирлигига ҳисобланади.

Лекин, саноатда қурилмани ишлатиш ва жараён бориши даврида қайтариб бўлмайдиган моддий йўқотилишлар албатта бўлади. Унда (1.15) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\sum G_{\text{бош}} = \sum G_{\text{ох}} + \sum G_{\text{йук}} \quad (1.16)$$

бу ерда $G_{\text{йук}}$ - йўқотилган модда миқдори.

Одатда, моддий баланс бутун жараён ёки алоҳида босқичлари учун тузилади.

Иссиқлик баланси энергия сақланиш қонунига таяниб тузилади, яъни: жараёнга киритилаётган энергия миқдори $\sum G_{\text{бош}}$, унда ажралиб чиқаётган энергия миқдорига тенг бўлиши керак:

$$\sum G_{\text{бош}} = \sum G_{\text{ох}} + \sum G_{\text{йук}} \quad (1.17)$$

Демак, чиқиб кетадиган иссиқлик миқдори, маҳсулот ва иссиқлик элткич билан бирга чиқаётган иссиқлик миқдорлари йигиндисига тенг.

Энергетик балансдан, ҳамма турдаги энергияларни кириш ва чиқишидан ташқари, суюқликларни аралаштиришга ёки газларни сиқиш ва узатиш учун сарфланаётган механик энергия ҳам ҳисоблаб топилади.

Иссиқлик балансидан келиб чиққан ҳолда иситувчи буг, сув ва бошқа иссиқлик элткичлар сарфи аниқланса, энергетик балансдан эса — жараённи амалга ошириш учун зарур умумий энергия сарфи топилади.

Жараён ўтиши даврида олинган натижага вақт ва юза (ёки ҳажм) бирликларининг нисбатига жараён интенсивлиги дейилади. Жараён интенсивлиги вақт бирлигида юза (ёки ҳажм) бирлигидан ўтган энергия ёки масса миқдори билан характерланади.

(1.15) формулага биноан жараён интенсивлиги жараённи ҳаракатга келтирувчи кучга тўғри пропорционалдир. Жараён интенсивлигининг мезони бўлиб, тезлик коэффиценти хизмат қилади:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta}{R} = K\Delta \quad (1.18)$$

бу ерда V — масса ёки энергия миқдори; F — масса ёки энергия ўтаётган юза; τ — жараён давомийлиги; Δ — ҳаракатга келтирувчи куч; R — қаршилиқ; K — тезлик коэффиценти.

Умумий ҳолатда жараённи ҳаракатга келтирувчи куч-потенциаллар фарқи. Хусусий ҳолатларда эса, гидромеханик жараёнлари учун — босимлар фарқи, иссиқлик алмашиниш жараёнлари учун — температуралар фарқи, масса алмашиниш жараёнлари учун — концентрациялар фарқи.

Жараёнларнинг тезлик коэффиценти моддий оқимларнинг ҳаракат режимида боғлиқ. Оқимлар ҳаракати эса, гидродинамика қонунлари билан аниқланади.

Қурилма асосий ўлчамларини аниқлаш. 1.18 тенгламадан фойдаланиб узлуксиз ишлайдиган қурилма асосий ўлчамлари ҳисобланади. Агар, қурилмадан вақт бирлигида ўтаётган муҳит ҳажми V маълум бўлса ва чиқиқли тезлиги w берилган ёки қабул қилинган бўлса, қурилманинг кўндаланг кесим юзаси F ушбу формуладан топилади:

$$F = \frac{V}{w} \quad (1.19)$$

Қурилманинг асосий ўлчамларидан бири бўлган F (1.19) формуладан аниқланади. Цилиндр шаклдаги қурилмалар учун унинг диаметри — D . Яна

бир асосий ўлчамларидан бири қурилма ишчи баландлиги (ёки узунлиги) H . (1.18) формуладан қурилма ишчи ҳажми V ёки юза F топилиши мумкин. Агар, F маълум бўлса ва $F = a \cdot V$ боғлиқликдан (бу ерда a — солиштирма юза) қурилма ишчи ҳажми аниқланади. Сўнг, V катталиқ бўйича $V = FH$ формуладан фойдаланиб қурилма баландлиги H ҳисобланади.

Машина ва қурилмаларга қўйиладиган талаблар

Машина ва қурилмаларга қўйидаги талаблар қўйилади: қурилма ёки машина юқори самарали (юқори иш унумдорли), ишончли, кам энергия ва металл сарфлайдиган, ҳавфсиз иш ташкил этиш талабларини қондирадиган ва эксплуатация жараёнида хизмат кўрсатиш учун қулай бўлиши керак.

Қурилманинг узоқ муддат мобайнида ва бетўхтов ишлашининг қатъий шартлари бўлиб унинг механик ишончилиги ва конструктив мукамаллиги ҳисобланади. Қурилманинг механик ишончилиги мустаҳкамлик, қаттиқлик, турғунлик, герметиклик (зичлик) каби хоссаларини характерлайди. Мустаҳкамлик эса қурилма конструкциясининг узоқ муддат мобайнида ва ҳавфсиз иш ташкил этиш билан узвий боғлиқдир.

Конструкция мукамаллиги қурилманинг соддалиги, кам металл сарфлаши, технологик мойиллиги ва юқори ф.и.к. билан характерланади.

Эксплуатацион афзалликлари - соддалиги, эксплуатация даврида кичик сарфлар ва хизмат кўрсатиш учун қулайлиги билан характерланади.

Конструкциянинг мукамаллик даражаси техник-иқтисодий кўрсаткичлар: қурилманинг иш унумдорлиги, сарф коэффициентлар, эксплуатацион нарх ва сарфлар, ҳамда тайёр маҳсулот таннарни билан характерланади.

Одатда, технологик тизимларда стандарт қурилма ва машиналар ишлатилиши зарур.

Кимё ва озиқ-овқат саноатлар илмий-тадқиқот ва лойиҳалаштириш институтларининг лойиҳалашга сарфларини камайтириш, маҳсулот нархини пасайтириш ва серияли ишлаб чиқаришни ташкил этиш учун қурилмаларни типларга ажратиш ва нормаллаштириш ишини ўтказишади. Қурилмаларни лойиҳалашда асосий, таянч ҳужжат бўлиб давлат стандартлари, соҳа нормаллари, техник шартлар, қўлланма ва нормалар хизмат қилади.

Машина ва қурилма конструкциялари баҳоланганда, уларнинг техник-иқтисодий характеристикалари муҳим аҳамиятга эга. Кам энергия сарф қилиб тайёр маҳсулот олиш имконини берадиган қурилма ва машиналар оптимал қурилма (ёки машина)лар деб ҳисобланади.

Қурилма ва машиналар оптимал режимларда ишлаши шарт. Бундай режимларни аниқлаш оптималлик критерийсини танлашга боғлиқ. Ўз навбатида оптималлик критерийси бир қатор параметрлар: температура, босим, сарф, тозалаш даражаси ва бошқаларга боғлиқ бўлиши мумкин. Кўпинча, иқтисодий оптималлик критерийларидан ҳам фойдаланилади. Бу критерий жараённинг энергетик, меҳнат ва бошқа сарфларини характерлайди. Ундан ташқари, технологик, статистик, термодинамик ва бошқа оптималлик критерийларини ҳам қўллаш мумкин.

Лекин, охириги йилларда қурилма ва жараёнларни таҳлил қилишда эксергетик* усулни (чуқур, ҳар томонлама) қўллаш кенг миқёсда тарқалмоқда.

* эксергия — грекча “ergon”- иш, куч ва “ex”- ичидан



Гидравлика — бу механиканинг бир бўлимидир. Унда, суюқликлар мувозанат ва ҳаракат қонунлари, ҳамда уларни амалиётда қўллаш ўрганилади.

Гидравлика икки бўлимдан иборат: гидростатика ва гидродинамика.

ГИДРОСТАТИКА

Гидростатика суюқликларнинг мувозанат қонунларини, гидродинамика эса - суюқлик ва газларнинг ҳаракат қонуниятларини ўргатади.

Гидромеханик жараёнлар асосида гидродинамика қонуниятлари ётади ва бу қонуниятлар иссиқлик ва масса алмашилиш, ҳамда кимёвий ва биокимёвий жараёнлар самарадорлигини белгилайди.

2.1. Умумий тушунчалар

Гидравликада суюқлик, газ ва буғларни бирлаштириб, умумий бир ном суюқлик деб юритилиши қабул қилинган. Бунга сабаб, суюқлик ва газларнинг ҳаракат тезликлари товуш тезлигидан кам бўлганда, уларнинг ҳаракат қонуниятлари бир хил. Шунинг учун, гидравликада суюқлик ҳам, газлар ҳам, буғлар ҳам суюқлик деб юритилади.

Суюқлик ва газларнинг қўпчилик хоссалари бир-бирига яқин ва ўхшаш. Масалан, суюқлик ҳам, газлар ҳам бирор шаклга эга эмас. Ундан ташқари, уларнинг қовушоқликлари орасидаги фарқ жуда кичик. Яна, критик температурадан юқори температураларда суюқлик ва газлар орасидаги фарқ умуман йўқолиб боради.

Гидравликанинг асосий қонуниятларини келтириб чиқариш учун гипотетик **идеал** суюқлик деган тушунчадан фойдаланилади.

Босим таъсирида абсолют сиқилмайдиган, температура ортиши билан зичлиги ўзгармайдиган ва қовушоқликка эга бўлмаган суюқлик **идеал** суюқлик деб аталади.

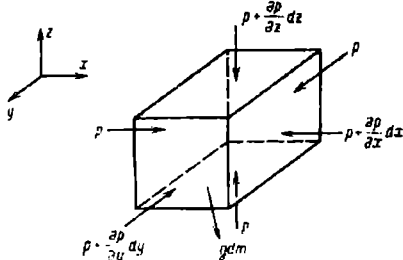
Лекин, амалиётда суюқликлар босим таъсирида сиқилади, температура таъсирида эса - зичлиги ўзгаради ва маълум қовушоқликка эга бўлади. Бундай суюқликлар **ҳақиқий** (реал) суюқликлар деб номланади.

Ҳақиқий суюқликлар томчили ва эластик (газ ва буғ) суюқликларга бўлинади. Томчили суюқликлар амалда сиқилмайди ва жуда кичик ҳажмий кенгайиш коэффициентига эга. Лекин, эластик суюқликларнинг ҳажми, температура ёки босим таъсирида ўзгаради.

2.2. Эйлернинг мувозанат дифференциал тенгламаси

Ушбу тенглама суюқлик мувозанатининг дифференциал тенгламасидан келтириб чиқарилади. Нисбий тинч ҳолатдаги суюқликнинг мувозанатини кўриб чиқамиз. Бу ҳолатда суюқликка массавий кучлар — оғирлик ва энергия кучлари, ҳамда сиртий кучлар — гидростатик босим кучи таъсир этади. Бутун суюқлик ҳажмидан элементар, чексиз кичик dv параллелепипед ҳажмини ажратиб оламиз.

Параллелепипеднинг dx , dy , dz қирралари x , y , z ўқларга параллел жойлашган (2.1-расм).



2.1-расм. Гидростатика учун Эйлernинг мувозанат дифференциал тенгламасини чиқаришга оид.

бу ерда $dm = \rho dx dy dz$ ёки $dQ = X \rho dx dy dz$. Статиканинг асосий қонунига биноан, тинч ҳолатдаги суюқликка таъсир этувчи ҳамма кучлар проекциялари йиғиндиси нолга тенг. Шунинг учун, x ўқидаги кучлар проекцияси

$$p d_x d_z - \left(p - \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) d_y d_z + X p d_x d_y d_z = 0 \quad (2.1)$$

бу ерда $p d_x d_z$ — чап томонга таъсир этувчи гидростатик босим кучи; dp/dx — x ўқи бирор нуқтасидаги гидростатик босимнинг ўзгариши; $(dp/dx)dx$ қирра бўйлаб гидростатик босимнинг ўзгариши.

Қарама-қарши, ўнг томонга таъсир этувчи гидростатик босим $p + (dp/dx)dx$ га тенг ва унинг x ўқидаги проекцияси:

$$\left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dy dz$$

(2.1) тенгламада қавсни очиб, тегишли қисқартиришларни амалга оширсак, қуйидаги кўринишдаги тенгламани оламиз:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X = 0$$

Худди шундай усул билан y ва z ўқлари учун мувозанат тенгламаларини келтириб чиқарамиз:

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \rho Y = 0$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \rho Z = 0$$

Олинган тенгламаларни системалаштирсак:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X &= 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho Y &= 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho Z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Ўртача гидростатик босим кучи, гидростатик босимнинг параллелепипед томони юзаси кўпайтмасига тенг. 2.1-расмдан кўришиб турибдики $p = f(x, y, z)$. Ушбу функционал боғлиқлик кўринишини аниқлаймиз. Бунинг учун элементар параллелепипедга таъсир этувчи ҳамма кучларнинг x, y, z ўқларидаги проекциялар йиғиндисини топамиз. x, y, z ўқларидаги массавий кучларни масса бирлигига нисбатларини X, Y, Z деб белгилаймиз. Ҳажмий кучларнинг x ўқидаги проекцияси $dQ = X dm$ бўлади,

Ушбу тенгламалар системаси Эйлернинг мувозанат ҳолатининг дифференциал тенгламаси деб аталади.

2.3. Гидростатиканинг асосий тенгламаси

(2.2) нинг ҳар бир тенгламасини dx , dy , dz ларга кўпайтириб ва ҳосил бўлган тенгламалар системасини қўшиб чиқсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$$

Гидростатик босим фақат координатлар функцияси бўлгани учун, тенгламанинг чап қисми босимнинг тўлиқ дифференциалини ифодалайди, яъни:

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (2.3)$$

Агар, суюқлик абсолют тинч ҳолатда бўлса, унда инерцион ва оғирлик кучлар пастга қараб йўналган бўлади, яъни $Z = -g$; $X=0$; $Y=0$. Унда

$$dp = -\rho g dz \quad (2.4)$$

Ушбу тенглама чап ва ўнг томонларини ρg бўлсак, қуйидаги кўринишга эришамиз:

$$dz + \frac{1}{\rho g} dp = 0$$

Агар, $\rho = \text{const}$ бўлса,

$$dz + d\left(\frac{p}{\rho g}\right) = 0$$

Охириги тенгламани интегралласак, унда

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const} \quad (2.5)$$

бу ерда z - геометрик напор ёки инсталланган горизонтал юзага нисбатан олинган нуқтанинг нивелир баландлиги, м; $p/\rho g$ - статик напор ёки пьезометрик босим кучи, м.

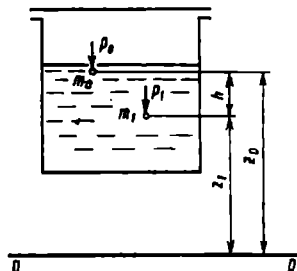
Бу тенглама **гидростатиканинг асосий тенгламаси** деб номланади. Гидростатиканинг асосий тенгламасига биноан, тинч ҳолатдаги суюқликнинг инсталланган нуқтасида геометрик ва статик напорлар йиғиндиси ўзгармас миқдорга тенг.

Масалан, z_0 баландликдаги m_0 суюқлик заррачаси ва z_1 баландликдаги m_1 суюқлик заррачаси учун (2.5) тенгламани ёзсак, у ушбу кўринишда бўлади (2.2-расм):

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \quad (2.6)$$

ёки

$$p_1 = p_0 + \rho g(z_0 - z_1) = p_0 + \rho gh \quad (2.7)$$



2.2-расм. Паскаль қонунини келтириб чиқаришга оид.

(2.7) тенглама **Паскаль** қонунини ифодалайди. Унга биноан, тинч ҳолатдаги суюқликнинг исталган нуқтасига таъсир этаётган ташқи босим суюқликнинг барча нуқталарига бир хилда узатилади.

Статик напор $p/\rho g$ исталган нуқтадаги босимнинг солиштирма потенциал энергиясини характерлайди. Нивелир баландлик z — солиштириш юзасидан юқорида жойлашган исталган нуқта ҳолатининг солиштирма потенциал энергиясини ифодалайди. Иккала энергия йиғиндиси суюқлик оғирлигига тўғри келадиган потенциал энергияга тенг.

Шундай қилиб, гидростатиканинг асосий тенгламаси (2.5) энергия сақланиш қонунининг хусусий ҳоли бўлиб, тинч ҳолатдаги суюқликнинг ҳамма нуқталарида солиштирма потенциал энергия қиймати ўзгармас катталикдир.

(2.3) тенгламадан фойдаланиб сатҳ юза ёки бир хил босимли юза тенгламасини келтириб чиқариш мумкин, яъни $dp=0$ ва $Xdx+Ydy+Zdz=0$.

Абсолют тинч ҳолатдаги суюқлик учун тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$-gdz = 0 \quad \text{ёки} \quad dz = 0; \quad z = \text{const}$$

Шундай қилиб, абсолют тинч ҳолатдаги суюқликнинг сатҳи текис, горизонтал юза кўринишида бўлади.

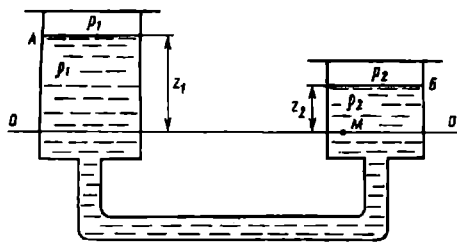
2.4. Гидростатиканинг асосий тенгламасини амалиётда қўллаш

Туташган идишлар. Иккита ёпиқ **A** ва **B** идишлар зичликлари ҳар хил ρ_1 ва ρ_2 аралашмайдиган суюқликлар билан тўлдирилган (2.3-расм).

A идишдаги босим p_1 , **B** даги эса p_2 . Ихтиёрий **O-O** текислигини ўтказамиз ва унда **M** нуқта танлаб, унинг учун мувозанат тенгламасини тузамиз:

$$p_1 + \rho_1 g z_1 = p_2 + \rho_2 g z_2 \quad \text{ёки} \quad p_1 - p_2 = \rho_2 g z_2 - \rho_1 g z_1 \quad (2.8)$$

бу ерда z_1 ва z_2 — **A** ва **B** идишларда нисбатан **M** нуқта сатҳидан суюқлик юзасигача, бўлган баландлиги.



2.3-расм. Туташган идишлар.

Агар очик ёки ёпиқ идишларда бир хил зичлик ρ га эга суюқликлар бир босим остида, яъни $p_1 = p_2$ бўлса, унда, (2.8) тенглама қуйидаги ҳолатга келди — $z_1 = z_2$.

Шундай қилиб, туташган идишлар зичлиги бир хил суюқлик билан тўлдирилган ва бир хил босим остида бўлса, унда идишлар шакли ва кўндаланг кесимидан қатъий назар,

суюқлик сатҳи бир хил бўлади.

Туташган идишларнинг бу хоссасидан техникада қурилма ва идишларнинг ичидаги суюқлик баландлигини аниқлашда фойдаланилади.

Агар, идишлар бир хил суюқлик билан тўлдирилган, лекин улардаги босимлар ҳар хил бўлса, (2.8) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$z_2 - z_1 = \frac{P_1 - P_2}{\rho g}$$

Агар, идишларда босим бир хил, лекин турли хил суюқликлар солинган бўлса, (2.8) тенглама ушбу ҳолатга келади:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Идиш девори ва тубига суюқлик босими суюқлик ичидаги ихтиёрий нуқта ва тубидаги гидростатик босим гидростатиканинг асосий тенгламаси (2.7) ёрдамида топилади:

$$p = p_0 = \rho g(z_0 - z)$$

Ушбу ҳолатда идишнинг горизонтал туби учун $z_0 - z = \text{const}$. Идиш ичидаги суюқлик баландлигини H орқали ифодаласак, қуйидаги формулани оламиз:

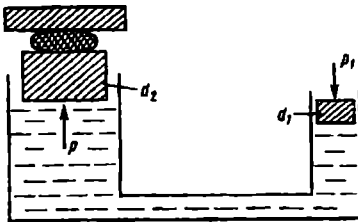
$$p = p_0 + \rho g H$$

Идиш тубидаги босим кучи $P = pF$ га тенг, бу ерда F -идиш тубининг юзаси.

Охириги формуладан, идишнинг горизонтал тубига тушаётган суюқликнинг босим кучи, унинг шакли ва ичидаги суюқлик ҳажмига боғлиқ эмаслиги келиб чиқади.

Гидравлик пресс. Кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларда турли материални пресслаш, грануллаш ва брикетлаш учун гидравлик пресслар ишлатилади. Бундай пресслар ишлаш принципи поршеннинг юзаси босим кучининг пропорционалтигига асосланган.

Агар, d_1 диаметрли поршенга p_1 куч таъсир эттирилиб p гидростатик босим ҳосил қилинса, Паскаль қонунига кўра, d_2 ўлчамли катта поршенга ҳам p катталиқда босим таъсир этади (2.4-расм)



2.4-расм. Гидравлик пресс.

d_2 ўлчамли поршенга таъсир этувчи босим кучи:

$$P_2 = \frac{p \cdot \pi \cdot d_2^2}{4}$$

d_1 ўлчамли поршенга эса,

$$P_1 = \frac{p \cdot \pi \cdot d_1^2}{4}$$

Биринчи тенгламани иккинчиси га бўлсак, қуйидаги тенгламани

оламиз:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Сууюқликларнинг труба қувурлари ва каналларда оқиши, ҳаракатга келтирувчи куч, яъни босимлар фарқи таъсирида рўй беради. Ушбу куч насос, компрессорлар, айрим ҳолларда сууюқликлар зичлиги ёки сатҳининг фарқи ёрдамида ҳосил қилинади.

Маълум миқдордаги сууюқликни зарур тезликда узатиш учун босимлар фарқини аниқлаш керак. Ундан ташқари, узатиш учун керакли энергия миқдори ёки босимлар фарқи маълум бўлса, сууюқлик сарфи ва тезлиги топилади. Юқорида кўрсатилганларни амалга ошириш учун гидродинамика қонуниятларини билиш даркор.

Гидродинамикада ташқи ва ички масалалар бўлади. Труба ва каналлар ичидаги сууюқликнинг ҳаракати бу гидродинамиканинг ички масаласидир. Турли жисмлар юзасида сууюқликнинг ҳаракати — бу гидродинамиканинг ташқи масаласидир.

2.5. Сууюқлик ҳаракатининг асосий характеристикалари

Сууюқлик сарфи ва тезлиги. Ўзгармас кўндаланг кесимли трубада сууюқлик ҳаракатини кўриб чиқамиз.

Вақт бирлигида кўндаланг кесим орқали оқиб ўтаётган сууюқлик миқдорида **сууюқлик сарфи** дейилади. Агар сууюқлик сарфи $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{соат}$ ўлчов бирликларида ўлчанса - ҳажмий сарф, $\text{кг}/\text{с}$, $\text{кг}/\text{соат}$ ларда ўлчанса - **массавий сарф** деб ҳисобланади.

Оқим кўндаланг кесимининг турли нуқталарида сууюқлик заррачаларининг тезлиги бир хил бўлмайди.

Куйида келтирилган 2.13 - расмга биноан, труба ўқи атрофида сууюқлик тезлиги максимал, унинг деворига яқинлашган сари минимал қийматга тенг бўлади. Лекин, кўпчилик ҳолларда труба кўндаланг кесими орқали оқиб ўтаётган сууюқлик тезликларининг тақсимланиш қонуниятлари номаълум ёки уни аниқлаш жуда қийин. Сууюқликларнинг ҳақиқий тезлигини ўлчаш жуда мураккаб бўлгани учун, муҳандислик ҳисоблашларда заррачалар ўртача тезлиги ишлатилади. Сууюқлик ҳажмий сарфи Q ($\text{м}^3/\text{с}$) нинг труба кўндаланг кесим юзаси F (м^2) нисбатига **ўртача тезлик** w ($\text{м}/\text{с}$) деб номланади:

$$w = \frac{Q}{F} \quad (2.9)$$

Бундан ҳажмий сарф,

$$Q = w \cdot F \quad (2.10)$$

Массавий сарф G ($\text{кг}/\text{с}$) эса, куйидаги формуладан аниқланади:

$$G = \rho \cdot w \cdot F \quad (2.11)$$

бу ерда ρ - сууюқлик зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, юқорида келтирилган формулалар исталган шаклдаги кўндаланг кесимли каналлар учун ҳам тўғри келади.

Гидравлик радиус ва эквивалент диаметр. Думалоқ бўлмаган, исталган шаклдаги кўндаланг кесимли трубалардан сууюқлик оқиб ўтганда, асосий чи-

зиқли ўлчам сифатида гидравлик радиус ёки эквивалент диаметри қабул қилинади.

Труба ёки канал ичида ҳаракат қилаётган оқим кўндаланг кесим юзасининг периметрига нисбати **гидравлик радиус** r (м) дсб номланади:

$$r = \frac{F}{\Pi} \quad (2.12)$$

бу ерда F - суюқлик оқими кўндаланг кесим юзаси, м^2 ; Π - ҳўлланган периметр, м.

Ички диаметри d , кўндаланг кесим юзаси $F = \pi d^2/4$ ва ҳўлланган периметри $\Pi = \pi d$ бўлган думалоқ труба учун гидравлик радиус ушбу формуладан топилади:

$$r_c = \frac{F}{\Pi} = \frac{\pi \cdot d^2 / 4}{\pi d} = \frac{d}{4} \quad (2.13)$$

Гидравлик радиус орқали ифодаланган **эквивалент диаметр** қуйидаги кўринишга эга

$$d = d_c = 4r$$

Агар, (2.12) тенгламани инобатга олсак,

$$d_c = \frac{4 \cdot F}{\Pi}$$

Томонлари a ва b бўлган тўртбурчак кўндаланг кесимли суюқлик билан тўлдирилган каналлар учун гидравлик радиус ушбу тенгламадан аниқланади:

$$r_c = \frac{F}{\Pi} = \frac{a \cdot b}{2a + 2b} = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}$$

эквивалент диаметр эса

$$d_c = 4r_c = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

Ички диаметри d_u ва ташқи диаметри d_r бўлган иккита трубалар ҳосил қилган ҳалқасимон трубалараро бўшлиқнинг кўндаланг кесим юзаси учун эквивалент диаметр қуйидаги тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$d_c = \frac{4 \cdot F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_r^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} \right)}{\pi \cdot d_r + \pi \cdot d_u} = \frac{d_r^2 - d_u^2}{d_r + d_u} = d_r - d_u$$

Думалоқ труба учун $d_c = d$.

Турғун ва турғунмас (нотурғун) оқимлар. Суюқлик ҳаракат қонуниятларига қараб турғун ва нотурғун оқимлар бўлади.

Суюқлик оқимининг турғун ҳаракати даврида вақт ўтиши билан суюқлик заррачаларининг тезлиги ва бошқа омиллар (босим, зичлик, температура ва ҳоказолар) ўзгармайди ($dw/d\tau=0$, $dp/d\tau=0$ ва ҳоказо), лекин оқимда кузатилаётган нуқта ҳолатига боғлиқ:

$$w = f_1(x, y, z); \quad p = f_2(x, y, z); \quad h = f_3(x, y, z)$$

бу ерда w - суюқлик тезлиги; p - босим; h - оқим чуқурлиги.

Турғунмас ҳаракат даврида тезлик, босим ва оқим чуқурлиги координата ва вақтга боғлиқ бўлади:

$$w = f_1(x, y, z, \tau); \quad p = f_2(x, y, z, \tau); \quad h = f_3(x, y, z, \tau)$$

Оқимларнинг турғун ҳаракати узлуксиз, ногурғун эса - даврий жараёнлар учун характерлидир.

Турғун ҳаракат икки хил бўлади: текис ва нотекис.

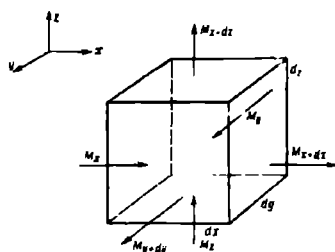
Оқим узунлиги бўйича унинг тезлиги, босими, чуқурлиги ва шакли ўзгармаса, суюқликнинг ҳаракати текис, лекин буларнинг акси бўлса нотекис ҳаракати содир бўлади.

Оқим ўртасида (ўқида) суюқлик ҳаракатининг тезлиги максимал, девор атрофидаги оқимчаларда эса минимал бўлади. Оқимда тезликлар тақсимланиши суюқлик ҳаракат режимларига боғлиқ.

2.6. Оқимнинг узлуксизлик тенгламаси

Узлуксиз ҳаракат қилаётган шароитда суюқлик оқимидаги тезликлар орасидаги боғлиқликни кўриб чиқамиз.

Бунинг учун оқимдан ҳажми $dV = dx, dy, dz$ бўлган элементар параллелепипедни ажратиб оламиз (2.5-расм).



2.5-расм. Суюқлик оқимининг узлуксизлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

x ўқи бўйлаб ҳаракат тезлигининг ташкил қилган w_x деб белгилаймиз. Унда, параллелепипеднинг $dy \cdot dz$ чап томонидан чексиз қисқа вақт ичида унга қуйидаги миқдорда суюқлик киради:

$$M_x = \rho w_x \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

бу ерда ρ - суюқлик зичлиги.

Суюқлик умуман сиқилмайди деган тахминни қабул қиламиз. Унда, суюқлик зичлиги ρ ўзгармас бўлади.

Параллелепипеднинг қарама-қарши томонида суюқликнинг тезлиги

$\frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$ қийматга фарқ қилади ва қуйидагига тенг бўлади:

$$w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$$

Ўнг томондан $d\tau$ вақт ичида оқиб чиққан суюқлик миқдори қуйидагига тенг:

$$M_{x+dx} = \rho \left(w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Параллелепипедда ортиб бораётган масса миқдори

$$dM_x = M_x - M_{x+dx} = -\rho \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

га тенг бўлади.

y ва z ўқлари бўйлаб, суюқлик массасининг ўзгариши қуйидагига тенг бўлади:

$$dM_y = -\rho \frac{\partial w_y}{\partial y} \cdot dy \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau$$

$$dM_z = -\rho \frac{\partial w_z}{\partial z} \cdot dz \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau$$

Параллелепипедда $d\tau$ вақт бирлиги ичида суюқлик массаси умумий миқдорининг ўзгариши координата ўқлари бўйлаб, унинг ўзгаришлари йиғиндисига тенг:

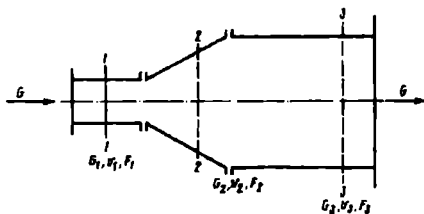
$$dM = dM_x + dM_y + dM_z = -\rho \cdot \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Агар, $\rho = \text{const}$ бўлганда, параллелепипед ичидаги суюқлик массаси ўзгармас бўлиши керак. Демак, массанинг умумий ўзгариши $dM=0$ ёки

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0 \quad (2.13)$$

ёки $\text{div} \mathbf{w} = 0$, бу ерда $\frac{\partial w_x}{\partial x}, \frac{\partial w_y}{\partial y}, \frac{\partial w_z}{\partial z}$ — x, y, z ўқлари йўналишида тезликларнинг ўзгариши. Ушбу тенглама сиқилмайдиган суюқлик оқими узлуксизлигининг дифференциал тенгламаси.

(2.13) тенгламани интеграллагандан кейин, суюқликнинг турғун ҳаракати пайтида труба қувурининг ҳар бир қўндаланг кесимидан вақт бирлигида бир хил миқдорда суюқлик оқиб ўтади (2.6-расм).



2.6-расм. Суюқлик оқимининг узлуксизлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

$$G_1 = G_2 = G_3 = \dots = \text{const} \quad (2.14)$$

бу ерда G — массавий сарф, кг/с; $G = \rho w F$.

Томчили, сиқилмайдиган суюқликлар учун $\rho = \text{const}$ бўлгани учун (2.14) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$w_1 F_1 = w_2 F_2 = w_3 F_3 = \text{const} \quad (2.15)$$

(2.15) тенгламадан кўрииб турибдики, томчили суюқлик ҳаракатининг тезлиги трубаининг қўндаланг кесим юзасига тескари пропорционалдир:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

Шундай қилиб, (2.15) тенглама масса сақланиш қонунининг хусусий ҳоли бўлиб, суюқлик оқимининг моддий балансини ифодалайди.

Агар, суюқлик таркибида ҳаво ёки сув буғи, ёки ҳаво бўшлиқлари пайдо бўлса, оқим узлуксизлиги бузилади.

2.7. Суюқлик ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенгламаси

Оқимнинг исталган нуқтасида суюқлик ҳаракатининг тезлиги ва босим орасидаги боғлиқликни Л. Эйлернинг ҳаракат тенгламаси ёрдамида ифодалаш мумкин.

Ушбу тенгламани келтириб чиқариш учун турғун ҳаракат қилаётган идеал суюқлик оқимидан $dV = dx dy dz$ ҳажмли элементар параллелепипед ажратиб оламиз (2.1-расм).

Параллелепипедга таъсир этувчи оғирлик ва босим кучларининг координат ўқларидаги проекциялари қуйидагича бўлади:

$$x \text{ ўқига} \quad -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$$

$$y \text{ ўқига} \quad -\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$$

$$z \text{ ўқига} \quad -\frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz$$

Динамиканинг асосий принципига биноан, ҳаракатдаги элементар суюқлик ҳажмига таъсир этувчи ҳамма кучлар проекцияларининг йиғиндиси суюқлик массасини унинг тезланиши кўпайтмасига тенг.

Параллелепипед ҳажмидаги суюқлик массаси:

$$dm = \rho dx dy dz$$

Агар, элементар заррача тезлиги w , унинг тезланиши $dw/d\tau$ бўлса, тезланишнинг координатлар ўқидаги проекциялари қуйидагича бўлади:

$$\frac{dw_x}{d\tau}; \quad \frac{dw_y}{d\tau}; \quad \frac{dw_z}{d\tau}.$$

бу ерда w_x, w_y, w_z — x, y, z ўқлардаги тезликлар.

Координата ўқларига нисбатан тезланишнинг проекциялари $\partial w_x / \partial \tau$, $\partial w_y / \partial \tau$ ва $\partial w_z / \partial \tau$ бўлади.

Суюқлик оқими турғун ҳаракат қилаётгани сабабли $\partial w_x / \partial \tau = 0$; $\partial w_y / \partial \tau = 0$; $\partial w_z / \partial \tau = 0$.

Бунда, тезликнинг вақт ўтиши билан ўзгариши, фазода олинган нуқта тезлигининг ўзгаришини эмас, балки суюқлик элементар заррачасининг фазода бир нуқтадан иккинчисига ўтганда x , y ва z ўқларга мос келадиган тезлик миқдори w_x , w_y ва w_z ларнинг ўзгаришини кўрсатади. Динамиканинг асосий принципага биноан:

$$\rho dx dy dz \frac{dw_x}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$$

$$\rho dx dy dz \frac{dw_y}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$$

$$\rho dx dy dz \frac{dw_z}{d\tau} = - \left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz$$

Қисқартиришлардан сўнг эса, ушбу тенгламалар системасини оламир:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= - \rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Бу тенгламалар системаси турғун оқимлар учун идеал суюқликлар ҳаракатини ифодаловчи Эйлернинг дифференциал тенгламаси.

2.8. Ҳақиқий суюқлик оқими учун Бернулли тенгламаси

Турғун оқимлар учун Эйлернинг дифференциал тенгламалар системасини ечиш гидродинамикада катта аҳамиятга эга ва жуда кўп ишлатиладиган Бернулли тенгламасини олиш имконини беради.

Агар, (2.16) тенгламалар системасининг чап ва ўнг томонларини dx , dy , dz ларга кўтайтириб ва суюқлик зичлиги ρ га бўлсак, ушбу ифодаларни оламир:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} \cdot dw_x &= - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} dx \\ \frac{dy}{d\tau} \cdot dw_y &= - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} dy \\ \frac{dz}{d\tau} \cdot dw_z &= - g dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} dz \end{aligned} \quad (2.17)$$

(2.17) тенгламалар системасидаги $dx/d\tau$, $dy/d\tau$ ва $dz/d\tau$ нисбатлар тегишли координата ўқларидаги w_x , w_y ва w_z тезликларнинг ўзгаришини ифодалайди. Ушбу нисбатларни тезлик орқали ифодалаб, ўз ўрнига қўйсак:

$$w_x dw_x + w_y dw_y + w_z dw_z = -g dz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right)$$

Тенгламанинг чап томонидаги қўшилувчилар қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$w_x dw_x = d\left(\frac{w_x^2}{2}\right); \quad w_y dw_y = d\left(\frac{w_y^2}{2}\right); \quad w_z dw_z = d\left(\frac{w_z^2}{2}\right).$$

Уларнинг йиғиндиси эса,

$$d\left(\frac{w_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_z^2}{2}\right) = d \cdot \left(\frac{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}{2} \right) = d\left(\frac{w^2}{2}\right)$$

бу ерда $w = |\vec{w}|$ - тезлик векторининг катталиги бўлиб, w_x , w_y ва w_z ўқлари учун ўз қийматига эга.

Тенгламанинг ўнг томонидаги ифода босимнинг тўла дифференциали dp га тенг. Турғун оқимлар учун босим фазодаги нуқта ҳолатига боғлиқ бўлиб, исталган нуқта учун вақт бирлигида ўзгармайди.

Демак,

$$d\left(\frac{w^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - g dz$$

Ушбу тенгламанинг иккала томонини эркин тушиш тезланиши g га бўлсак ва ҳамма ифодала; ни чап томонга ўтказсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$d \cdot \left(\frac{w^2}{2g} \right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0 \quad (2.18)$$

Бир жинсли, сиқилмайдиган суюқликлар учун $\rho = \text{const}$.

Тенгламадаги дифференциаллар йиғиндисини йиғиндилар дифференциали билан алмаштирилиши мумкин, яъни:

$$d\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right) = 0$$

бу ерда

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g} = \text{const} \quad (2.19)$$

Ушбу кўринишдаги ифода идеал суюқликлар учун **Бернулли тенгламаси** дейилади. $\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right)$ катталикка **тўлиқ гидродинамик напор** ёки **гидродинамик напор** деб номланади.

Бернулли тенгламасига биноан, идеал суюқликларнинг турғун ҳаракатида геометрик, статик ва динамик напорлар йиғиндиси умумий гидро-

динамик напорга тенг бўлиб, оқим бир трубадан иккинчисига ўтганда ҳам ўзгармайди.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (2.20)$$

Бернулли тенгламаси энергия сақланиш қонунининг хусусий ҳоли бўлиб, оқимнинг энергетик балансини характерлайди. z нивелир баландлик ёки геометрик напор (h_z , м) деб аталади ва нуқта ҳолатининг солиштирма потенциал энергиясини ифодалайди. $\frac{p}{\rho g}$ - босим напори ёки пьезометрик напор

(h_c , м) деб номланади ва босимнинг солиштирма потенциал энергиясини ифодалайди.

$\left(z + \frac{p}{\rho g} \right)$ йиғинди тўлиқ гидростатик ёки статик напор ($h_{ст}$, м) дейилади ва ушбу нуқтадаги тўлиқ солиштирма потенциал энергияни ифодалайди.

$\frac{w^2}{2g}$ - тезлик ёки динамик напор (h_d , м) деб номланади ва у ушбу нуқтадаги солиштирма кинетик энергияни характерлайди.

Демак, турғун характердаги суюқлик учун потенциал $\left(z + \frac{p}{\rho g} \right)$ ва кинетик $\left(\frac{w^2}{2g} \right)$ энергиялар йиғиндиси оқимнинг исталган қўндаланг кесимида ўзгармас қийматга эга.

Маълумки, ҳақиқий (реал) суюқликларда ички ишқаланиш кучлари мавжуд бўлиб, улар труба ёки каналларда ҳаракат қилганда, бир қисм напор бу кучни енгишга сарф этилади.

Ҳақиқий суюқликлар учун Бернулли тенгламаси ушбу кўринишда ёзилади:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_u \quad (2.21)$$

ёки

$$h_z + h_c + h_g + h_u = H$$

бу ерда h_u - ишқаланиш кучини енгиш учун сарфланган напор.

Агар, суюқлик горизонтал трубада ҳаракат қилаётган бўлса, унда геометрик напор нолга тенг бўлади, яъни $h_z=0$. Унда

$$h_c + h_d + h_u = H \quad (2.22)$$

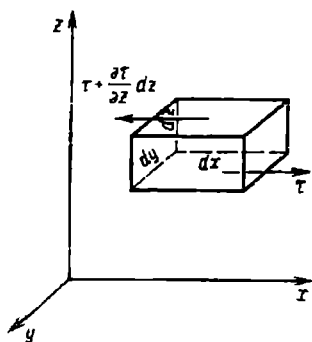
Шундай қилиб, Бернулли тенгламаси энергия сақланиш қонунининг хусусий ҳоли бўлиб, оқимнинг энергетик балансини ифодалайди.

2.9. Суяқлик ҳаракатининг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси

Суяқлик оқими ҳаракатининг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси 1845 йили келтириб чиқарилган.

Бу тенгламани келтириб чиқариш учун қуйидаги тахминлар қабул қилинади: суяқлик сиқилмайди ва кенгаймайди.

Қовушоқ, ҳақиқий (реал) суяқликлар ҳаракатида оқим заррачаларига оғирлик ва гидростатик кучлардан ташқари, ишқаланиш кучлар таъсирини топиш учун ҳаракатдаги ҳақиқий суяқлик оқимида чексиз кичик параллелепипед шаклидаги элементар заррача ажратиб оламиз (2.7-расм). Ишқаланиш кучлари параллелепипеднинг устки ва пастки томонлари $dF = dx \cdot dy$ юзаларига уринма бўйлаб, таъсир этмоқда.



2.7-расм. Навье-Стокс тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

Агар параллелепипед пастки томонида уринма бўйлаб кучланиш τ бўлса, устки томонида эса:

$$\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz$$

бу ерда $\frac{\partial \tau}{\partial z} dz$ параллелепипед z ўқидаги пастки томон уринма кучланишининг ўзгаришини ифодалайди.

x ўқига таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг проекцияси қуйидагига тенг бўлади:

$$\tau dx dy - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz \right) dx dy = - \frac{\partial \tau}{\partial z} dx dy dz$$

Ушбу тенгламага уринма кучланиши $\tau = \mu \frac{\partial w_x}{\partial z}$ ни қўйсак, қуйидагича кўринишга эга бўламиз:

$$\mu \frac{\partial \left(\frac{\partial w_x}{\partial z} \right)}{\partial z} dx dy dz = \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} dx dy dz$$

Умумий ҳолатда, агар уч ўлчовли оқим w_x тезлигининг ташкил этувчиси фақат z ўқи йўналишида эмас, балки координатанинг ҳамма уч ўқи йўналишида ўзгаради. Унда x ўқига бир хил таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг проекцияси ушбу кўринишда бўлади:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) dx dy dz$$

Координата ўқлари бўйлаб иккинчи ҳосилалар йиғиндиси Лаплас оператори деб номланади:

$$\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} = \nabla^2 w_x \quad (2.23)$$

Чексиз кичик элементар параллелепипед шаклдаги заррачага таъсир этувчи оғирлик, гидростатик ва ишқаланиш кучлари проекцияларининг йиғиндиси динамиканинг асосий принципти биноан қуйидагига тенг:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \end{aligned} \right\} \quad (2.24)$$

(2.24) тенгламалар системасида ρg оғирлик кучи, $\partial p / \partial x$, $\partial p / \partial y$, $\partial p / \partial z$ - гидростатик босим ўзгариши Лаплас операторини μ га кўпайтмаси — ишқаланиш кучларининг суюқлик оқимига таъсирини харақтерлайди. Тенгламалар системасининг чап томонлари инерция кучларининг таъсирини ифодалайди.

Келтириб чиқарилган (2.24) тенгламалар системаси трубада оқаётган ҳақиқий суюқлик оқимининг турғун ҳаракатини ифодаловчи Эйлер дифференциал тенгламаси дейилади.

(2.24) даги $\mu = 0$ бўлганда, идеал суюқлик оқимларининг турғун ҳаракатини ифодаловчи Эйлернинг дифференциал тенгламасини олиш мумкин.

Ҳақиқий суюқлик ҳаракатини тўла ифодалаш учун тенгламалар системасини келтириб чиқаришда суюқликнинг сиқилувчанлиги ва температура таъсирида кенгайишини, ҳамда оқимнинг узлуксизлигини ҳисобга олиш зарур.

Лекин, математик ифода мураккаблиги учун умумий кўринишдаги Навье-Стокс дифференциал тенгламалар системасини ечиш қийин. Шунинг учун ушбу тенгламалар системаси айрим хусусий ҳоллар учунгина ечилган. Бунинг учун, бу дифференциал тенгламалардан ўхшашлик назарияси асосида бир қатор ўхшашлик критерийлари келтириб чиқарилади. Олинган критерийлар жараёнларни ҳисоблашда ишлатилади.

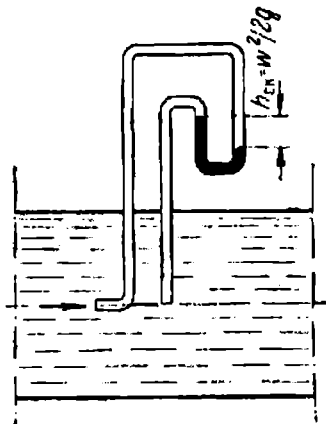
2.10. Бернулли тенгламасининг амалий қўлланилиши

Кимё ва озиқ-овқат саноатларида суюқликлар тезлиги, сарфи ва тешиклардан оқиб чиқишини аниқлашда Бернулли тенгламасидан кенг қўламда фойдаланилади.

Суюқлик тезлиги ва сарфини ўлчаш принциплари. Саноатда ва илмий тадқиқотларда суюқлик тезлиги ва сарфини ўлчаш учун дроссел асбоблар ва пневмометрик трубалар ишлатилади.

Пито-Прандтл пневмометрик трубкасининг тузилиши 2.8-расмда кўрсатилган.

Трубкаларнинг ҳар бир кўндаланг кесимида суюқлик сатҳларининг фарқи, унинг ўқидаги нуқтанинг тезлик напори h_t ни ифодалайди. Трубкалардаги ишчи суюқлик сатҳларини U -симон дифференциал манометр ёрдамида ўлчаш қулай. U -симон дифманометр ичидаги суюқлик ишчи суюқлик билан аралашмайди ва унинг зичлиги ишчи суюқликниқидан анча катта бўлади.



2.8-расм. Пневмометрическая трубка ёрдамида суюқлик тезлигини ўлчаш.

Агар, трубадаги суюқлик бирор тезликка эга бўлса, U -симон дифманометрда суюқлик h баландликка кўтарилиши динамик напорни кўрсатади, яъни

$$h_d = \frac{w^2}{2g}$$

Динамик напор қийматидан тезликни топиш мумкин:

$$w = \sqrt{2gh} \quad (2.25)$$

Пито-Прандтл трубкасининг оқими йўналишида бўлиши, суюқлик тезлигининг умумий тақсимланишига таъсир этади. Шунинг учун формулага тегишли тузатиш коэффициенти киритилади:

$$w = \alpha \sqrt{2gh} \quad (2.26)$$

Формуладаги α сарф коэффициентининг қиймати ҳар бир ўлчов асбоби ва пневмометрик трубкалар учун тажриба йўли билан аниқланади. Унинг қиймати Рейнольдс критерийси ва дроссель асбоби диаметри d_0 нинг труба диаметри d_1 нисбатига боғлиқдир:

$$\alpha = f\left(\text{Re}, \frac{d_0}{d_1}\right)$$

Суюқлик сарфи эса секундли сарф тенгласидан топилади:

$$V = wF$$

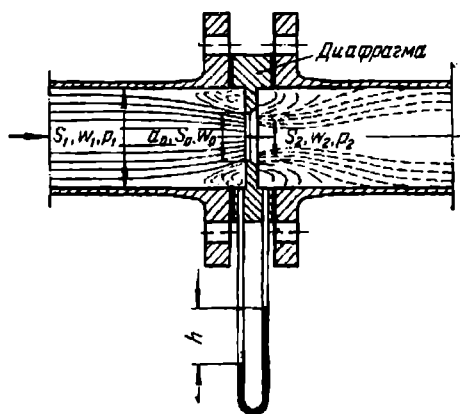
Бу усулда суюқлик тезлиги ва сарфини аниқлаш осон, лекин пневмометрик трубкани труба қувурининг ўқиға ўрнатиш қийинлиги учун юқори аниқликка эришиб бўлмайди.

Шунинг учун халқ хўжалигининг турли соҳаларида суюқлик ва тезликни ўлчаш учун дроссель асбоблар қўлланилади.

Бу асбобларнинг ишлаш принципи трубкаларнинг кўндаланг кесими ўзгариши билан динамик босимлар фарқининг ўзгаришига асосланган. Дроссель асбоблар сифатида ўлчов диафрагмаси, соплоси ва Вентури трубкалари ишлатилиши мумкин.

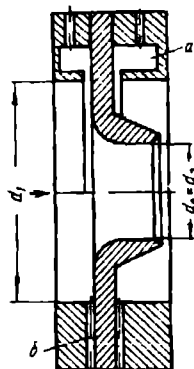
Ўлчов диафрагмаси юпқа дискдан ясалди ва ўртасида думалоқ кўндаланг кесимли тешик бўлади (2.9-расм).

Ўлчов соплоси насадка бўлиб, кириш қисми аста-секин торайиб борадиган қайишлишдан ва чиқиш қисми цилиндрик шаклга эга. U -симон дифференциал манометр ҳалқасимон a ёки b каналларга уланади (2.10-расм).

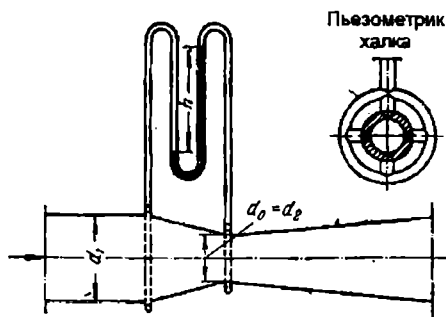


2.9-расм. Ўлчов диафрагмаси.

Вентури трубасида ўлчовчи диафрагма ва соплоларга нисбатан напор ва босимнинг йўқотилиши кам бўлади (2.11-расм). Бунга сабаб, Вентури трубасида диаметр d аста-секин торайиб, кейин эса аста-секин кенгайиб, дастлабки ҳолати d ўлчамига қайтишдир. Лекин, бу асбобнинг камчилиги шундаки, унинг узунлиги жуда катта. Бу эса, унинг саноатда кенг қўлланилишини маълум миқдорда чеклайди.



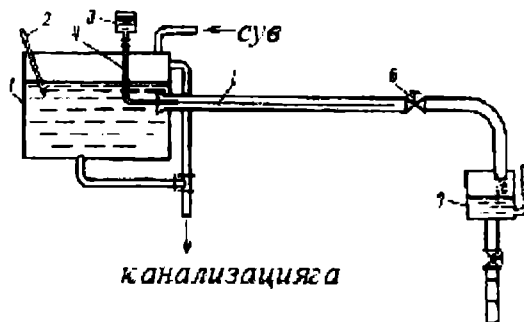
2.10-расм Ўлчов соплоси.



2.11-расм. Вентури трубаси.

2.11. Суюқлик ҳаракати режимлари

Суюқлик ҳаракати режимлари биринчи бор тажриба қўрилмасида 1883 йили инглиз олими Рейнольдс томонидан ўрганилган (2.12-расм).



2.12-расм. Рейнольдс қўрилмаси.

1-бақ; 2-термометр; 3-рангли модда учун идиш; 4-капилляр труба; 5-труба; 6-кран; 7-йиғич.

Суюқликнинг бақ 1 дан оқиб чиқиши ўзгармас напорда содир бўлади. Суюқлик сарфи эса, кран 6 ёрдамида ростланади ва ўлчов идиши 7 да унинг миқдори аниқланади. Труба 5 нинг ўқи бўйлаб капилляр труба 4 ўрнатилади ва у орқали рангли суюқлик узатилади.

Тажриба пайтида труба 5 га асосий суюқлик билан бирга рангли суюқлик юборилади. Труба 5 ичида тезликлар кичик

бўлганда, рангли суюқлик оқимчаси оқим ўқи бўйлаб ингичка чизик бўлиб чўзилади ва бир текис ҳаракат қилаётганини кўрамыз. Агар, турли жойларда ўрнатилган бир нечта турли капилляр найчалардан асосий оқимга ўрнатилган рангли суюқлик юборсак, бир-бири билан йўналишлари кесишмайдиган оқимчаларни кузатамиз. Труба ичида суюқлик оқимчаларининг параллел йўналиш бўйлаб, яъни техникада **ламинар режим** деб номланувчи, суюқликнинг оқимчали ҳаракати содир бўлади.

Оқимда тезликлар тақсимланиши парабола шаклидаги чизик билан ифодаланади. Бунда, максимал тезлик оқимнинг ўқида бўлади, минимал тезлик эса - труба девори яқинидаги қатламларга тўғри келади. Труба деворига ёпишиб турган юпқа суюқлик қатлами - **чегаравий қатлам** деб номланади.

Агар, суюқлик тезлиги янада оширсак, рангли суюқлик тўлқинсимон ҳаракатланиб бутун суюқлик оқимига аралашиб, кўринмай кетади. Бунга сабаб, оқимнинг айрим заррачалари нафақат труба ўқи бўйлаб горизонтал, чизикли ҳаракат қилади, балки суюқлик заррачалари бир-бири билан аралашиб, кўндаланг йўналишда тартибсиз ҳаракатланади. Натижада бутун суюқлик массаси индикатор рангига бўялади. Суюқликнинг бундай тўлқинсимон, тартибсиз ҳаракат **турбулент режим** деб аталади. Оқимда тезликлар тақсимланиш чўққиси кенг, параболасимон чизик билан ифодаланади.

Инглиз физик-олими Рейнольдс тажрибаларда суюқлик тезлиги, қовушоқлиги, зичлиги ва труба диаметрини ўзгартирди. Тажрибалар таҳлили асосида олим қуйидагича хулосага келди: суюқлик оқимининг ламинар режимдан турбулент режимга ўтиши суюқлик массавий тезлиги ρw , труба диаметрига тўғри ва суюқлик қовушоқлиги μ га тескари пропорционалдир. Олим томонидан таклиф этилган ўлчамсиз комплекс Рейнольдс критерийси деб юритилади.

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{wd}{\nu} \quad (2.27)$$

бу ерда $\nu = \mu/\rho$ - кинематик қовушоқлик, m^2/s .

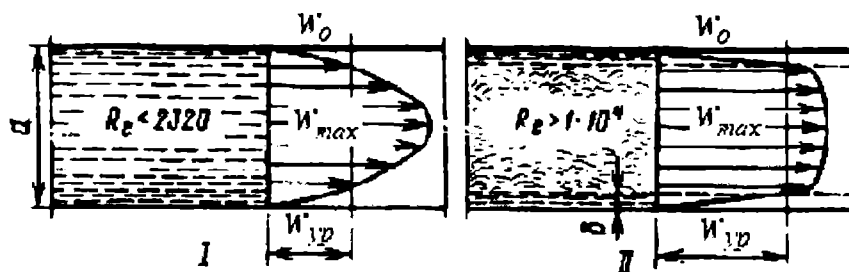
Рейнольдс критерийсининг сон қийматларига қараб, суюқлик ҳаракат режими аниқланади. Ундан ташқари, ушбу критерий қовушоқлик ва инерция кучларининг ўзаро нисбатини характерлайди. Бир хил труба диаметри ва суюқлик тезлигида, юқори зичлик ва кичик қовушоқликка эга суюқликлар турбулент режимга тезроқ чиқади. Ламинар режимдан турбулент режимга ўтиш Рейнольдс критерийсининг критик қийматларида содир бўлади.

Текис трубаларда суюқлик оқими ҳаракати учун $Re_{кр} = 2320$. Агар, $Re < 2320$ бўлса, турғун ламинар режим бўлади. Агар, $2320 < Re < 10000$ бўлса, суюқлик ҳаракати ўтиш режимига тўғри келади.

Суюқлик оқимининг нотурғун ҳаракатини ўтиш режими характерлайди. Бу режимда икки ҳаракат тури бир вақтнинг ўзида содир бўлиши ёки биридан иккинчисига осон ўтиши мумкин.

$Re > 10000$ бўлса, турғун турбулент режим бўлади.

Ламинар ва турбулент режимларда труба кесимида тезликларнинг тақсимланиши 2.13-расмда кўрсатилган.



2.13-расм. Ламинар (I) ва турбулент (II) ҳаракат режимларида труба кесимида тезликларнинг тақсимланиши.

Ньютон ички ишқаланиш қонунига бўйсунмайдиган суюқликлар ҳаракатини модификациялашган Рейнольдс критерийси характерлайди:

$$Re^* = \frac{d^n \cdot w^{2-n} \rho}{8^{n-1} k} \quad (2.28)$$

бу ерда n - оқим индекси; k - консистентлик кўрсаткичи.

Суюқ озиқ-овқат маҳсулотлари учун турғун ламинар режим $Re^* \ll 1$ бўлганда содир бўлади.

2.12. Ламинар ҳаракат қонунлари

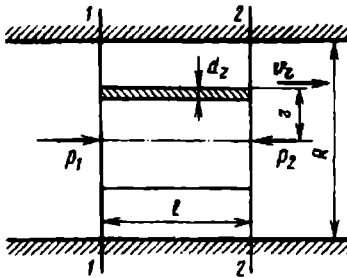
Оқимчали ҳаракат гипотезасидан келиб чиққан ҳолда, шуни таъкидлаш мумкинки, қатламлар орасидаги ишқаланиш кучлари таъсирида ҳар бир қатламдаги суюқлик заррачасининг тезлиги аввалгидан фарқ қилади.

Суюқлик қатламлари орасида уринма кучланишлар бўлгани учун ишқаланиш кучлари ҳосил бўлади. Ньютон қонунига биноан:

$$\tau = \pm \mu \frac{dw_r}{dr}$$

Труба деворида уринма кучланиш максимал ва оқим ўқида минимал қийматга эга. Демак, труба деворидан суюқлик оқимчаси қанчалик узоқда бўлса, унинг тезлиги шунча катта бўлади ва максимал қиймати оқим ўқида тўғри келади (2.13).

Суюқлик оқимида тезликлар тақсимланиш қонунини аниқлаш учун оқим ўқидан r масофада жойлашган, узунлиги l ва қалинлиги dr бўлган элементлар цилиндр шаклидаги суюқлик бўлакчасини ажратиб оламиз (2.14-расм.)



2.14-расм. Тезликлар тақсимланиш қонунига келтириб чиқаришга оид.

Суюқлик турғун ҳаракатида жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи $\Delta P = P_1 - P_2$ бутунлай ички ишқаланиш қаршилиги T ни енгишга сарфланади:

$$P_1 - P_2 = T$$

лекин

$$P_1 - P_2 = (p_1 - p_2) \pi r^2$$

бу ерда p_1 ва p_2 — 1-1 ва 2-2 кесимлардаги гидростатик босим.

Юқорида келтирилган тенгламага биноан ишқаланиш кучи қуйидагига тенг:

$$T = -\mu F \frac{dw_r}{dr}$$

бу ерда F - элементар цилиндр шаклидаги суюқликнинг ташқи юзаси $F = 2 \pi r l$.

Унда

$$(p_1 - p_2) \pi r^2 = -\mu 2 \pi r l \frac{dw_r}{dr}$$

Ўзгарувчиларни бўлиш ва тегишли қисқартиришлардан сўнг ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} r dr = -dw_r,$$

Бу тенгламани интегралласак

$$\int_r^R \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} r dr = - \int_{w_r}^0 dw_r,$$

Труба девори атрофида тезлик $w = 0$ эканлигини инобатга олсак, $r = 1$ бўлади.

Интеграллашдан сўнг қуйидаги тенгламани оламиз

$$\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \left(\frac{R^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right) = w_r,$$

бу ерда R - труба радиуси.

Охирги олинган тенгламадан тезликни аниқласа бўлади:

$$w_r = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (R^2 - r^2) \quad (2.29)$$

Труба ўқидаги ($r = 0$) максимал тезлик ушбу тенгламадан топилади:

$$w_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \cdot R^2 \quad (2.30)$$

(2.29) тенгламани (2.30) га бўлиб, қуйидаги кўринишга эришамиз:

$$w_r = w_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (2.31)$$

Ушбу тенглама Стокс қонуни бўлиб, трубада ламинар режимда ҳаракатланаётган суюқлик қатламларида тезликларнинг параболик тақсимланишини ифодалайди.

(2.29) тенглама ёрдамида Стокс ламинар режимидаги суюқлик сарфини аниқлаш мумкин. Бунинг учун оқим ўқидан r масофа жойлашган, dr кенгликдаги элементар ҳалқасимон кесимдан суюқликнинг оқиб ўтишини кўриб чиқамиз.

Ҳалқасимон кесим юзаси $df = 2\pi r dr$ га тенг.

Ушбу кўндаланг кесимдан оқим ўтаётган суюқликнинг тезлиги w_r бўлса, унинг сарфи қуйидагига тенг бўлади:

$$dV_{cek} = w_r df = 2\pi w_r r dr \quad (2.32)$$

Тезлик w_r ни (2.29) тенглама орқали ифодалаб (2.32) қўйсак,

$$dV_{cek} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (R^2 - r^2) 2\pi r dr \quad (2.33)$$

Интеграллашдан сўнг ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$V_{cek} = \frac{P_1 - P_2}{8\mu l} \pi R^4 \quad (2.34)$$

ёки

$$V_{cek} = \frac{\pi d^4}{128\mu l} \Delta p \quad (2.35)$$

бу ерда d -труба диаметри.

(2.35) тенглама цилиндрик трубадаги суюқлик сарф учун **Пуазейль тенгламаси** деб номланади.

Маълумки, суюқлик сарфини трубадаги суюқликнинг ўртача тезлиги орқали аниқлаш мумкин:

$$V_{cek} = \pi R^2 \cdot w_{yp} \quad (2.36)$$

(2.34) ва (2.36) тенгламаларни солиштириб, ушбу тенгламани оламиз:

$$w_{yp} = \frac{P_1 - P_2}{8\mu l} \cdot R^2 \quad (2.37)$$

Агар, (2.30) тенгламани ҳам ҳисобга олсак:

$$w_{yp} = \frac{w_{max}}{2} \quad (2.38)$$

2.13. Турбулент ҳаракат режими

Саноат қурилмаларида суюқликлар турбулент ҳаракати жуда кенг тарқалган. Турбулент режимда заррачаларнинг хаотик, тартибсиз ҳаракати туфайли оқимнинг асосий қисмида тезликлар анча текисланади (2.13-расм).

Тажрибалар шуни кўрсатдики, турбулент режимда суюқликнинг ўртача тезлиги w_{yp} ламинар режимдаги каби максимал тезликнинг ярмига тенг бўлмай, ундан анча катта бўлади, яъни Рейнольдс сонининг функциясидир $w/w_{max}=f(Re)$. Масалан, $Re=10^4$ бўлса $w_{yp} \approx 0,8 \cdot w_{max}$, $Re=10^8$ да $w_{yp} \approx 0,9 \cdot w_{max}$.

Лекин шуни алоҳида таъкидлаш керакки, турбулент режим ўта мураккаб характерли бўлгани учун, назарий усул билан суюқлик тезликларининг тақсимланиш кўламини аниқлаш қийин. Бунга сабаб суюқлик заррачаларининг тартибсиз ҳаракати ва уларнинг интенсив аралашишидир. Оқибатда, суюқлик айрим заррачалари тезлигининг йўналиши ва катталикларининг локал ўзгаришлари жуда тез содир бўлади. Бундай флуктуациялар хаотик характерга эга.

Оқимнинг исталган нуқтаси учун ҳақиқий оний тезлик w_x вақт τ га боғлиқлигини ҳам 2.13-расмда кўриш мумкин. Турбулент режимда тезлик қандайдир ўртача тезлик атрофида пульсация қилиб туради. Ушбу нуқта учун ўртача тезлик $\bar{w}_x$ қуйидаги ифодадан топилади:

$$\bar{w}_x = \frac{\int_0^{\tau} w_x d\tau}{\tau} \quad (2.39)$$

бу ерда w_x - x ўқи бўйлаб суюқлик заррачасининг оний тезлиги.

Турбулент режим ҳар доим ламинар режим билан баробар юз беради.

Назарий ва тажрибавий изланишлар шуни кўрсатдики, турбулент режимдаги ҳаракатни оқим ядроси ва гидродинамик чегаравий қатламдан таркиб топган деб ҳисоблаш мумкин. Бу қатлам ичида юпқа, миллиметрнинг бир неча улушига тенг қалинликдаги ламинар чегаравий қатлам бор. Гидродинамика чегаравий қатлам қалинлиги δ Рейнольдс сонига боғлиқдир ва унинг тахминий қийматини Левич тенгламасидан аниқлаш мумкин:

$$\delta = \frac{30d}{\text{Re}\sqrt{\lambda}} \quad (2.40)$$

бу ерда d -труба диаметри.

Турбулент режимда труба деворининг ғадир-будурлиги суюқлик ҳаракати қаршилигига салмоқли таъсир этади. Трубаларнинг ғадир-будурлиги абсолют геометрик ва нисбий ғадир-будурлиги билан характерланади. Труба деворларидаги ғадир-будурликлар ўртача баландликларининг труба узунлиги бўйича ўлчаниши **абсолют ғадир-будурлик** деб аталади.

Труба деворларидаги ғадир-будурликлар баландлиги Δ нинг эквивалент диаметри d га нисбати (Δ/d) **нисбий ғадир-будурлик** дейилади ва у ушбу формуладан аниқланади:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d}$$

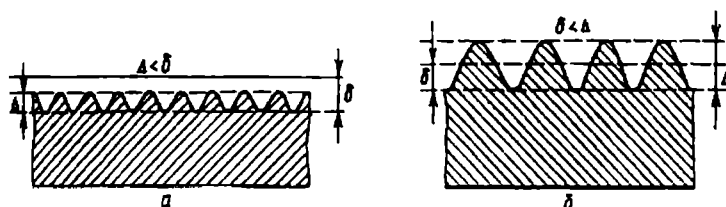
Труба девори ғадир-будурликларининг ўртача баландлиги труба материали, унинг ясалиш усули ва ишлатилиш давомийлигига боғлиқ:

Труба	Δ , мм
Янги шиша ва пўлат трубалар	0,06...0,1
Ишлатилган пўлат трубалар	0,10...0,2
Чўян ва керамик трубалар	0,35...1,0
Коррозияга учраган пўлат ва чўян трубалар	0,50...2,0

Рейнольдс критерийси қийматига қараб чегаравий қатлам қалинлиги δ ўзгаради. Труба ғадир-будурликлари чегаравий қатламдан чиқиб қолиш ҳолати жуда кўп напор йўқотилишига олиб келади.

δ ва Δ нисбатларининг қийматларига қараб трубалар гидравлик силлиқ ва ғадир-будур бўлади.

Агар $\Delta < \delta$ бўлса, трубалар **гидравлик силлиқ** деб аталади (2.15-расм). Бунда, суюқлик ламинар юпқа қатлам бўйлаб сирпанади, яъни суюқликнинг суюқликка ишқаланиши юз беради.



2.15-расм. Гидравлик силлиқ (а) ва ғадир-будур (б) трубалар.

Агар $\Delta > \delta$ бўлса, трубалар **гидравлик ғадир-будур** деб номланади. Бунда напорнинг йўқотилиши труба деворининг ғадир-будурлиги билан белгиланади, чунки суюқлик ғадир-будур труба деворига ишқаланиб, ҳаракат қилади.

Ламинар режимда напорнинг йўқотилиши суюқлик тезлигининг биринчи даражасига, турғун турбулент режимда эса-тезлик квадрaтига пропорционалдир.

Ламинар чегаравий юпқа қатламли турбулент ва ўтиш режимларида, напорнинг йўқотилиши тезликнинг квадрaтидан кичикроқ даражага пропорционал бўлади. Ҳар бир аниқ ҳолат учун ушбу кўрсаткич тажрибавий усул билан топилади.

2.14. Қовушоқ суюқлик ҳаракатининг критериял тенгламалари

Трубада қовушоқ суюқлик ҳаракатини ифодаловчи критериял тенгламани келтириб чиқариш учун Навье-Стокс дифференциал тенгламасидан фойдаланиш мумкин.

Агар, сиқилш ва чўзилш кучлари ҳисобга олинмаса, абсцисса ўқи бўйлаб ҳаракат қилаётган суюқлик учун дифференциал тенглама ушбу кўринишга эга бўлади.

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \rho g_x = \rho w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial w_x}{\partial \tau}$$

бу ерда p - босим; μ - динамик қовушоқлик; w - тезлик; ρ - зичлик; τ - вақт.

Ушбу тенгламадаги биринчи қўшилувчи абсцисса ўқи йўналишида оқим босимининг ўзгаришини, иккинчиси эса — ишқаланиш кучини, учинчиси оғирлик кучини; тўртинчи ва бешинчилари эса - инерция кучларини характерлайди. Тенглама қўшилувчиларининг физик маъносини инобатга олиб, қуйидагича ёзиш мумкин:

$$-P + T + G = I_1 + I_2$$

бу ерда P - босим кучи; T - ишқаланиш кучи; G - оғирлик кучи; I_1 ва I_2 — инерция кучлари.

Труба қувурларини ҳисоблашда қуйидаги кучларнинг нисбатлари алоҳида аҳамиятга эга: босим ва инерция P/I_1 , инерция ва ишқаланиш I_2/T , оғирлик ҳамда инерция G/I_1 , ва инерция кучлари нисбати I_1/I_2 .

Инерция ва ишқаланиш кучларининг нисбатидан ўлчамсиз $w_x \rho / \mu$ комплексини олиш мумкин, яъни Рейнольдс критерийсини $Re = w d \rho / \mu$.

Босим ва инерция кучлари нисбатидан эса, Эйлер критерийсини, яъни $Eu = \Delta p / \rho w^2$ олиш мумкин.

Оғирлик кучи ва инерция кучлари нисбатидан эса-Фруд критерийсини, яъни $Fr = g d / w^2$

Инерция кучларининг нисбатидан гомохронлик критерийсини, яъни $Ho = w \tau / d$ ни олиш мумкин.

Ўхшашлик назариясининг иккинчи теоремасига биноан, Навье-Стокс тенгламаси ечимини юқорида олинган критерийлар орасидаги функционал боғлиқликни ушбу кўринишда ёзиш мумкин

$$\varphi = (Ho, Fr, Eu, Re) = 0 \quad (2.41)$$

Баъзи ҳолларда (2.41) геометрик ўхшашлик симплекс билан тўлдирилиши мумкин. Трубалар орқали сууюқлик ҳаракат қилганда, бундай симплекс сифатида труба узунлиги l нинг унинг диаметр d ёки эквивалент диаметр d_3 га нисбати бўлади.

Унда

$$\varphi = \left(Ho, Fr, Eu, Re, \frac{l}{d_3} \right) = O \quad (2.41a)$$

ёки

$$Eu = f \left(Ho, Fr, Re, \frac{l}{d_3} \right) \quad (2.41b)$$

(2.41), (2.41a) ва (2.41b) боғлиқликлар гидродинамиканинг критериял ёки умумлаштирилган тенгламалари деб номланади. (2.41b) кўпчилик ҳолларда қуйидагича функция кўринишига келтирилади:

$$Eu = A \cdot Re^m Fr^n Ho^p \left(\frac{l}{d_3} \right)^q \quad (2.42)$$

Моделларда олинган тажриба маълумотларини қайта ишлаш натижасида коэффициент A ва даража кўрсаткичлари m , n , p , q лар аниқланади.

Турғун жараёнлар учун (2.41b) дан гомохронлик критерийси Ho ни чиқариб ташлаш мумкин:

$$Eu = f \left(Fr, Re, \frac{l}{d_3} \right) \quad (2.43)$$

ёки

$$Eu = f_1(Fr, Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots)$$

бу ерда $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots$ — геометрик ўхшашлик симплекслари.

Турғун турбулент режимда сууюқлик ҳаракатига оғирлик кучлари таъсир кўрсатмайди. Унда (2.43) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$Eu = f_2(Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots) \quad (2.44)$$

2.15. Труба қувурларидаги гидравлик қаршилик

Амалий гидродинамиканинг асосий масалаларидан бири бўлиб ҳақиқий сууюқлик ҳаракатидаги гидравлик қаршиликни аниқлаш ҳисобланади.

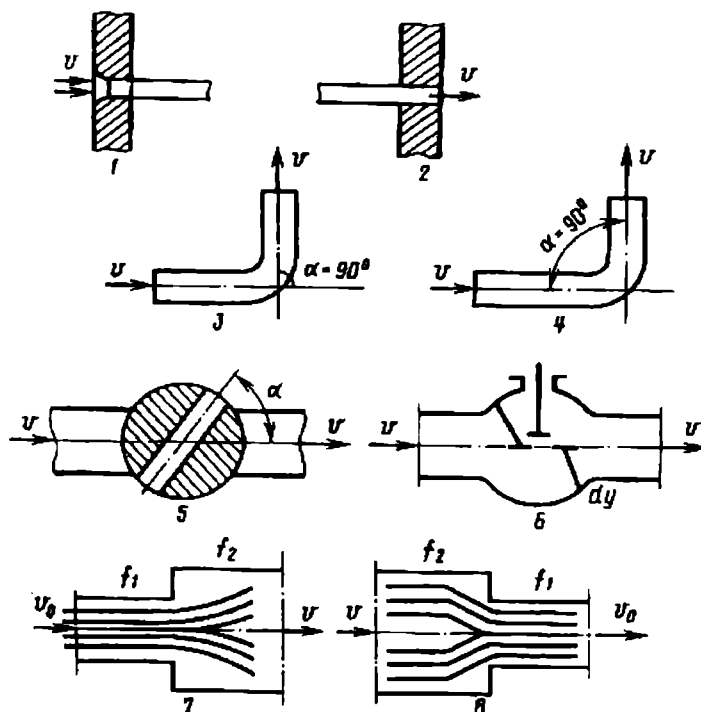
Чунки, йўқотилган напор $h_{\text{ўқ}}$ (ёки $\Delta p_{\text{ўқ}}$)ни билмасдан туриб насос, вентилятор, газодувка ва компрессорлар ёрдамида сууюқликларни узатиш учун зарур бўлган энергия сарфини аниқ ҳисоблаб бўлмайди. Ундан ташқари $h_{\text{ўқ}}$ (ёки $\Delta p_{\text{ўқ}}$) билмасдан туриб, ҳақиқий сууюқликлар учун Бернулли тенгламасини қўллаб бўлмайди.

Труба қувурларида напор (ёки босим)нинг йўқотилишига ишқаланиш қаршилиги ва маҳаллий қаршиликлар сабабчи бўлади.

Ишқаланиш қаршилиги (ёки узунлик бўйича қаршилик) — трубадан ҳақиқий сууюқлик ҳаракат қилганда, ички ишқаланиш қаршилиги, унинг бутун узунлиги бўйича мавжуд (2.15-расм). Ички ишқаланиш кучининг катталиги

суюқлик оқимининг режими (ламинар, турбулент, турбулентлик даражаси)га боғлиқ.

Маҳаллий қаршиликлар — суюқлик оқими тезлиги ва ҳаракат йўналиши қийматининг исталган ўзгаришидир. Уларга қуйидагилар: кескин ва аста-секин торайган ва кенгайган қисмлар, тирсаклар, жўмрак, ёғувчи ва ростловчи ускуна (вентил, задвижка, тикинли кран) ва бошқалар киради (2.16-расм).



2.16-расм. Маҳаллий қаршиликлар.

Айрим маҳаллий қаршиликлар учун ξ нинг ўртача қийматлари 2-1 жадвалда келтирилган.

Трубадан ҳақиқий суюқлик ҳаракат қилганда, напорнинг йўқотилиши қуйидагига тенг бўлади:

$$h_{\text{йук}} = h_{\text{ук}} + h_{\text{мк}} \quad (2.45)$$

бу ерда $h_{\text{ук}}$ ва $h_{\text{мк}}$ ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун йўқотилган напор.

Тўғри трубада ламинар режимда ҳаракат қилаётган суюқлик учун ишқаланиш қаршилигини енгишда йўқотилиган напор Пуазейль тенгламасидан (2.35) топилиши мумкин.

Бернулли тенгламасига биноан горизонтал ($z_1=z_2$) ва ўзгармас кесимли ($w_1 = w_2$) труба қувурларида ишқаланиш қаршилигини енгишга йўқотилган напор:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} = h_{\text{ук}}$$

Маҳаллий қаршиликлар коэффициентлари

2.16-расмдаги маҳаллий қаршилик тартиби	Маҳаллий қаршилик тури	Маҳаллий қаршилик коэффициенти, $\xi_{\text{мқ}}$
1.	Трубага кириш	0,2...0,5
2.	Трубадан чиқиш	1,0
3.	90° га бурилиш	0,15
4.	$\alpha=90^\circ$ ли тирсак	1,1... 1,3
5.	Тиқинли кран: Бутунлай очик $\alpha=20... 50^\circ$	0,05 2 95
6.	Стандарт вентиль $d_w=20\text{мм}$ $d_w=40\text{мм}$ ва ундан ортиқ	8 4...6
7.	Тўсатдан кенгайиш ($Re>3500$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,50 0,35 0,30 0,25
8.	Тўсатдан торайиш ($Re>10^4$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,45 0,35 0,30 0,25

Агар, $\Delta p = \rho gh$ ни (2.35) тенгламага қўйсак ва ҳажмий сарф V ни тезлик w кўндаланг кесим юзасига кўпайтмаси билан алмаштирсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$w \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^4 \rho gh_{\text{ук}}}{128 \mu l}$$

бу ерда l ва d — труба узунлиги ва диаметри; μ ва ρ — суюқлик қовушқлиги ва зичлиги.

Қисқартиришдан сўнг йўқотилган напорни аниқлаш формуласи ушбу кўринишда бўлади:

$$h_{\text{ук}} = \frac{32 w \mu l}{\rho g d^2}$$

Тенглама ўнг томонининг сурати ва маҳражини $2w$ кўпайтирсак:

$$h_{\text{ук}} = \frac{64 \mu}{w d \rho} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$$

Шундай қилиб, думалоқ кўндаланг кесимли трубада суюқлик ламинар режимда ҳаракат қилганда йўқотилган напор:

$$h_{\text{ук}} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (2.46)$$

яъни, ишқаланиш қаршилигини енгилда йўқотилган напор тезлик напори $h_{\text{т}} = w^2/2g$ орқали ифодаланади.

Ишқаланиш қаршилигини енгилда йўқотилган напор тезлик напоридан қанчалик фарқ қилиш катталиги *ишқаланиш қаршилиги коэффициенти* деб аталади ва $\xi_{ик}$ ҳарф билан белгиланади.

$$\xi_{ик} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d}$$

бу ерда $\frac{64}{Re}$ - гидравлик ишқаланиш ёки ишқаланиш коэффициенти ва λ деб белгиланади.

Ламинар ($Re < 2320$) режимда гидравлик ишқаланиш коэффициенти фақат Рейнольдс критерийсининг сон қийматига боғлиқ. Буларни ҳисобга олсак, (2.46) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзса бўлади:

$$h_{ик} = \xi_{ик} \frac{w^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (2.47)$$

Агар, $\Delta p_{ик} = \rho g h_{ик}$ лигини ҳисобга олсак, ишқаланиш қаршилигини енгилда йўқотилган босим $\Delta p_{ик}$ қуйидаги тенгламадан ҳисобланиши мумкин:

$$\Delta p_{ик} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (2.48)$$

бу ерда ρ - суюқлик зичлиги.

Агар, трубанинг кўндаланг кесими думалоқ бўлмаса, Рейнольдс критерийсида d ўрнига эквивалент диаметр d_e қўйилади. Унда

$$\lambda = \frac{B}{Re}$$

бу ерда B — кўндаланг кесим шаклига боғлиқ коэффициент, квадрат кесим учун $B=57$, думалоқ кесим учун $B=96$ ва ҳоказо.

Гидравлик силлиқ трубалар учун ($2320 < Re < 10^6$) гидравлик қаршилиқ коэффициенти Блазиуснинг эмпирик формуласидан:

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.49)$$

ёки Конаков формуласидан аниқланиши мумкин:

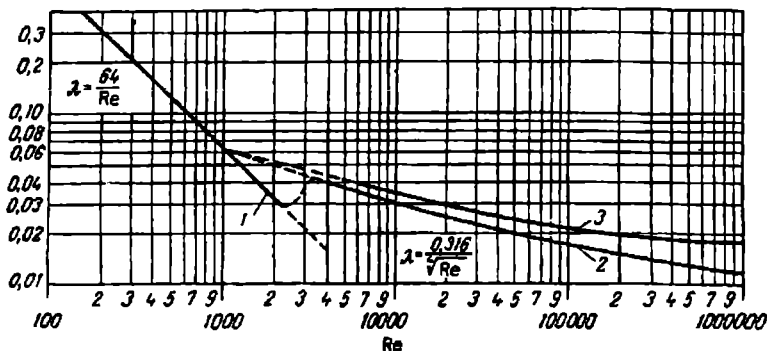
$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2} \quad (2.50)$$

Ғадир-будур трубалар учун гидравлик қаршилиқ коэффициенти ушбу функция кўринишида ифодаланади:

$$\lambda = f(Re, \Delta / d)$$

бу ерда $\varepsilon = \Delta / d$ — нисбий ғадир-будурлик.

Гидравлик қаршилиқ коэффициенти λ ни аниқлаш учун қуйида келтирилган график тавсия этилади (2.17-расм). Ундан кўриниб турибдики, текис трубалар λ сидан ғадир-будур трубаларники анча юқори.



2.17-рasm. Гидравлик қаршилик коэффициенти λ нинг Рейнольдс критерийсига боғлиқлиги.

Графикдан кўриниб турибдики, Re сони ортиши билан $\lambda = f(Re)$ боғлиқлик аввал аралаш ишқаланиш соҳасига, бу ерда $\lambda = f(Re, \Delta/d)$, сўнг эса автомодел соҳаси $\lambda = f(\Delta/d)$ га ўтади. Турбулент ҳаракат режимларининг ҳамма соҳалари учун гидравлик қаршилик коэффициентини ҳисоблашнинг умумлаштирилган тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = -2 \lg \left[\frac{\Delta/d}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] = -2 \lg \left[\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \quad (2.51)$$

Агар, (2.51) формуладаги биринчи қўшилувчини инобатга олмасак, ушбу формулани олампз:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = -2 \lg \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} = 1,8 \lg Re - 1,5 \quad (2.52)$$

Гидравлик қаршилик Re га боғлиқ бўлмаган автомодел соҳа учун иккинчи қўшилувчини инобатга олмаса ҳам бўлади. Унда:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = 2 \lg \frac{3,7}{\Delta/d} = 2 \lg \frac{3,7}{e} \quad (2.53)$$

Ньютон қонунига бўйсинайдиган суюқликлар учун $Re^* = 3000 \dots 100000$ да гидравлик қаршилик коэффициентини топишда қуйидаги формуладан фойдаланилади:

$$\lambda = a / (Re^*)^b \quad (2.54)$$

бу ерда Re^* - (2.40) формуладан топилади; a ва b коэффициентлар оқиш индекси n функциясидир ва $n=1$ да $a=0,316$ ва $b=0,25$ га тенг.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, маҳаллий қаршиликларда напорнинг йўқотилиши ишқаланиш қаршиликлардаги каби тезлик напори орқали ифодаланилади.

Маҳаллий қаршиликлар туфайли йўқотилган напор $h_{мх}$ нинг тезлик напори $h_r = w^2/2g$ нисбатига маҳаллий қаршилик коэффициенти деб аталади ва у $\xi_{мх}$ ҳарфи билан белгиланади.

Унда, турли маҳаллий қаршилиқлар учун

$$h_{mk1} = \xi_{mk1} \frac{w^2}{2g}$$

$$h_{mk2} = \xi_{mk2} \frac{w^2}{2g}$$

$$h_{mkп} = \xi_{mkп} \frac{w^2}{2g}$$

Ҳамма маҳаллий қаршилиқлар учун:

$$h_{mk} = \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} \quad (2.55)$$

(2.47) ва (2.55) тенгламаларни инобатга олсак, (2.45) тенглама, яъни умумий напорнинг йўқотилиши, қуйидаги кўринишда ёзилиши мумкин:

$$h_{yuk} = \xi_{uk} \frac{w^2}{2g} + \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} = \sum \xi \frac{w^2}{2g} \quad (2.56)$$

бу ерда $\sum \xi$ - қаршитик коэффициентларининг йиғиндиси.

Шундай қилиб, напорнинг йўқотилиши ушбу формуладан топилади:

$$h_{yuk} = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{mk} \right) \frac{w^2}{2g} \quad (2.57)$$

Агар, $\Delta p = \rho g h_{yuk}$ ҳисобга олсак, умумий босимнинг йўқотилиши эса, қуйидаги тенгламадан аниқлаш лозим:

$$\Delta p_{yuk} = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{mk} \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (2.58)$$

2.16. Труба қувурлари диаметрини ҳисоблаш

Труба қувурларининг нархи кимё, озиқ-овқат саноати корхона қурилмалари умумий нархининг салмоқли қисмини ташкил этади. Ундан ташқари, труба қувурларини эксплуатация қилиш катта маблағларни сарф қилишни тақозо этади. Шунинг учун, труба диаметрини тўғри танлаш катта техник-иқтисодий аҳамиятга эга.

Маълум иш унумдорликка эга труба қувурларининг диаметрини (2.10) формула ёрдамида ҳисоблаб топиш мумкин:

$$V = wF$$

бундан

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} \quad (2.59)$$

бу ерда d - труба ички диаметри, м; w - суюқликнинг ўртача тезлиги, м/с; V - ҳажмий сарф, м³/с.

Суюқликларнинг тавсия этиладиган тезликлари

т/р	Суюқлик номи	Тезлиги, w, м/с
1.	Қовушоқлиги паст томчили суюқлик	<3 м/с
2.	Қовушоқ суюқлик	<1 м/с
3.	Томчили суюқлик (ўзидан - ўзи оқиши)	0,2...1 м/с
4.	Томчили суюқлик (ҳайдаш трубасида)	1...3 м/с
5.	Газ (вентилятор ҳайдаш трубасида)	8...15 м/с
6.	Газ (босим остида)	15...25 м/с
7.	Тўйинган сув буғи	20...30 м/с
8.	Ўта қиздирилган сув буғи	30...50 м/с

Шундай қилиб, труба қувурининг диаметри, унда ҳаракат қилаётган суюқлик тезлиги орқали аниқланади.

Агар, суюқлик тезлиги қанча катта бўлса, (2.59) тенгламага биноан, зарур диаметр шунча кичик ва уни тайёрлаш учун шунга кам материал сарфланади. Демак, унинг нархи паст, монтажи ва таъмирланишига бўладиган ҳаражатлар кам бўлади. Шу билан бирга, (2.56) тенгламага биноан, суюқлик тезлиги ортиши билан уни узатиш учун зарур босимлар фарқи ошади. Бу эса, ўз навбатида, энергия сарфини ўсишига олиб келади.

Шунинг учун, труба қувурининг оптимал диаметрини топиш учун техник-иқтисодий услубдан фойдаланиш зарур.

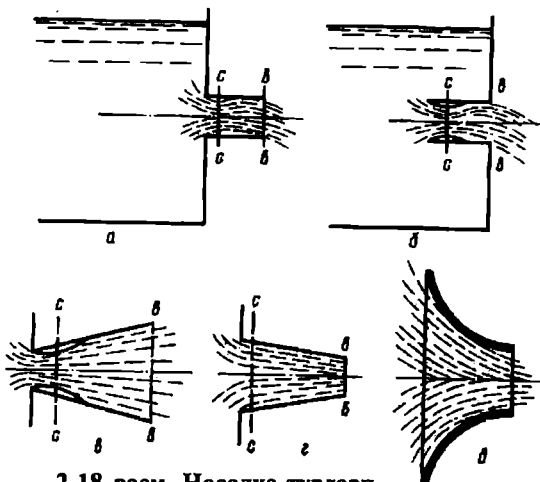
Оптимал труба қувурида эксплуатацион сарфлар минимал бўлади.

Техник-иқтисодий ҳисоблар асосида тавсия этиладиган труба қувурларидаги суюқликларнинг тезликлари 2-2 жадвалда келтирилган.

2.17. Насадка ва тешиклар орқали суюқлик оқиб чиқиши

Технологик қурилма, цистерна ва бошқа идишлар бўшаши пайтида тешик ва насадкалар орқали суюқликлар оқиб тушиш жараёни юз беради.

Насадка деб юпқа девордаги тешикга маҳкамланган турли шаклдаги калта патрубкларга айтилади. Одатда насадка узунлиги тахминан 3...4 диаметрга тенг бўлади. Конструкциясига қараб насадкалар ички (а), ташқи (б), кенгаювчи (в) ва тораювчи конуссимон (г), ҳамда коноидал (д) шакли бўлади (2.18-расм).



2.18-расм. Насадка турлари.

Суюқлик оқиб чиқиш пайтида насадка ичида вакуум ҳосил бўлади ва натижада тешикнинг ўзидан суюқлик ўтказиш қобилияти ортади. Кенгаювчи конуссимон насадкаларда цилиндрсимон насадкаларникидан кўпроқ миқдорда вакуум ҳосил бўлади.

Агар, насадкалардан чиқишда юқори тезликка эришиш зарур бўлса, тораювчи конуссимон насадкаларда қўлланилади. Коноидал насад-

калар оқимча шаклида тайёрланади. Шунинг учун бундай насадкаларда оқимча сиқилмайди ва энергия йўқотилиши минимал бўлади.

Идишдаги суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, идиш тубидаги думалоқ тешикдан суюқлик оқиб чиқиши.

Юпқа девордаги ($\delta \leq 2d$) тешик орқали суюқлик оқиб чиқмоқда, яъни тешик чети ўткир қиррали ва унинг қалинлиги оқимча шаклига таъсир этмайди (2.19-расм).

Бу шароитда оқиб чиқишда фақат энергиянинг маҳаллий йўқотилиши содир бўлмоқда. Идиш тубидан маълум бир баландликда оқимча сиқилади ва ушбу кўндаланг кесимда параллел – оқимчали оқиб тушиш рўй бермоқда деб тасаввур қиламиз.

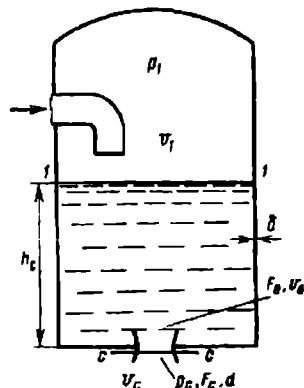
1-1 ва с-с кўндаланг кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз. Расмдан кўриниб турибдики, $w_1 \ll w_c$:

$$h_c + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha}{2g} \frac{w_c^2}{\rho g} + h_{\text{иу}} =$$

бу ерда p_c , w_c – сиқилган кесимдаги суюқлик босими ва тезлиги; α – оқимчанинг нотекислик коэффициенти:

$$h_{\text{иу}} = \xi \frac{w_c^2}{2g}$$

бу ерда ξ – маҳаллий қаршилиқ коэффициенти, $\xi=0,06$.



2.19-расм. Идишда суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, унинг тубидаги думалоқ тешикдан оқиб чиқиши.

Бернулли тенгламасидан қуйидаги формулани оламиз:

$$w_c = \sqrt{\frac{2g}{2 + \xi} \left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} \right)} \quad \text{ёки} \quad w_c = \varphi \sqrt{2gH} \quad (2.60)$$

бу ерда

$$\varphi = \sqrt{1/(\alpha + \xi)}.$$

Ҳажмий сарф эса

$$V = \varphi F_c \sqrt{2gH}$$

бу ерда φ – тезлик коэффициенти, думалоқ тешик учун $\varphi=0,97$; F_c – оқимча кўндаланг кесими юзаси:

$$F_c = \varepsilon_0 F_0$$

бу ерда ε_0 – оқимчанинг сиқилиш коэффициенти, $\varepsilon_0=0,64$; F_0 – тешик кўндаланг кесими юзаси.

Унда:

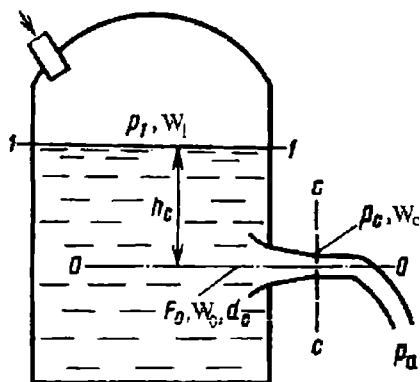
$$V = \varphi \varepsilon F_0 \sqrt{2gH} = \mu F_0 \sqrt{2gH} \quad (2.61)$$

бу ерда $\mu = \varepsilon \varphi$ – сарф коэффициенти.

Сарф коэффициенти μ тешик шакли, девор қалинлиги ва суюқлик қовушоқлигига боғлиқ. Сув учун $\mu = 0,62 \dots 0,63$ бўлиб, бошқа суюқликлар учун $\mu = f(Re)$.

Агар, суюқлик атмосфера босимли идишга оқиб тушса $p_I = p_c = p_a$;

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gh_c}$$



2.20-расм. Идишдаги суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда юпқа ён девордаги думалоқ тешикдан суюқлик оқиб чиқиши.

Идишдаги суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, юпқа ён девордаги думалоқ тешикдан суюқлик оқиб чиқиши. d_0 диаметрли тешик оғирлик марказидан 0-0 таққослаш текислигини ўтказамиз. Идиш сатҳ юзаси 1-1 ва сиқилган кўндаланг kesim c-c лар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз (2.20-расм).

$$h_c + \frac{p_I}{\rho g} = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_c w_c^2}{2g} + \xi \frac{w_c^2}{2g}$$

бунда $p_c = p_a$ эканлигини инобатга оламиз.

Тенгламани w_c га нисбатан

ечсак,

$$w_c = \sqrt{\frac{2g}{\alpha + \beta} \left(h_c + \frac{p_I - p_a}{\rho g} \right)} = \varphi \sqrt{2gH} \quad (2.62)$$

Суюқлик сарфи эса, $p_0 = p_c = p_a$ қуйидагича топилади:

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gh}$$

бу ерда $\mu = 0,6 \dots 0,62$.

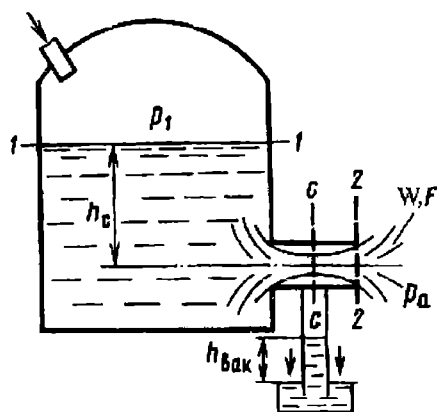
Идишдаги суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, цилиндрик насадкадан суюқлик оқиб чиқиши.

Бернулли тенгламасига биноан сиқилган кўндаланг kesimда вакуум ҳосил бўлади (2.21-расм).

Цилиндрик насадкадан суюқлик оқиб чиқиш тезлиги:

$$w = \sqrt{\frac{2gH}{\alpha + \xi_r / \varepsilon^2 + (1/\varepsilon - 1)^2 + \lambda l / d}} \quad (2.63)$$

бу ерда ξ_r — торайган кўндаланг kesimдаги маҳаллий қаршилик; λ -гидравлик қаршилик коэффициенти; насадка учун $\varepsilon_r = 1$ ва $\mu = \varphi$.



2.21-расм. Идишдаги суюқлик ўзгармас бўлганда цилиндрик насадкадан суюқлик оқиб чиқиши.

Насадка орқали оқиб ўтаётган суюқлик сарфи;

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gH}$$

Ҳосил бўлаётган вакуум эса:

$$h_{\text{вак}} = 2\varphi^2 H (1 - \varepsilon) / \varepsilon \quad (2.64)$$

Ташқи цилиндрик насадка учун $\varphi=0,82$, $\varepsilon=0,64$. Ушбу φ ва ε қийматларида қуйидагича қўринишга эга бўламиз:

$$h_{\text{вак}} \approx 0,75H \text{ ва } H \leq 1,35h_{\text{вак}}$$

Тажрибалар шуни кўрсатадики, агар вакуум 8 м.с.у.в.уст.дан ортиқ бўлса, ҳаво чиқиш кўндаланг кесимидан сўрилиб бошланади. Бу эса вакуумнинг «узилишига» олиб келади. Бундай ҳолатларда насадка оддий тешикка ўхшаб ишлайди. Шунинг учун, напорнинг қиймати қуйидаги формуладан аниқланадиган энг катта қийматдан ошмаслиги керак:

$$H_{\text{э.к}} = h_{\text{вак.э.к}} \frac{1}{2\varphi^2} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (2.65)$$

бу ерда $h_{\text{вак.э.к}} = 8 \text{ м.с.у.в.уст.}$

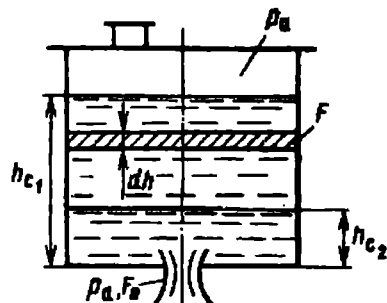
$$H_{\text{э.к}} = 8 \frac{1}{2 \cdot 0,82^2} \cdot \frac{0,64}{1 - 0,64} \approx 10 \text{ м.с.у.в.уст.}$$

Ўзгарувчан напорда суюқликнинг оқиб чиқиши.

Ўзгарувчан напорга эга бўлган суюқликнинг юпқа деворли идиш тешигидан оқиб, бутунлай чиқиб кетишини кўрамиз (2.22-расм).

Суюқликнинг оқиб чиқиши турғулмас режимда рўй бермоқда. Идиш тубида жойлашган тешикнинг кўндаланг кесим юзаси F_0 .

Элементар $d\tau$ вақт бирлигида суюқликнинг баландлиги h_{c1} дан h_{c2} га ўзгарганда идиш тубидаги тешикдан оқиб чиқаётган суюқлик ҳажми қуйидаги формуладан топилади:



$$dV = \mu F_0 \sqrt{2gh} \cdot d\tau$$

2.22-расм. Ўзгарувчан напорда суюқликнинг оқиб чиқиши.

бу ерда h - $d\tau$ вақтда тешик оғирлик маркази тепасидаги напор.

Вақт бирлигида идишдаги суюқлик баландлиги $dh = dV/F$ га ўзгаради. Бу ерда F — идиш кўндаланг кесим юзаси.

Оқимнинг узлуксизлик тенгламасига биноан:

$$-dhF = \mu F_0 \sqrt{2gh} d\tau$$

бундан

$$d\tau = -\frac{Fdh}{\mu F_0 \sqrt{2gh}} \quad (2.66)$$

Суюқликнинг оқиб тушиш вақтини топиш учун (2.66) ифодани h_{c1} ва h_{c2} ораликда интеграллаймиз

$$\tau = -\int_{h_{c1}}^{h_{c2}} \frac{Fdz}{\mu F_0 \sqrt{2gz}} = -\frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \int_{h_{c1}}^{h_{c2}} \frac{dh}{\sqrt{h}} = -\frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \left| 2\sqrt{h} \right|_{h_{c1}}$$

Демак

$$\tau = +\frac{2F(\sqrt{h_{c1}} - \sqrt{h_{c2}})}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \quad (2.67)$$

Ушбу тенглама ёрдамида суюқлик баландлиги маълум миқдорга камайганда, яъни h_{c1} дан h_{c2} га пасайганда, суюқликнинг оқиб тушиш вақти топилади.

Агар, $h_{c2}=0$ бўлса, идишдаги суюқлик бутунлай, тўлиқ оқиб чиққан бўлади:

$$\tau = \frac{2F\sqrt{h_{c1}}}{\mu F_0 \sqrt{2g}}$$

ёки

$$\tau = \frac{2Fh_{c1}}{\mu F_0 \sqrt{2gh_{c1}}} = \frac{2V_p}{V} \quad (2.68)$$

бу ерда V_p — резервуар ҳажми, V — h_{c1} бўлгандаги суюқлик сарфи.

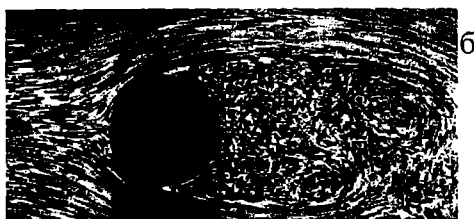
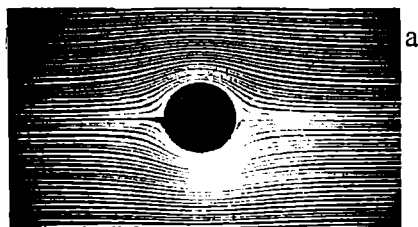
Демак, напор ўзгарувчан бўлганда резервуарнинг бутунлай, тўлиқ бўшаш вақти ўзгармас напорлига қараганда 2 марта кўп бўлади.

2.18. Қаттиқ жисмларнинг суюқликда ҳаракати

Суюқликда жисм ҳаракатига қаршилик. Кимё ва озиқ-овқат технологияларида бир қатор жараёнлар қаттиқ жисмларнинг суюқлик ёки газларда ҳаракати билан боғлиқ. Бундай жараёнларга қаттиқ заррачаларни суспензия ва чанглардан оғирлик, инерцион кучлар таъсирида чўктириш ва суюқлик муҳитларида механик аралаштиришлар киради. Ушбу жараёнлар қонуниятларини ўрганиш гидродинамиканинг ташқи масаласидир.

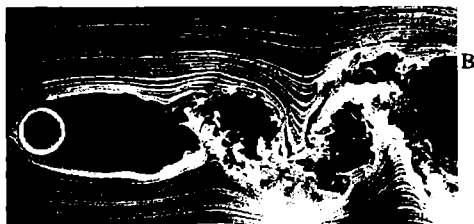
Жисмлар суюқликда ҳаракат қилган пайтида қаршиликлар ҳосил бўлади. Бу қаршиликларни енгиш ва жисмнинг текис ҳаракатини таъминлаш учун маълум миқдорда энергия сарфланиши керак. Ҳосил бўлаётган қаршиликлар асосан ҳаракат режими ва жисм шаклига боғлиқдир.

Ламинар режимда, яъни суюқлик қовушоқлиги юқори ёки унинг тезлиги паст ва жисм ўлчамлари кичик бўлганда, жисм атрофида чегаравий қатлам ҳосил бўлади ва суюқлик текис, равон оқиб ўтади (2.23а-расм).



2.23. Қаттиқ жисмнің суюқлықтағы қаракаты.

а — ламинар оқим;
б, в — турбулент оқим.



Жисм қаракат тезлиги ортиши билан (турбулент режимда) инерция кучларининг ахамияти ва роли ортиб боради. Бу кучлар таъсирида жисмни ўраб турган чегаравий қатлам узила бошлайди ва натижада қаракат қилаётган жисм орқа томонида босим пасаяди ва ушбу жойда тартибсиз, уюрмали оқимчалар ҳосил бўлади (2.23б-расм).

Жисмнинг суюқлықда қаракати пайтида унинг олд ва орқа томонларидаги босимлар фарқи ўсиб боради ва ламинар режимлагидан анча катта бўлади. Рейнольдс критерийсининг маълум бир қийматидан бошлаб олд томонидаги қаршилиқни ҳисобга олмаслик ҳам мумкин. Трубаларда суюқлик қаракати пайтидек, бундай ҳолларда автомодел режим бошланади.

2.24-расмда суюқлықда чўкаётган шарсимон заррачага таъсир этувчи кучлар кўрсатилган.

Диаметри d ва зичлиги ρ_3 бўлган заррачанинг оғирлик кучи G ва у пастга қараб йўналган бўлади:

$$G = \left(\frac{\pi d^3}{6} \right) \rho_3 g \quad (2.69)$$

Архимед қонунига биноан кўтарувчи куч A ушбу тенгламадан топилади:

$$A = \left(\frac{\pi d^3}{6} \right) \rho g \quad (2.70)$$

бу ерда ρ — суюқлик зичлиги, кг/м³.

Заррача чўкишига сабабчи куч эса, қуйидагига тенг:

$$G - A = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_3 - \rho) g \quad (2.71)$$

Чўкиш жараёнида қаттиқ жисмга суюқлик қаршилиқ кўрсатади. Ушбу қаршилиқ R қиймати муҳит қовушоқлиги μ , зичлиги ρ , заррача кўндаланг кесим юзаси F ва шаклига боғлиқ.

Муҳит қаршилик кучи R Ньютон қонунига биноан ушбу тенгламадан топилади:

$$R = \xi F \frac{\rho w_{\text{чжк}}^2}{2} \quad (2.72)$$

бу ерда ξ - муҳит қаршилик коэффиценти; $w_{\text{чжк}}$ - жисм ҳаракат тезлиги, м/с.

Чўкиш жараёнини ўрганиш натижасида қўпчилик олимлар томонидан қуйидаги режими аниқланган ва уларни ифодаловчи формулалар тавсия этилган:

2-3 жадвал

Суюқлик ҳаракат режими	Рейнольдс сони	Архимед сони	Формула	Муҳитнинг қаршилик коэффиценти
Ламинар	$Re < 2$	$Ar < 36$	$Re = 0,056 \cdot Ar$	$\xi = \frac{24}{Re} \quad (2.73)$
Ўтиш	$Re = 2 \dots 500$	$Ar = (36 \dots 83) \cdot 10^3$	$Re = 0,15 \cdot Ar^{0,715}$	$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}} \quad (2.74)$
Турбулент	$Re > 500$	$Ar > 83 \cdot 10^3$	$Re = 1,74 \cdot Ar^{0,5}$	$\xi = 0,44 = const \quad (2.75)$

Шар шаклида бўлмаган жисмларнинг суюқликда ҳаракати пайтида муҳитнинг қаршилиги шарсимон шакли жисмга нисбатан катта бўлиб, Рейнольдс сони ва шакл омилига боғлиқ бўлади, яъни:

$$\xi = f(Re, \Phi)$$

$$\Phi = \frac{F_{\text{ш}}}{F} \quad (2.76)$$

бу ерда F - жисм юзаси; $F_{\text{ш}}$ - жисм ҳажмига тенг шарнинг юзаси.

Турли шаклдаги жисмларнинг Φ коэффиценти қийматлари.

2-4 жадвал

Заррача шакли	Шар	Куб	Цилиндр ($h=10 \cdot r$)	Диск ($h=0,1 \cdot r$)
Коэффициент Φ	1	0,806	0,69	0,32

Рейнольдс критерийсини ҳисоблашда шар шаклида бўлмаган жисмлар учун асосий чизиқли ўлчам сифатида шу жисм ҳажмига тенг эквивалент шарнинг диаметри қўлланилади.

Агар, жисмнинг ҳажми V , унинг массаси m ва зичлиги ρ бўлса, унда эквивалент диаметри d нинг қиймати ушбу тенгламадан топилиши мумкин:

$$V = \frac{m}{\rho_3} = \frac{\pi d^3}{6} \quad (2.77)$$

2.19. Умумий тушунчалар

Қурилмаларда ва қувур ичида суюқлик унинг боши ва охиридаги босимлар фарқи туфайли ҳаракат қилади. Суюқликнинг қуйи сатҳдан юқори сатҳга узатиш учун эса, насослардан фойдаланилади. Бунда суюқликка босимнинг потенциал энергияси таъсир эттирилади.

Насос шундай гидравлик машинаки, унда электр юриткичнинг механик энергияси суюқликнинг ҳаракатланиш (узатиш) энергиясига айлантириб берилади.

2.20. Насослар классификацияси

Ҳаракатланиш турига қараб ҳажмий, куракли (марказдан қочма), уярмавий ва ўқли насосларга бўлинади.

Ҳажмий насосларнинг ишлаш принципи ёпиқ ҳажм ичида сиқиб чиқариш усулига асосланган бўлиб, илгарилама-қайтма ва айланма ҳаракатлар туфайли суюқлик сиқиб чиқарилади. Ҳажмий насосларга поршенли, ротацион, винтли, шестерняли ва пластинали гидравлик машиналар киради. Марказдан қочма насосларда босим марказдан қочма куч таъсирида, яъни насос қобиги (асоси)га жойлашган куракли ғилдиракнинг айланиши туфайли содир бўлади.

Уярмавий насосларда уярма энергияси ҳисобига узатилади. Бу ишчи ғилдиракнинг айланишида уярманинг тезда ҳосил бўлиши ва сўниши билан амалга ошади.

Айтиб ўтилган насослардан ташқари, яна оқимчали насослар, ҳамда газлифтлар ва монтежю деб номланадиган машиналардан ҳам фойдаланилади. Бу насосларда газ, сув ва буғларнинг босимларидан фойдаланилади.

2.21. Насосларнинг асосий параметрлари

Насосларнинг асосий параметрлари бўлиб унумдорлик, напор ва қувватлари ҳисобланади.

Унумдорлик V (m^3/c) — бу суюқликнинг ҳажмий сарфи бўлиб, ҳайдаш қувури орқали насос ёрдамида узатилган суюқлик миқдорини билдиради.

Насос напори $H(m)$ — бу насоснинг масса бирлигига эга бўлган суюқликка берган солиштирма энергиясидир.

Фойдали қувват N_ϕ (Bm) —напор H ва суюқлик массавий сарфи $\rho g V$ кўпайтмасига тенг миқдордаги суюқлик потенциал энергиясига айтилади:

$$N_\phi = \rho g V H$$

Насос ўқидаги қувват N_e ни аниқлаш учун фойдали қувватни насос фойдали иш коэффициентига бўлиш керак ва у насоснинг йўқотган энергиясини характерлайди:

$$N_e = \frac{N_\phi}{\eta_n} = \frac{\rho g V H}{\eta_n}$$

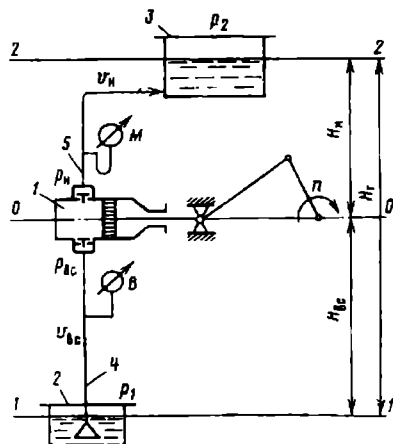
Насос йўқотган энергияси конструкциянинг мукамаллиги, ишлатиш самарадорлиги ва насоснинг едирилиши ҳисобга олинади:

бу ерда η_v — узатиш ф.и.к.; суюқликнинг клапан, сальник, ҳар хил тирқишлардан оқиб чиқиб кетишини ҳисобга олади, яъни $\eta_v = V/V_{\text{наз}}$ ҳақиқий унумдорликнинг назарий унумдорликка нисбатини характерлайди; η_2 — гидравлик ф.и.к.; $\eta_2 = H/H_{\text{наз}}$ ҳажмий напорни назарий напорга нисбатини билдиради; $\eta_{\text{мех}}$ — механик ф.и.к.; подшипник, сальник ва бошқа элементларда ишқаланишта йўқотилган қувват.

Насос қурилмасының тўлиқ ғойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{N_{\phi}}{N_{\phi_0}} = \eta_H \quad \eta_{y_2} \quad \eta_{x_0}$$

Юритикчининг аниқ қуввати, насосни ишга тушириш онда (вақтида)ги $N_{\text{ю}}$ ортиқча юкланишини инobatга олган ҳолда аниқланади.



2.25-расм. Насос қурилмаси схемаси.

$$N_{\text{eff}} = \beta \quad N_{\text{in}}$$

бу ерда β - қувватнинг захира коэффиценти, бу электр юриткичнинг қувватига қараб 2,0 дан 1,1 гача олинади.

Электр юриткичнинг қуввати қанча юқори бўлса, коэффициент β нинг қиймати шунча кичиклашади.

Сўриш баландлиги. Насос қурилмаси насос 1, пастки 2 ва босим ҳосил қилувчи 3 идишлардан, манометр М, вакуумметр В, сўриш 4 ва ҳайдаш 5 қувурларидан ташкил топган.

Насоснинг напорини аниқлаш учун 1-1 ва 0-0 кесимлари учун Бернулли тенгласини сўриш режими учун ёзамиз. Таққослаш текислиги деб пастки идишдаги

суюқлик сатҳини оламиз:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = H_{\text{cyp}} + \frac{w_{\text{cyp}}}{2n} + \frac{p_{\text{cyp}}}{\rho g} + h_{\text{cypтук}}. \quad (2.78)$$

бу ерда p_1 – пастки идишдаги босим; w_1 – 1-1 кесимдаги пастки ҳажмдаги суюқтик тезлиги; $H_{сўр}$ – сўриш баландлиги; $w_{сўр}$ – сўриш қувиридаги суюқлик тезлиги; $p_{сўр}$ – насоснинг сўриш босими; $h_{сўр.йўх}$ – сўриш қувиридаги йўқотилишлар.

Ҳайдаш режими учун 0-0 ва 2-2 кесимлари учун тузилган Бернулли тенгламаси (таққослаш текислиги деб насос ўқидан утган 0-0 текислиги олинади) қуйидагича ёзилади:

$$\frac{p_{y3}}{\rho g} + \frac{w_{y3}^2}{2g} = H_{y3} + \frac{w_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_{y3y3} \quad (2.79)$$

бу ерда, p_{yz} – узатиш (ҳайдаш) босими; w_{yz} – ҳайдаш қувуридаги тезлик; H_{yz} – узатиш баландлиги; w_2 – 2-2 – кесимдаги юқори идишдаги суюқлик тезлиги; p_2 – ҳайдаш идишидаги босим; $h_{yz, \text{йўқ}}$ – ҳайдаш қувуридаги йўқотилиш.

Сўриш ва ҳайдаш қувурларидаги тезликка нисбатан пастки ва юқоридаги идишлардаги суюқлик тезлигининг ўзгариши жуда кичик бўлгани учун, улар нолга тенг ($w_1=0$; $w_2=0$).

(2.78) ва (2.79) тенгламаларни ҳисобга олиб насоснинг напорини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$H = \frac{P_{y2} - P_{cyp}}{\rho g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{w_{cyp}^2 + w_{y2}^2}{2n} + H_{cyp} + H_{y2} + h_{cyp, \text{уук}} + h_{y2, \text{уук}} \quad (2.79a)$$

Сўриш билан ҳайдаш қувири ўзаро тенг бўлганда, ушбу тенгликни соддалаштириш мумкин бўлади, яъни $w_{cyp} = w_{y2}$. Суюқликни геометрик узатиш баландлиги эса, $H_z = H_{cyp} + H_{y2}$, бундан қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + H + h_{уук} \quad (2.80)$$

бу ерда $h_{уук} = h_{cyp} + h_{y2, \text{уук}}$ - босимнинг умумий йўқотилиши.

Агарда юқоридаги ва пастки идишдаги босимлар тенг бўлса, яъни $P_2 = P_1$, у ҳолда:

$$H = H_z + h_{уук} \quad (2.81)$$

(2.80) тенгламага биноан, насоснинг босими, суюқликни геометрик баландлик H_z кўтаришга, идишлардаги босимлар фарқини, сўриш ва ҳайдаш идишлардаги гидравлик қаршиликларни енгишга сарф бўлади.

Горизонтал жойлашган қувур орқали сув узатилганда ($H_z=0$), насос босими фақат қаршиликларни енгиш учун сарфланади:

$$H = h_{уук} \quad (2.82)$$

Ишлаётган насоснинг босимини (напорини) вакуумметр H_v ва манометр H_m ларнинг кўрсаткичлари асосида аниқлаш мумкин:

$$H = H_m + H_v + h$$

бу ерда h – манометр ва вакуумметрлар орасида масофа.

(2.78) тенгламадан сўриш баландлигини кўриб чиқсак:

$$H_{cyp} = \frac{P_1 - P_{cyp}}{\rho g} - \frac{w_{cyp}}{2g} - h_{cyp, \text{уук}} \quad (2.83)$$

w_1 тезлик қиймати w_{cyp} га нисбатан анча кичик бўлгани учун, $w_1=0$ деб қабул қилсак бўлади.

(2.83) тенгламадан шу нарса кўриниб турибдики, P_{cyp} камайиши билан сўриш баландлиги ортади. Суюқлик насос ичида қайнаб кетмаслиги учун, P_{cyp} қиймати суюқлик узатилаётган температурадаги сув буғи тўйиниш босими P_g дан катта бўлиши керак, яъни $P_{cyp} > P_g$.

Шундай қилиб, сўриш баландлигининг чегаравий қийматини қуйидагича аниқлаймиз:

$$H_{\text{суп}} \leq \frac{p_{\text{ат}} - p_t}{\rho g} - \frac{w_{\text{суп}}^2}{2n} - h_{\text{суп.тук}}$$

бу ерда $p_{\text{ат}}$ — атмосфера босими; $p_{\text{ат}} = p_1$

Акс ҳолда, суюқлик насос ичида қайнаб кетади, ва интенсив буғ ҳосил бўлишга олиб келади. Буғ пуфакчалари суюқлик билан юқори босимли зонага кириб қолса, томчига айланиб, бўшлиқлар ҳосил қилади, гидравлик зарба шовқин бўлишига олиб келади, яъни кавитация ҳодисаси содир бўлади.

Кавитация бўлиши насос унумдорлигини пасайтиради, гидравлик зарба билан ишлаган насос, тез едирилади, коррозияга учрайди ва унинг тез бузилишига олиб келади.

2.22. Марказдан қочма насослар

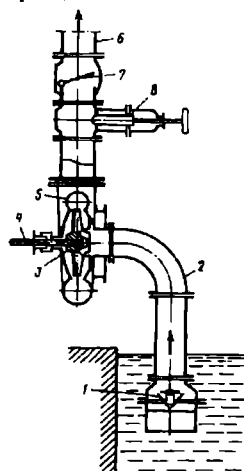
Ишлаш принципи. Марказдан қочма насослар оқим кинетик энергиясини босимнинг потенциал энергияга айлантириб беришига асосланиб ишлайди (2.26-расм). Бу турдаги насосларда суюқликни сўриш ва узатиш марказдан қочма куч таъсирида бўлиб, бу куч насос ишчи ғилдирагига жойлашган спиралсимон куракчаларни айланишидан ҳосил бўлади. Куракчалар суюқлик оқиб ўтадиган канални ҳосил қилади.

Суюқлик, сўриш трубаси орқали, ишчи ғилдирак ўқи бўйлаб, насосга киради.

Ишчи ғилдирак суюқликка айланма ҳаракат беради. Марказдан қочма куч таъсирида суюқлик насос қобиғи билан ишчи ғилдирак орасидаги ўзгарувчан кўндаланг кесимли каналга кириб боради. Каналда суюқлик тезлиги узатиш қувуридаги тезлик қийматигача камаяди.

Натижада ишчи ғилдирагига киришдаги босим пасайиб, суюқлик бетўхтов насосга сўриб борилади. Марказдан қочма турдаги насосни ишга туширишдан олдин насос ичида сийракланиш ҳосил қилиш учун унинг ичига суюқлик қуйилади. Насосдан суюқлик орқага оқиб кетмаслиги учун, қайтариш клапани сўриш трубасига ўрнатилган бўлади. Гидравлик машиналар бир ва кўп босқичли насосларга бўлинади.

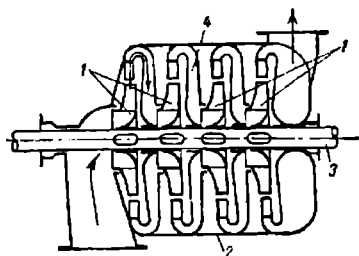
Бир босқичли насоснинг босими 50 м сув устунидан ошмайди. Шунинг учун юқори босим ҳосил қилиш учун бир ўқнинг ўзига кетма-кет бир нечта ишчи ғилдираги ўрнатилади.



2.26-расм. Марказдан қочма насос схемаси.

1,7 - клапан; 2 - сўриш қувури; 3 - ишчи ғилдирак; 4 - ўқ; 5 - қобиқ; 6 - ҳайдаш қувури; 8 - задвижка.

Кўп босқичли насоснинг босими ғилдирак сонига пропорционал. Кўпинча ғилдираклар сони бештадан ортмайди (2.27- расм).

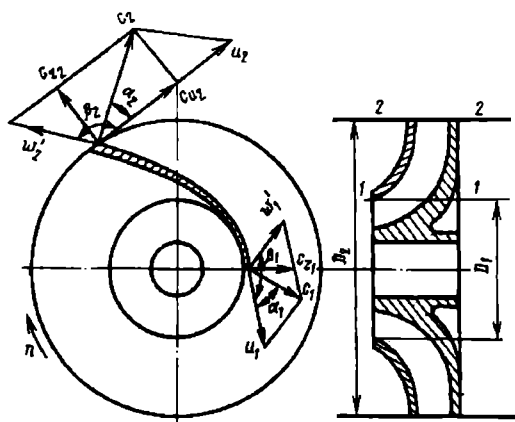


2.27-расм. Кўп босқичли, марказдан қочма насос схемаси.
1-ишчи ғилдирак; 2-қобиқ;
3 - ўқ; 4- айланма канал.

Марказдан қочма насоснинг асосий тенгламаси (Эйлер тенгламаси). Маълумки, айланиш ўқиға нисбатан вақт бирлиги ичида маълум бир суюқлик массаси ҳаракат миқдорининг ўзгариши, ҳамма ташқи кучлар моментларининг йиғиндисига тенг, яъни айланиш моментига тенг. Суюқликни ғилдиракка киришдаги абсолют ҳаракат тезлиги C_1 тезликли мос равишда нисбий тезликлар w_1 ва w_2 ва айланма тезликлар u_1 ва u_2 нинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади (2.28-расм). Ғилдирак кураги

бўйлаб ҳаракатланаётган элементар оқимча учун, ғилдиракка киришда:

$$\Delta m \cdot C_1 = \rho \cdot \Delta V C_1 \Delta \tau$$



2.28-расм. Марказдан қочма насоснинг асосий тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

ғилдиракдан чиқишда эса:

$$\Delta m \cdot C_2 = \rho \Delta V \cdot C_2 \Delta \tau$$

бу ерда ρ суюқлик зичлиги; ΔV - суюқлик оқимчаси ҳажми.

2-2 ва 1-1 кесимлар учун мос равишдаги ҳаракат миқдори моментлари:

$$M_2 = \rho \cdot \Delta V \cdot C_2 \Delta \tau \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_2 ;$$

$$M_1 = \rho \cdot \Delta V \cdot C_1 \Delta \tau \cdot r_1 \cdot \cos \alpha_1 ,$$

бу ерда r_1 ва r_2 — ишчи ғилдиракнинг ташқи ва ички радиуслари; α_1 ва α_2 - суюқлик-

ни ғилдиракка кириш ва чиқишдаги абсолют ва айланма тезликлари орасидаги бурчак.

Ҳаракат миқдори momenti электр юриткичдан бериладиган энергия ҳисобига ошириш мумкин.

$\Delta \tau = 1$ вақт ичида ҳаракат миқдори momenti ортиши: суюқлик оқимчаси учун:

$$\Delta M = M_2 - M_1 = \rho \Delta V (C_2 r_2 \cos \alpha_2 - C_1 r_1 \cos \alpha_1)$$

суюқликнинг бутун массаси учун:

$$\sum \Delta M = \sum \rho \Delta V (C_2 r_2 \cos \alpha_2 - C_1 r_1 \cos \alpha_1) \quad (2.84)$$

Идеал оқим учун ҳамма ҳаракат энергияси ҳаракат миқдори моментининг ортишига сарфланади. Ташқи айлантириш (буриш) моменти:

$$M = \frac{N}{\omega} = \frac{\rho g V H}{\omega} \quad (2.85)$$

Ташқи четки тезликлар $u_1 = r_1 \cdot \omega$ ва $u_2 = r_2 \cdot \omega$ ни ҳисобга олиб ва (2.84) ва (2.85) ни тенглашиб ва (2.85) тенгламани H_m га нисбатан ечганда, марказдан қочма насос учун Эйлер тенгламасига эга бўламиз:

$$H_{\text{наз}} = \frac{1}{g} (C_2 \cdot u_2 \cdot \cos \alpha_2 - C_1 \cdot u_1 \cos \alpha_1) \quad (2.86)$$

Суюқликни ғилдиракка урилмасдан кириши ва ундан чиқиши шартини ҳисобга олиб, $\alpha_1 = 90^\circ$ ва $\alpha_2 = 10 \dots 15^\circ$ қабул қилинса, (2.86) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$H_{\text{наз}} = \frac{1}{g} u_2 C_2 \cos \alpha_2 \quad (2.87)$$

2.28-расмга қараб, тезликлар параллелограммасидан $C_2 \cos \alpha_2 = C_{u_2} \cdot \alpha_1 = 90^\circ$ бўлганда:

$$H_{\text{наз}} = \frac{1}{g} u_2 C_{u_2} \quad (2.88)$$

(2.88) тенгламаси ишчи ғилдирагининг чексиз сонли куракчалари учун олинди. Шунинг учун куракчалар сонини ҳисобга олувчи ε коэффициент (2.88) тенгламага киритилади, унинг қиймати $\varepsilon = 0,6 \dots 0,8$ га тенг.

Ҳақиқий ҳажмий босим назарий босимдан доимо кам бўлади. Чунки энергия насосдаги гидравлик қаршиликларни енгиш учун сарфланади:

$$H = \frac{1}{g} \varepsilon \eta_2 \cdot u_2 C_{u_2} \quad (2.89)$$

бу ерда η_r — гидравлик фойдали иш коэффициенти $0,8 \dots 0,95$ га тенг бўлади.

Насос босими маълум даражада куракларнинг шаклига ҳам боғлиқ бўлиб, айланма ва нисбий тезликлар вектори орасидаги β_2 бурчак ёрдамида аниқланади (2.28-расм).

Тезлик параллелограммасидан:

$$C_{u_2} = u_2 - C_{r_2} \operatorname{ctg}(180 - \beta_2) = u_2 + C_{r_2} \operatorname{ctg} \beta_2$$

Унда:

$$H = \frac{1}{g} \varepsilon \eta_2 (u_2^2 + u_2 C_{r_2} \operatorname{ctg} \beta_2) \quad (2.90)$$

$\beta_2 < 90^\circ$ бўлганда (куракчалар ишчи ғилдиракнинг айланиш йўналиши бўйича эгилган бўлса): $C_r \operatorname{ctg} \beta_2 > 0$ ва $H > \frac{1}{g} \varepsilon \eta_r u_2^2$. $\beta_2 > 90^\circ$ да эса (куракчалар ишчи ғилдиракнинг айланиш йўналишига қарама-қарши

букланган): $C_r \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 < 0$ ва $H(\frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2)$ куракчалар радиал бўлганда $\beta_2 = 90^\circ$, $C_r \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 = 0$ ва $H = \frac{1}{g} \varepsilon \eta_r u_2^2$.

Демак, энг катта босим куракчалар ишчи гилдирагининг айланиш йўналиши бўйича букланган ҳолатга тўғри келади (2.29-расм). Гилдиракдаги гидравлик йўқотишлар кам бўлиши учун, куракчалар қуйидагича букланади $\beta_2 = 140 \dots 164^\circ$ ва $\beta_F = 153 \dots 166^\circ$ бўлади (2.29-расм).

Марказдан қочма насосларда унумдорлик маълум миқдорда ишчи гилдирак каналларининг эркин кесим юзалари ёрдамида аниқланади (2.28-расмга қаранг).

Назарий унумдорлик ушбу тенглама ёрдамида ҳисобланади:

$$V_n = F_2 \cdot C_{r_2} = (\pi D_2 - z \delta) \cdot C_2 \sin \alpha_2 \quad (2.91)$$

бу ерда F_2 — ишчи гилдиракнинг ташқи айлана бўйича эркин кесим канали юзаси; C_{r_2} — суюқликнинг ишчи гилдиракдан чиқишдаги абсолют тезлигининг радиал ташкил этувчиси; D_2 — гилдиракнинг ташқи диаметри; z — куракчалар сони; δ — куракчалар қаршилиги; b — гилдирак эни.

Насоснинг ҳақиқий унумдорлиги:

$$V = \eta_v \cdot V_F$$

бу ерда η_v — насоснинг ҳажмий фойдали иш коэффициенти.

Марказдан қочма насослар характеристикалари. Насослар ишини таҳлил қилиш учун уларни хусусий ва универсал характеристикаларидан фойдаланилади.

Насоснинг хусусий характеристикаси босим H , талаб этилаётган қувват N , насоснинг фойдали иш коэффициенти η_n ларнинг $n = \text{const}$ бўлгандаги унумдорлик V га нисбатан ўзаро боғлиқлигидир.

Насоснинг босимини унумдорлик билан боғлиқлигини аниқлаш учун, тезликнинг радиал ташкил этувчиси C_{r_2} ни унумдорлик орқали (2.91) тенгламага биноан қуйидаги кўриниши:

$$C_{r_2} = \frac{V}{\eta_v F_2}$$

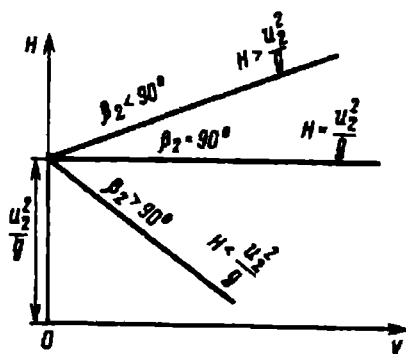
ва (2.90) га қўйиб ушбу тенгламани оламиз:

$$H = \eta_r \left(\frac{u_2^2}{g} + \frac{u_2 \operatorname{ctg} \beta_2}{g \eta_v F_2} V \right) \quad (2.92)$$

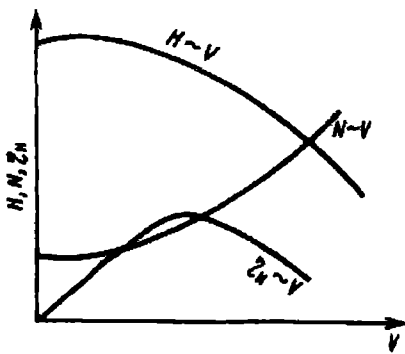
Ушбу насос учун U_2 , β_2 , η_r , F_2 лар ўзгармас катталик бўлиб, H нинг V дан боғлиқлиги (2.92) тенгламага биноан тўғри чизиқ билан ифодаланади:

$$H = \eta_r (A + BV)$$

бу ерда A ва B — ўзгармас коэффициентлар.



2.29-расм. Марказдан қочма насос напорига β_2 бурчакнинг таъсири.



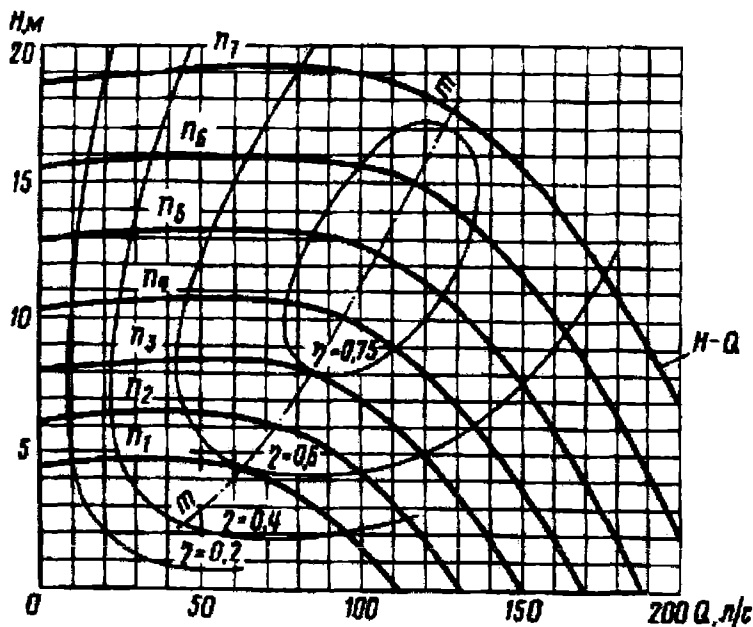
2.30-расм. Марказдан қочма насоснинг хусусий характеристикаси.

лўқидони берк бўлганда, яъни $V=0$ да, насос энг кам қувват истеъмол қилади.

Насосни эксплуатация қилганда энг самарали иши $\eta_n - V$ координатларидаги, маълум айланиш частотасидаги эгри чизиқнинг максимумига тўғри келадиган оралиқ H ва V зонасига тўғри келади.

Насоснинг универсал характеристикаси насос ишининг чегаравий қийматлари ҳақида маълумотлар ва бунда фойдали иш коэффициентининг максимал қийматини, унинг оптимал иш режимини танлашга имконият беради.

Насос универсал характеристикаси ишчи гидрагининг турли айланиш частоталари учун олинади. Бунда $H - V$ боғлиқлик бир неча марта олинади. Ҳар бир $H - V$ эгри чизиқда ўзгармас фойдали иш коэффициентининг ($\eta'_n, \eta''_n, \eta'''_n$) қийматларига тегишли нуқталар ажратилади. $m-m$ чизиғи фойдали иш коэффициентларининг максимум қийматларига тенг бўлади (2.31-расм).

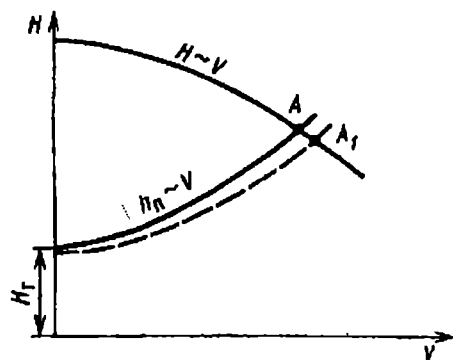


2.31-расм. Айланиш частотаси n бўлганда марказдан қочма насоснинг универсал характеристикаси.

Насоснинг тармоқдаги иши. Тармоқ характеристикаси узатилаётган суюқлик унумдорлиги билан босим орасидаги боғлиқликни кўрсатади. Босим эса, геометрик узатиш баландлиги билан босимни йўқотилиш йиғиндиси орқали аниқланади.

Дарси-Вейсбах тенгламасидан $h_{\text{и}} = k \cdot V^2$ эканлигини аниқлаш мумкин.

Бундан характеристиканинг парабола тенгламасини $H = H_r + k \cdot V^2$ кўринишида ёзиш мумкин.



2.32-рasm. Насоснинг тармоқ характеристикаси.

2.32-рasmда насос ва тармоқнинг характеристикаси кўрсатилган.

Бу характеристикаларнинг кесишган жойи А иш нуқтаси дейилади. Ушбу тармоқда насос ишлагада бу нуқта энг юқори унумдорлик эканлигини билдиради. Агар каттароқ миқдорда унумдорлик керак бўлса, электр юриткичнинг айланишлар частотасини ошириш зарур ёки тармоқда босим йўқотилишини, ҳамда геометрик узатиш баландлигини камайтириш керак.

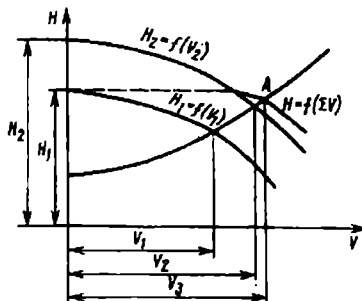
Тармоқда босим йўқотилиши камайтирилганда, ишчи нуқтаси (А₁)

ўнгга сурилади. Агар, юқорида қайд этилган, уччала усулда ҳам унумдорлик ошмаса, у ҳолда насос янада қувватлиси билан алмаштирилади.

Насосларни биргаликда ишлаши. Насосларнинг суюқликни узатиш миқдорини оширишга, уларни параллел улаш йўли билан эришилади.

Насосларнинг **йиғма** характеристикасини ҳар бир насос характеристикаси абсциссалари йиғиндиси орқали олинади.

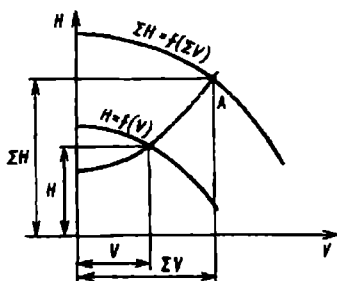
2.33-рasmда 1 ва 2 насосларнинг йиғма характеристикалари кўрсатилган. Ҳар бир насос алоҳида V_1 ва V_2 унумдорликка эга. Параллел уланганда йиғма унумдорлик V_3 га тенг бўлади (А иш нуқтаси), лекин у насосларни алоҳида унумдорликларидан кам бўлади. Бунда унумдорликдан ютиш тармоқ характеристикасининг шаклига боғлиқ бўлади. Агар тармоқ характеристикаси қия бўлса (эгри чизик), йиғма унумдорлик ўсади. Босимнинг ўсиши бундай ҳолларда сезиларсиз бўлади.



2.33-рasm. Параллел уланган икки насоснинг биргаликда ишлаши.

Босимнинг ортиши учун насослар кетма-кет уланиши керак. Бу ҳолда йиғма характеристика алоҳида насосларнинг характеристика ординаталарини қўшиш йўли билан олинади. Бу характеристика билан тармоқ характеристика кесишган нуқтаси йиғма босим ва унумдорликни аниқлаб беради (2.34-рasm). Тармоқнинг характеристикаси тикка (қия) бўлса сезиларли ўсишга эришилади.

Марказдан қочма насосларни ростлаш. Ростлаш, масалан, насос узатишини ўзгартиришдан иборат бўлади. Бунга эришиш учун ёки тармоқ характеристикаси, ёки насос характеристикаси ўзгартирилади.



2.34-расм. Кетма-кет уланган икки насоснинг биргаликда ишлаши.

Тармоқ характеристикасини эса узатиш қувуридаги лўкидонни очиш ёки ёпиш билан ўзгартириш мумкин. Сўриш қувуридаги узатишни рoстлаш, одатда насос ишини узилишига олиб келади.

Насос характеристикасини ўзгартириш учун ишчи ғилдирак сонини ошириш ёки куракчаларни бурилиш бурчаклари β_1 ва β_2 ларни ўзгартириш билан амалга ошириш мумкин. Бурчакни ўзгартирганда насос унумдорлигини катта қийматга оширишга эришса бўлади.

Пропорционаллик қонуни. Марказдан қочма насосларнинг напори ва унумдорлиги насос ишчи ғилдирагининг айланиш частотаси (сони)га боғлиқ бўлади. (2.89) тенгламага мувофиқ насос напори айланма тезлик квадратига боғлиқ, яъни $H \sim \omega^2$.

Агар айланишлар сони n_1 да напор H_1 бўлса, $n_2 \sim H_2$ бўлади деб хулоса қилсак, унда:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega'_2}{\omega''_2} \right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad \text{яъни} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (2.93)$$

(2.91) тенгламадан эса, насос унумдорлиги суюқлик ғилдирагидан ажралишдаги абсолют тезлигини радиал ташкил этувчисига пропорционал, яъни $V \sim C_{r2}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C'_{2r}}{C''_{2r}} = \frac{\omega'_2}{\omega''_2} = \frac{\pi D_2 n_1}{\pi D_2 n_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.94)$$

Насос талаб этадиган қувват эса, унумдорлик ва напорнинг кўпайтмасига пропорционал (2.89) ва (2.91) тенгламаларга биноан қуйидаги кўринишни ҳосил қиламиз:

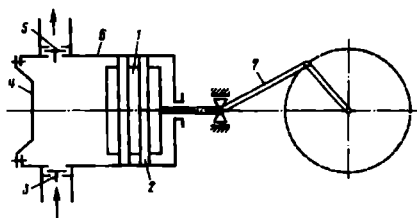
$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (2.95)$$

(2.93) (2.95) тенгламалар пропорционаллик қонуни тенгламалари дейилади. Бироқ бу тенгламаларни тахминий ҳисоблар учун ишлатиш мумкин. Аниқ ҳисоблар учун эса, насос ишчи ғилдирагини айланишлар частотаси билан фойдали иш коэффициенти инобатга олиниши керак. Шунини қайд этиб ўтиш керакки, пропорционаллик қонунини, насоснинг айланишлар сони бир-биридан 2 баробардан ортиқ фарқ қилгандагина қўллаш мумкин.

2.23. Поршенли насослар

Поршенли насослар плунжер ёки поршенни цилиндрда илгариланма-қайтма ҳаракати ёрдамида суюқликни сиқиб чиқариш принциpig асосланган (2.35-расм). Поршенни ўнг томонга қилган ҳаракатидан кейин, цилиндрнинг чап қисмида ҳавони сийракланиши содир бўлиб, сўриш клапани очилади ва

сўриш қувири орқали суюқлик цилиндрга тортиб олинади. Поршен чапга сурилганда сўриш клапани беркилиб, узатиш клапани очилади ва суюқлик ҳайдаш қувири орқали узатила бошлайди.



2.35-расм. Бир томонлама ҳаракатланувчи, горизонтал поршенли насос схемаси.

1-поршен; 2-зичловчи ҳалқалар; 3- сўриш клапани; 4-цилиндр қопқоғи; 5-ҳайдаш (узатиш) клапани; 6-цилиндр; 7-кривошип 8-шатун механизми.

Поршен кривошип-шатунли механизм ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Поршен цилиндрда зичловчи ҳалқалар ёрдамида сиқиб турилади. Поршенли насослар узатмаси турига қараб, бевосита уланувчи ва узатмали бўлади.

Бевосита уланган насослар буғ насослар ёрдамида ҳаракатланади, бунда насос поршен билан битта штокда жойлашган бўлади. Узатмали насослар электр юриткич ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Насослар кривошип айланиш частотасига қараб, секин айланадиган ($n=45\ldots 60$ мин⁻¹), ўртача ($n=60\ldots 120$ мин⁻¹) ва тез айланадиган ($n=120\ldots 180$ мин⁻¹)ларга бўлинади.

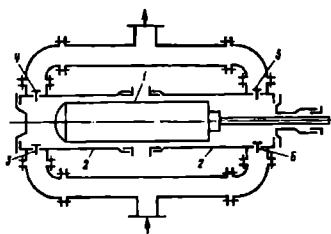
Поршенли насослар вертикал ва горизонтал бўлиши мумкин.

Юқори босимли насослар 100 МПа гача бўлган босимни таъминлаб берса, юқори маҳсулдорлик насос эса, соатига 60 м³ суюқлик ҳайдаб беради.

Поршенли насослар учун сўриш ва узатиш жараёни даврий бўлиб, суюқликни узатиш бир текис амалга ошмайди.

Нотекис узатишни бартараф этиш учун кўп томонлама таъсир этувчи насослар қўлланилади.

Икки томонлама таъсир этувчи насосда 2 та сўриш ва 2 та узатиш клапани бор (2.36-расм). Кривошип тўлиқ айланиб чиққанда цилиндрнинг ҳам чап, ҳам ўнг томонидан навбатма-навбат узатиш ва сўриш жараёнлари содир бўлади.



2.36-расм. Икки томонлама ҳаракатланувчи насос схемаси.

1- плунжер; 2 цилиндрлар; 3,6- сўриш клапанлари; 4,5- ҳайдаш клапанлари.

Плунжернинг ўнг томонга қўзғалишида, чап томонидаги сўриш клапани очилади ва суюқлик цилиндрининг бўшлиғига сўрилади. Шу вақтда эса, ўнг томондаги узатиш клапани очилиб, суюқлик цилиндрининг ўнг қисмидан қувурга узатилади. Плунжер орқага қайтганда эса, ўнг томоннинг сўриш клапани очилиб, чап томоннинг узатиш клапани очилади.

Плунжерда сиқилиш ҳалқалари бўлмайди ва узунлигининг диаметрига нисбати катта бўлади.

Суюқликни бир текисда узатишни таъминлаш учун уч томонлама ҳаракатланадиган насослар ёрдамида амалга ошириш мумкин. Оддий ҳаракатли (бир томонлама) насосларни кетма-кет жойлашган бўлиб, бундай кривошиплар ўзаро 120° бурчак остида кетма-кет жойлашган бўлади (2.37-расм).

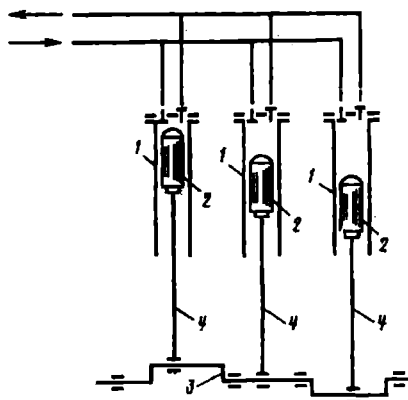
Кривошипнинг тўлиқ битта айланишида, 3 марта сўриш ва 3 марта узатиш жараёни содир бўлади.

Поршенли насос поршенининг битта ҳаракатидаги назарий унумдорлиги, поршеннинг вақт бирлигида ҳосил қилган ҳажми билан аниқланади.

Агар поршен сиқиб чиқараётган суюқлик ҳажми (m^3) $V = f \cdot S$ бўлса, унда бир йўлли насоснинг ўртача назарий унумдорлиги ($m^3/coam$):

$$V_H = 60 \cdot f \cdot S \cdot n$$

бу ерда f – цилиндрининг кўндаланг кесими; S – поршен йўли узунлиги, яъни бошланғич ва охири ҳаракат нуқталари орасидаги масофа; n – айланишлар частотаси.



2.37-расм. Уч томонлама ишлайдиган насос схемаси (триплекс-насос).
1-цилиндрлар; 2- плунжерлар;
3- тирсакли ўқ; 4- шатунлар.

Икки томонлама ҳаракатланадиган насосдаги кривошипнинг 1 та тўлиқ айланганида 2 та марта сўриш ва 2 марта узатиш содир бўлади. Поршеннинг ўртача қилган ҳаракатида цилиндр ичига $f \cdot S$ га тенг бўлган миқдорда суюқлик сўрилади, ўнг томондан эса $(f - f_{yk}) \cdot S$ миқдорида суюқлик сиқиб чиқарилади (f_{yk} – штокнинг кўндаланг кесими).

Насоснинг назарий унумдорлиги:

$$V_H = f \cdot S \cdot n + (f - f_{yk}) \cdot S \cdot n = 2 \cdot f \cdot S \cdot n - f_{yk} \cdot S \cdot n$$

Ўқнинг кўндаланг кесим юзасини кичик деб олинса $f_{yk} \ll f$, бир соатлик назарий узатиш миқдори:

$$V_H = 2 \cdot f \cdot S \cdot n \cdot 60 \quad (2.96)$$

Насоснинг ҳақиқий унумдорлиги қуйидагича:

$$V_x = \eta_v \cdot V_H$$

бу ерда η_v – клапан, сальник ва қувур тирқишларидан оқиб чиқиш пайтида, йўқотиладиган суюқликни ҳисобга оладиган **фойдали иш коэффициенти** $\eta_v = 0,85 \dots 0,99$.

Кўп босқичли насосларнинг ҳақиқий унумдорлиги ($m^3/coam$) да:

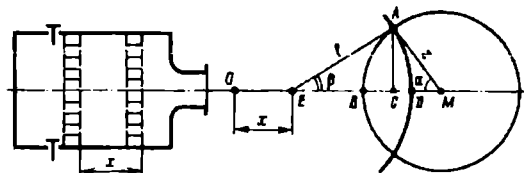
$$V_x = i \cdot 60 \cdot \eta_v \cdot f \cdot S \cdot n \quad (2.97)$$

бу ерда i – ҳаракат каррралиги.

Бу формула насоснинг ўртача унумдорлигини ифодалайди, лекин поршенни 1 марта бориб келишида суюқликнинг узатилиши нотекис амалга ошади.

Ихтиёрий вақтда поршенли насос узатган суюқлик миқдорини аниқлаш учун, поршен ҳаракати қонуниятини билиш керак.

Поршенни x микдорда газ сўриши кривошипнинг бурилиш бурчаги α га нисбатан қуйидагича ифодалаш мумкин (2.38-расм).



2.38-расм. Поршен ҳаракат қонунини келтириб чиқаришга оид.

Поршенни чап томонини охирги ҳолатида ползун O нуқтада жойлашади. Поршеннинг ўнгга қилган ҳаракатида эса, ползун қандайдир E нуқтага сурилади. Кривошипнинг босиб ўтган йўли эса, кривошип буриладиган α бурчак ёрдамида аниқланиб, у

A (нуқта) га жойлашади.

Қуйидаги ҳисоблаш ишини қўриб чиқамиз: E нуқтадан l радиусли шатун узунлигида AD ёйини чизиб, A нуқтадан горизонтал чизиққа AC перпендикуляр туширамиз.

Поршен босиб ўтган x масофа эса: $x=BD=BC+CD$ бўлади. Лекин, $BC=MB-MC=r-r\cos\alpha=r(1-\cos\alpha)$, $CD=ED-EC=l-l\cos\beta=l(1-\cos\beta)$. Бу ерда r кривошип узунлиги. Демак:

$$x=r(1-\cos\alpha)+l(1-\cos\beta)$$

Лекин $\cos\beta$ ни бирга яқин деймиз, чунки $l \gg r$ ва бурчак $\beta \rightarrow 0$, шундай қилиб $x=r(1-\cos\alpha)$. Бунда поршеннинг ҳаракат тезлиги:

$$C_n = \frac{dx d\alpha}{d\tau d\alpha} = r \sin\alpha \frac{d\alpha}{d\tau} = \omega \cdot r \sin\alpha$$

бу ерда: ω — кривошипнинг айланма бурчак тезлиги.

Шундай қилиб, оний узатиш синусоидал қонун бўйича ўзгаради:

$$V=f C_n=f \cdot r \cdot \omega \cdot \sin\alpha \quad \text{ва} \quad dV=f r \cdot \sin\alpha \cdot d\tau$$

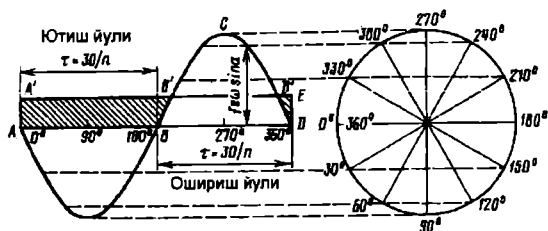
$$\text{лекин } \omega = \frac{d\alpha}{d\tau} \quad \text{унда } dV=f r \cdot \sin\alpha d\alpha$$

Кривошипнинг бурилиш бурчаги α ни абсцисса ўқиға қўйсак, оний қўзғалишни эса, ордината ўқиға жойлаштирамиз (2.39-расм). Синусоида билан чегараланган майдон, поршеннинг l та босиб ўтган йўлида, яъни кривошипнинг ҳаракати йўли эса π дан 2π гача бўлади, насос узатган суюқлик ҳажмига пропорционал бўлади (2.39-расмга қаранг).

$$V = \int_{\pi}^{2\pi} dV = fr \int_{\pi}^{2\pi} \sin\alpha \cdot d\alpha = 2fr = f \cdot S \quad (2.98)$$

2.39-расм кривошип бурилиш бурчаги π дан 2π гача кўрсатилган бўлиб, бу абсцисса ўқида ажратилган оралиқ вақтига пропорционал.

Оддий насос сўриш йўлиға мос бўлган ўқнинг биринчи ярим айланишида суюқликни узатмайди ва бу абсцисса ўқида 0 дан π гача узатиш чизиғи абсцисса билан мос келади (AB чизиғи). Оддий насоснинг кривошипи тўлиқ айланиши ёки поршеннинг 2 марта бориб-келиш $ABCD$ чизиғи билан ифодаланади.



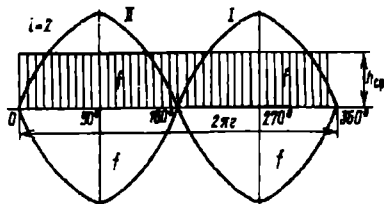
2.39-расм. Оддий насоснинг узатиш диаграммаси.

Кривошипнинг бурилиш бурчаги $\alpha=90^0$ бўлганда, максимал узатиш бўлади. Насоснинг нотекис узатиши қуйидаги нисбат билан аниқланади: $\psi = V_{\text{мак}} / V_{\text{ур}}$.

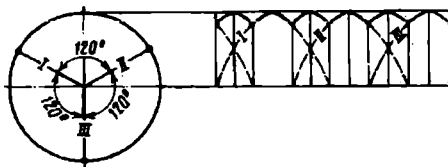
Оддий ҳаракатли насос учун нотекислик коэффициентни $\psi_I = \pi$ бўлса, икки томонлама ҳаракатли насос

учун $\psi_{II} = \pi / 2 = 1,57$, учталиқ учун эса $-\psi_{III} = 1,047$

Икки томонлама ҳаракатли насоснинг узатиш диаграммаси бир-бирига нисбатан ўтирилган синусоидалар ташкил этади (2.40-расм), 3 босқичли насос учун эса 3 та синусоиданинг 120^0 га сурилган бўлади (2.41-расм).



2.40-расм. Икки томонлама ҳаракатланувчи насоснинг узатиш диаграммаси



2.41-расм. Уч босқичли насоснинг узатиш диаграммаси.

Нативавий узатиш эгри чизиғи I, II ва III ордината эгри чизиқларининг йиғиндиси бўлиб, хизмат қилади, чунки улар оддий насос-ларнинг узатиш даврига тўғри келади. Графикдан кўриниб турибдики, 3 босқичли насосларнинг суюқлик узатиши текисланиб боради.

Оддий насосларнинг узатиш ва сўриш қувурларидаги нотекисликни камайтириш учун уларга бевосита ҳаво қалпоқчалари ўрнатилади. Ҳаво қалпоқчалари буфер ҳажм ҳисобланиб, унинг 50% ҳажмини ҳаво эгаллайди. Сўриш пайтида, қалпоқчага суюқлик кирганда ундаги ҳаво сиқилади, агар, узатиш ўртача қийматдан камайса, суюқлик ичидан чиқариб юборилади. Қалпоқчадаги ҳаво босимининг ўзгариш фарқи кам бўлса, суюқликнинг сўриш ва ҳайдаш қувурларида ҳаракати бир текисда бўлади.

Поршенли насоснинг унумдорлиги узатиш босимиға боғлиқ бўлмасдан доимий, катталиқ бўлиб қолади.

Насос қувватини ҳисоблашда ва иш жараёнидаги носозликларни аниқлашда индикатор диаграммасидан фойдаланилади.

Насос цилиндрини абсолют босимини поршен босиб ўтган йўли ёки ҳажмиға боғлиқлигини кўрсатиб беради. Насос цилиндриға, ўрнатирилган индикатор ёрдамида индикатор диаграмма чизилади. 2.42-расмда *ав* чизиғи сўриш жараёниға мос келади. Насосдаги босим атмосфера босимдан паст бўлади ва p_a га тенг бўлади. Поршеннинг *в* нуқтаси энг четки ўнг ҳолатиға мос келади. Бу ҳолатда сўриш клапани ёпиқ бўлади. Поршен ўнгта қараб ҳаракати бошланганда, цилиндрдаги босим бирданиға p_n қийматта кўтарилади (*вс* чизиқ). $p_n - p_a$ босимлар фарқи остида ҳайдаш қувуридаги клапан очилади ва суюқлик узатила бошлайди (*са* чизиғи). *а* ва *с* нуқталардаги босимнинг тебраниши клапанларни очилиш пайтидаги инерцияси туфайли ҳосил бўлади.

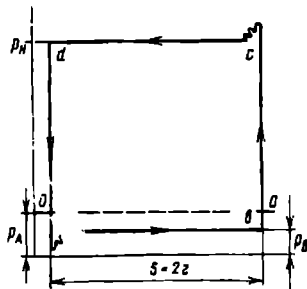
Индикатор диаграммаси ёрдамида насоснинг индикатор қувватини аниқлаш мумкин. Унинг қиймати диаграмма юзасига тенг деб олинади. Индикатор қувватини била туриб, фойдали қувватни аниқлаш мумкин бўлади:

$$N_{\phi} = \eta_{инд} N_{инд}$$

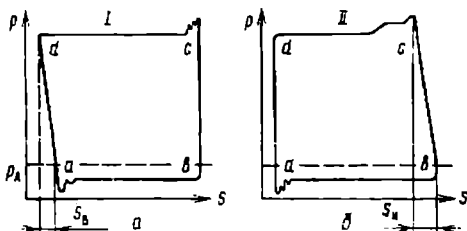
бу ерда $\eta_{инд}$ — индикатор ф.и.к.

2.43-расм индикатор диаграмма ёрдамида насоснинг баъзи бир носозликларини аниқлаш мумкин.

2.43а-расмдаги диаграммада узатиш пайтида насос клапанининг кеч ёпилиши кузатилаётган бўлса, 2.43б-расмда эса, сўриш клапани ёпилишининг кечга қолиши тасвирланган.



2.42-расм. Индикатор диаграммаси.



2.43-расм. Насос ишидаги баъзи носозликлар.

а — клапаннинг ёпилиб қолиши;
б — сўриш клапани ёпилишининг кечикиши.

Индикатор диаграммасидаги ўзгаришлар насос ичидаги бошқа носозликлар мавжудлигидан далолат беради.

Цилиндрга ҳавони кириб қолиши диаграммадаги сўриш горизонтал чизигидан четланишига, чизиқни тебраниши кўрсатади.

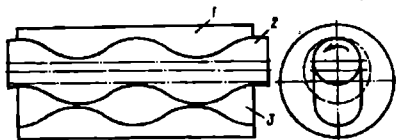
Поршенли насослар асосан, суюқликни кам миқдорда узатишда босими 5 дан 100 МПа гача бўлган юқори қовушоқ, тез алангаланувчи суюқликларни узатишда, ҳамда суюқликларни тақсимлаш учун ишлатилади.

Поршенли насосларнинг камчилигини айтиб ўтадиган бўлсак, буларга, унумдорлиги кичиклиги, суюқликни нотекис узатиши, кривошип-шатунли механизми борлиги, суюқлик таркибида қаттиқ заррачалар бўлса, клапанлари тез ишдан чиқиши киради. Ундан ташқари, уни жойлаштириш учун мустақкам пойдеворлар талаб этилади.

2.24. Насосларнинг махсус турлари

Куюлтирилган суюқликларни узатиш учун (олхўри, ўрик, олча ва меварезаворлар шарбати ва қиёми) қовушоқлиги 1000 Па·с қийматга тенг бўлган суюқликлар учун ротацион ҳажмий насослар (мононасослар) ишлатилади.

Мононасоснинг асосий қисмлари статор 1 ва ротор 2 бўлади (2.44-расм).



2.44-расм. Мононасос схемаси.

1-статор; 2-ротор;
3-ёпиқ бўшлиқ,

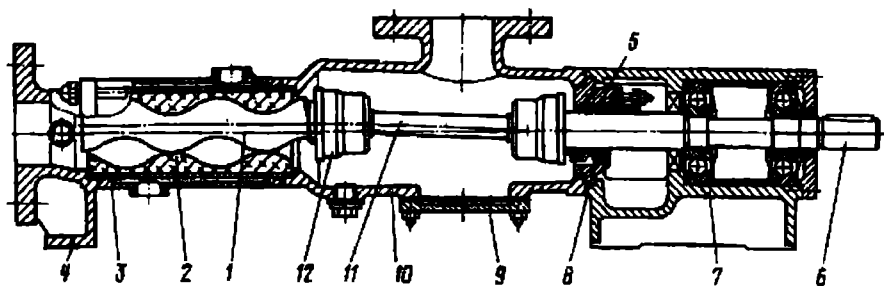
Одатда, статор ичи икки йўлли, юзали, винтли, профили, юқори резбали цилиндрдан ташкил топган.

Статорга бир йўлли ротор ўрнатилган бўлиб, у ўзининг асосий ўқи ва статорнинг кўндаланг кесим ўқи атрофида ҳам айланади.

Статор ва ротор орасида ҳосил бўладиган ёпиқ бўшлиқлар 3, насос

ишлаши пайтида суюқлик билан тўлиб туради ва ротор айланганда, аксиал қўзғалиб боради. Ротор айланганда бу бўшлиқ ҳажми 0 дан максимумгача ўзгаради, бўшлиқ ортиб борганда суюқлик сўриб борилади.

Мононасоснинг конструкцияси 2.45-расмда келтирилган. Насос корпуси чўяндан ёки зангламайдиган пўлатдан тайёрланади. Статор эса, табиий каучук, синтетик, махсус резина, полиуретан, пластик массада, юмшоқ поливинил хлорид, тефлон, полиамиддан, ротор эса зангламайдиган металл ва пластмассада тайёрланади.

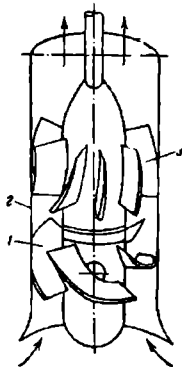


2.45-рasm. Мононасос конструкцияси.

1- ротор; 2-статор; 3-иситиш ғилофи; 4-ҳайдаш штуцери;
5-сальник; 6-ўқ; 7-подшипник қобиғи; 8-зичловчи ҳалқа;
9-қопқоқ; 10-қобик; 11-бирлаштирувчи ўқ; 12-шарнир.

Бу насосларнинг босими $2,4 \text{ МПа}$ ва унумдорлиги $200 \text{ м}^3/\text{соат}$ гача бўлиши мумкин. Насосларда совитиш ёки иситиш учун ғилофлар бўлиши мумкин. Статорнинг ишчи температуралар оралиғи -30 дан $+300^\circ\text{C}$ гача.

Кичик босим билан катта миқдордаги суюқликларни узатишда ўқли насослардан фойдаланиш юқори самара беради (2.46-рasm).



2.46-рasm. Мононасос схемаси.

1-статор; 2-ротор;
3-ёпиқ бўшлиқ.

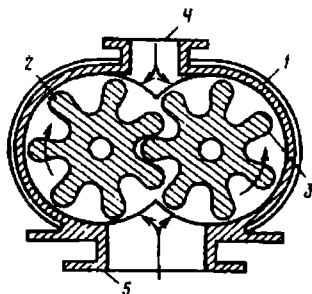
Бу турдаги насосларнинг ишчи ғилдираги эшакли винт шаклида тайёрланган бўлади. Суюқлик куракча ёрдамида илиб олинади ва корпусда айланиб, ўқнинг йўналиши бўйлаб узатилади. Насосдан кейин суюқликни айланма ҳаракатини тўғрилаб бсрувчи ускуна жойлашган бўлади.

Қуюқ, юқори қовушоқли суюқликларни узатишда шестерняли насослардан фойдаланилади (2.47-рasm).

Насос чўян корпусдан ясалган бўлиб, унга 2 та бир-бири билан илашадиган шестернялар ўрнатилган бўлади. Шестернялардан бири электр юриткичга уланган бўлиб, етакловчи бўлса, иккинчиси - етакланувчи ҳисобланади.

Шестернялар ўзаро йлашишдан чиққанида сийракланиш ҳосил бўлади ва суюқлик насосга сўрилади. Шестерня тишлари суюқликни сўриб кетади ва у айланиш йўналиши томон ҳаракатланади. Шестерня тишлари қайтадан илашганда, суюқлик узатилади. Шестерняли насосларни тақсимлаб бергич сифатида қўллаш ҳам мумкин. Ундан ташқари, кичик унумдорликда, юқори босимни таъминлаб беради.

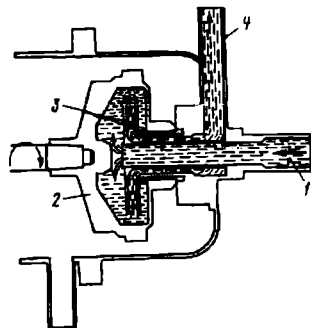
Суюқликларни аралаштириш учун марказдан қочма аралаштиргичлардан фойдаланилади (2.48-рasm).



2.47-рasm. Шестерняли насос

схемаси

1-қобик; 2,3-шестернялар; 4-ҳайдаш штуцери; 5-сўриш штуцери.



2.48-рasm. Марказдан қочма турдаги суюқлик аралаштиргич.

1-суюқлик узатиш штуцери; 2-аралаштирувчи барабан; 3-грейфер; 4-аралашмани чиқариш штуцери.

Расмда кўрсатилганидек маълум нисбатда айланаётган барабанга кирази ва интенсив аралашади. Суюқлик аралашмаси грейферга кириб, босим остида аралаштиргичдан штуцер орқали чиқиб кетади.

Марказдан қочма насос турлари. Ишчи ғилдирагининг чархига қараб марказдан қочма насослар 5 гуруҳга бўлинади.

Гуруҳ	D_1/D_2	n_s
Секин юрар	2,5	40...80
Ўртача тезликли	2	80...150
Тез юрар	1,4	150...300
Ярим ўқли	1,1	300...600
Ўқли	0,8	600...1200

Бир хил α_2 , β_2 бурчаклар ва ε , η_e коэффициентларга эга насосларнинг асосий хараakterистикасини тез юрарлик критерийси n_s ифодалайди.

Тез юриш критерийси эталон насоснинг айланиш частотаси бўлиб, ф.и.к. ўзаро тенг бўлиб, 0,736 кВт қувват билан 1 м сув уст. тенг босим ҳосил қилади.

Ишчи ғилдираги D ва D_s диаметрли 2 та ўзаро мос бўлган, ҳамда айланишлар частотаси мос равишда n ва n_s бўлган насосларни текшириб кўрамиз. Уларнинг босимлари H ва H_s , унумдорлиги V ва V_s бўлса, қувватлар N ва $N_s = 0,736$ кВт бўлади.

(2.89) тенгламадан напорни аниқлаш учун (2.93) тенгламага мурожаат этсак:

$$\frac{H}{H_s} = \frac{nD}{n_s D_s}$$

(2.91) тенгламадан унумдорликни аниқлаш учун (2.94) дан фойдаланамиз:

$$\frac{V}{V_s} = \frac{F \cdot C_{2r}}{F_s C_{2rs}} = \frac{n \cdot D^3}{n_s D_s^3}$$

Қувватни нисбатини аниқлаш учун (2.95)га га мурожаат қилсак:

$$\frac{N}{N_s} = \frac{\rho g V H}{\rho g V_s H_s} = \frac{n^3 D^5}{n_s^3 D_s^5}$$

Бу тенгламалардан $H_S = 1 \text{ м}$ ва $N_S = 0,736 \text{ кВт}$ ни ҳисобга олиб:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \sqrt{V}}{H^{0,75}} \quad (2.99)$$

(2.99) тенгламадан кўринадики, аниқ айланишлар частотасида тез юрарлик коэффиценти унумдорлик яхшиланишига тўғри пропорционал, напорга тескари пропорционал. Шу сабаб, секин юрар насослар унумдорлиги паст бўлиб, босимни юқори қийматга кўтаришга хизмат қилса, тез юрарлар эса, кичик босим билан катта унумдорликни таъминлаб беради.

Марказдан қочма насосларнинг афзаллиги шундан иборатки, суюқлик бир текис узатилади, кичик ўлчамли, тез юрар, клапанлари йўқлиги, ростлаш осонлиги, пластмассадан тайёрлаш ва енгил пойдевор асосга ўрнатиш мумкин.

Камчиликларига эса қуйидагилар киради: босим, унумдорлик ва фойдали иш коэффиценти, насоснинг иш режимида боғлиқ, суюқлик қовушоқлиги ва напор ортиши билан фойдали иш коэффиценти камаяди; паст унумдорлида насосларнинг фойдали иш коэффиценти кичик бўлади.

Бу турдаги насослар катта унумдорлик ва кичик босим керак бўлганда ишлатилади.

2.25. Насосларни таққослаш

Ҳажмий насослар. Поршенли ва плунжерли насосларнинг асосий афзаллиги бу уларда фойдали иш коэффицентининг катталиги ва кам миқдордаги, юқори қовушоқ суюқликларни ҳар қандай босимда узатиб бериш хоссасига эгалигидир. Лекин, уларда суюқлик узатилиши нотекислиги, клапанларни тез ишдан чиқиши ва уларнинг катта ўлчамга эга бўлиши, поршенли ва плунжерли насосларнинг қўлланишини озгина чегаралайди. Плунжерли насосларни ишлатиш осонроқ бўлиб, бузилиши камроқ бўлади.

Ҳажмий насослар тузилиши оддий (шестерняли ва винтли) бўлиб, суюқликни бир меъёрга узатиб беради.

Марказдан қочма ва ўқли насослар. Бу насослар фойдали иш коэффиценти юқори ва суюқликни бир меъёрга узлуксиз узатиб беради. Нисбатан содда тузилганлиги уларни узоқ хизмат қилишини ва ишончлилигини таъминлайди. Клапанларнинг йўқлиги, ишқаланиш юзалари бўлмаслиги ифлосланган суюқликларни ҳам узатиш имконини беради. Электр юриткич билан бевосита уланиши насос қурилмасининг ихчамлигини таъминлайди ва унинг фойдали иш коэффицентини оширади. Куракчали насосларни ушбу афзалликлари, уларнинг кимё саноатида кенг қўламда қўлланишига олиб келди.

Бу насосларнинг камчилиги: унумдорлиги ва босими камлигидир.

Оқимчали насослар. Ушбу насосларнинг афзаллиги шундан иборатки, уларнинг тузилиши анча содда, ифлосланган суюқликларни ҳам узата олади. Сув оқимчали насослар техникада қудуқлардан сувларни кўтариш учун хизмат қилади. Буг оқимчали насослар эса, буғ қозонларга сув узатиш учун ёки вакуум ҳосил қилишда хизмат қилади. Оқимчали насосларнинг камчилиги: фойдали иш коэффиценти жуда кичик ва юқори босим ҳосил қила олмайди.

Ҳаволи (газли) кўтаргичлар. Бу насослар тузилиши содда ва уларга кўрсатиладиган хизмат ҳам оддийлигидир. Мисол учун, чуқур қудуқлардан сув чиқариш, агрессив суюқликларни узатишда қўлланилади. Ҳаволи кўтаргичлар ф.и.к. паст (25...35%). Лекин, насос таркибида ҳаракатчан қисм ва деталлар йўқлиги, унинг энг асосий афзаллигидир.

2.26. Асосий тушунчалар

Кимё ва озиқ-овқат саноати корхоналарида кўп миқдорда газ ва газ аралашмаларини қайта ишлашга тўғри келади. Кўпгина кимёвий жараёнларнинг атмосфера босимдан фарқли босим остида олиб борилиши, жараён тезлигини оширади, қурилма ўлчамларини кичик бўлишига ва ҳоказоларга олиб келади.

Газларни сиқиш ёрдамида уларни қувурларда ва қурилмаларда ҳаракати таъминланади ва вакуум ҳосил қилинади. Бундан ташқари, ҳаво ва газларни сиқиш, уларни аралаштириш, суюқликларни пуркаш учун ишлатилади. Кимё саноатида қўлланиладиган босим миқдорлари 10^{-3} дан 10^8 Н/м^2 ($10^{-8} \dots 10^3$ атм) гача бўлади.

Газларни узатиш ва сиқиш учун мўлжалланган машиналар компрессор машиналари дейилади.

Компрессор машинаси ҳосил қиладиган охириги босим P_2 нинг, газни сўрилиш пайтидаги босим P_1 га нисбати сиқиш даражаси деб номланади.

Сиқиш кўрсаткичинини қиймати бўйича компрессор машиналари қуйидаги турларга бўлинади:

1) Вентиляторлар (P_2/P_1) < 1,1 - катта миқдордаги газларни узатиш учун;
 2) Газодувкалар $1,1 < (P_2/P_1) < 3$ — нисбатан катта гидравлик қаршиликка эга қувурлардан газларни узатиш учун;

3) Компрессорлар (P_2/P_1) > 3 юқори босим ҳосил қилиш учун ишлатилади;

4) Вакуум-насос атмосфера босимидан кичик бўлган босимларда газларни сўриб олиш учун.

Компрессор машиналари ишлаш усули (принципи) бўйича поршенли, роторли, марказдан қочма, ўқли ва бошқа машиналарга бўлинади.

Поршенли машиналарда газларни сиқиш ҳажмининг камайиши ҳисобига амалга ошади. Бунда поршеннинг илгариллама-қайтма ҳаракати туфайли газнинг босими оширилади.

Роторли машиналарда газларни сиқиш эксцентрик жойлашган роторнинг айланиши туфайли ҳажмининг камайиши оқибатида ҳосил бўлади.

Марказдан қочма машиналарда ишчи гилдиракнинг айланишида ҳосил бўладиган инерция кучлари ёрдамида газ сиқилади.

Ўқли машиналарда ишчи гилдирак ва йўналтирувчи қурилма узунлиги бўйлаб, газ ҳаракатланганда унинг сиқилиши содир бўлади.

Вакуум-насос сифатида ҳар қандай компрессордан фойдаланиш мумкин. Фақат вакуум-насос билан компрессор орасида фарқ шундаки, вакуум-насосда сўриш босимнинг атмосфера босимидан сезиларли кам бўлса, узатиш эса атмосфера босимидан кўпроқ бўлади. Поршенли компрессорлар кам миқдордаги газларни катта босимларгача (0,5 – 20 МПа ва ундан юқори) сиқишда ишлатилади. Турбокомпрессорлар эса, катта миқдордаги газларни нисбатан паст босимларда (0,15...1,5 МПа) узатиб беришга мўлжалланган.

2.27. Газларни сиқиш жараёнининг термодинамик асослари

Реал газларни сиқиш жараёнида унинг ҳажми, босими ва температураси ўзгаради. Газларни сиқиш жараёни назарияси идеал газ термодинамикасига асосланади ва ушбу тенглама билан ифодаланади:

$$p = \rho R T \quad (2.100)$$

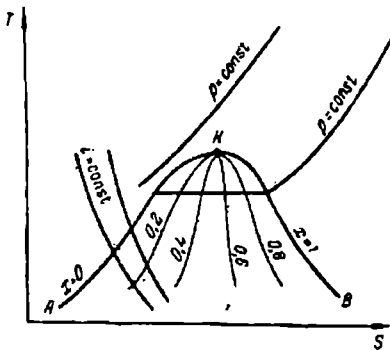
Компрессордан чиқишдаги 10 МПа ва ундан юқори бўлган газ учун реал газнинг ҳолат тенгламасидан фойдаланса бўлади:

$$p = z\rho RT \quad (2.101)$$

бу ерда z — сиқилиш коэффициенти, унинг сон қийматлари махсус адабиётларда келтирилган.

Лекин, амалий ҳисоблашлар учун температура-энтропия ёки T - S термодинамик диаграммадан фойдаланиш қулай ва ишончли. Одатда, T - S диаграмма тажриба маълумотлари асосида қурилади.

2.49-расмда АКВ чегаравий эгри чизиқ тасвирланган бўлиб, унинг максимуми критик нуқта К га тўғри келади. Ушбу эгри чизиқ ва абсцисса ўқи оралигидаги соҳада, бир вақтнинг ўзида ҳам суюқ, ҳам буғ фазалар мавжуддир. КА кесманинг чап қисмидаги соҳа буғнинг тўлиқ конденсацияланишига тўғри келади. Графикнинг бу қисмида қуруқлик даражаси $x=1$. КА кесмани ўнг қисми эса, суюқликнинг тўлиқ буғланишини ифодалайди ва унда қуруқлик даражаси $x=0$. Чегаравий эгри чизиқнинг чап томонида суюқ, ўнг томонида эса фақат буғ (газсимон) фазалар бўлади. Критик нуқта К нинг координаталари газнинг критик параметрларини ҳарактерлайди.



2.49-расм. T - S диаграмма.

Нам буғ соҳасида ўзгармас намлик чизиқлари ($x=\text{const}$) ўтказилади. Ўзгармас температура чизиқлари (изотермалар) абсцисса, энтропия чизиқлари ($T=\text{const}$ ва $S=\text{const}$) эса ордината ўқларига параллелдир. Ўта қизиган буғ соҳасидаги изобара чизиқлари ($p=\text{const}$) тепага йуналган бўлса, нам буғ соҳасида эса, изотерма чизиқлари билан устма-уст тушади, чунки бу ерда температура иссиқлик ўзгармаган ҳолда суюқликни буғланишига сарфланади. Суюқ фаза соҳасидаги изобара чизиқлари чегаравий эгри чизиқ билан бирлашиб кетади.

Бунга сабаб суюқликнинг сиқилмаслиги ва босимнинг физик хоссаларга сустр таъсиридир.

Ундан ташқари, T - S диаграммада ўзгармас энтальпия чизиқлари ($i=\text{const}$) ҳам ўтказилган. T - S диаграммадаги газнинг ҳамма параметрлари 1 кг газга нисбатан олинган.

Термодинамиканинг қонунига биноан, қайтар жараёнлар учун энтропиянинг ортиши қуйидагига тенг

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2.102)$$

Ушбу тенглама ёрдамида газ ҳолатининг ўзгариш иссиқлигини ҳисоблаб топиш мумкин:

$$Q = \int T dS \quad (2.103)$$

Газларни сиқил жараёни. Газни сиқил жараёнидаги охириги босими атроф-муҳит билан иссиқлик алмашилишига боғлиқ. Назарий жиҳатдан фақат иккита ҳолат бўлиши мумкин:

1) Изотермик жараён — газни сиқил жараёнида ҳосил бўлаётган иссиқликнинг ҳаммаси атроф муҳитга ажратиб олинади ва газнинг температура-си ўзгармас бўлиб туради;

2) Адиабатик жараён — бунда атроф муҳит билан иссиқлик алмашилиши умуман йўқ ва сиқиш жараёнида иссиқлик газнинг ички энергиясини оширишга сарфланади ва натижада унинг температураси кўтарилади.

Лекин, одатда газни сиқиш жараёнида ҳажм ва босим ўзгариши билан унинг температурасининг ўзгаришига олиб келади ва ҳосил бўлаётган иссиқликнинг бир қисми атроф муҳитга ўтади.

Сиқиш жараёнидаги иш ва истеъмол қилинаётган қувват. Газни p_1 босимдан p_2 гача изотермик сиқиш жараёни $T-S$ диаграммада $T_A = \text{const}$ чизиги бўйлаб ўтказилган AB тўғри кесма билан ифодаланади (2.50-расм).

Адиабатик сиқиш жараёни газ ва атроф муҳит ўртасида умуман иссиқлик алмашмаслиги билан характерланади. Газни адиабатик сиқишда $dQ=0$ ва $dS=0$. Шундай қилиб, адиабатик жараёнда энтропия ўзгармас ва у $T-S$ диаграммада $S_A = \text{const}$ чизиги бўйлаб ўтказилган AD тўғри чизиқ билан тасвирланади.

Газни p_1 босимдан p_2 гача сиқиш даврида политропик жараён юз беради ва у AC қия чизиги билан характерланади.

Агар, бошланғич босим p_1 ва охириги p_2 маълум бўлса газни сиқиш учун сарфланган солиштирма иш l аналитик усулда ҳам аниқланиши мумкин:

изотермик жараён учун

$$l_{из} = p_1 v_1 \frac{p_2}{p_1} \quad (2.104)$$

адиабатик жараён учун

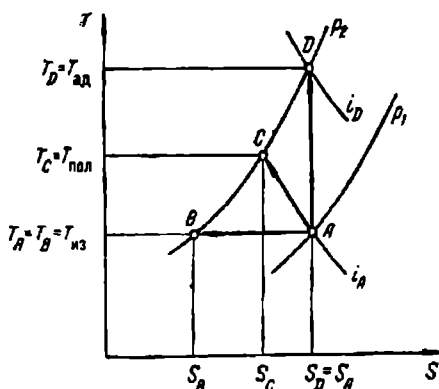
$$l_{ад} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (2.105)$$

политропик жараён учун

$$l_{пол} = \frac{m}{m-1} p_1 \cdot v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (2.106)$$

бу ерда v_1 — сўриш давридаги газнинг солиштирма ҳажми, $\text{м}^3/\text{кг}$; $k=c_p/c_v$ —адиабата кўрсаткичи (газнинг ўзгармас ҳажмдаги иссиқлик сифимига нисбати); m — политропа кўрсаткичи.

Политропа кўрсаткичи m нинг қиймати газнинг табиати, хоссалари ва атроф муҳит билан иссиқлик алмашилиш шароитларига боғлиқ. Масалан, газни сув ёрдамида совутиладиган компрессорда ҳаво сиқилганда $m=1,35$ деб тахмин қилса бўлади.



2.50-расм. $T-S$ диаграммада газни сиқиш жараёнини тасвирлаш.

Изотермик сиқишда энг кам иш сарфланади. Шунинг учун ҳам газларни сиқиш изотермик жараёнга яқин шароитда ташқил этишга ҳаракат қилинади. Демак, сиқиш жараёнида ҳосил бўлаётган иссиқликни газни совитиш йули билан ажратиб олинади.

Сиқиш жараёнидан сунг газнинг температураси T_2 қуйидагича аниқланади:

изотермик жараён учун

$$T_2 = T_1 \quad (2.107)$$

адиабатик жараён учун

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.108)$$

политропик жараён учун

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \quad (2.109)$$

Газни сиқиш учун компрессор сарфлаётган назарий қувват N_n (Вт) ушбу формула ёрдамида топилади:

$$N_n = V \rho l \quad (2.110)$$

бу ерда V – компрессорнинг ҳажмий сарфи, м³/с; ρ – газ зичлиги, кг/м³.

Агар, компрессорнинг ҳажмий иш унумдорлиги ва газнинг зичлиги сўриш шароити, (яъни $V=V_I$ ва $\rho=\rho_I=I/v_I$) ҳамда (2.104)...(2.108) тенгламаларни ҳисобга олсак, газни компрессорда сиқиш жараёнида сарфланаётган қувватни аниқлаш мумкин:

изотермик жараён учун

$$N_{n,из} = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (2.111)$$

адиабатик жараён учун

$$N_{n,ад} = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (2.112)$$

политропик жараён учун

$$N_{n,пол} = \frac{m}{m-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (2.113)$$

Компрессор ўқидаги қувват N_b ни қуйидаги тенглама орқали ҳисоблаб топилади:

$$N_b = \frac{\rho V L}{\eta_v \eta_{мех}}$$

бу ерда η_v – ҳажмий коэффициент, суюқликни клапан, турли тирқишлардан оқиб чиқиб кетишини ҳисобга олади; $\eta_{мех}$ – компрессорнинг механик фойдали иш коэффициенти, механик ишқаланишнинг энгиш учун сарфланадиган энергияни ҳисобга олади.

Электр юриткич қуввати $N_{ю}$ компрессор ўқидаги қувват N_e дан катта, чунки юриткичнинг ўзида ва узатмада маълум миқдорда қувват йўқотилади:

$$N_{ю} = \frac{N_e}{\eta_{ов} \eta_{уз}}$$

бу ерда $\eta_{ю}$ ва $\eta_{уз}$ – электр юриткич ва узатманинг фойдали иш коэффициентлари.

Юриткич керакли қуввати $N_{ю}$ одатда 10...15% заҳира билан қабул қилинади, яъни

$$N_{ю} = (1,1 - 1,15) N_{ов}$$

Адиабатик фойдали иш коэффициентнинг $\eta_{ад}$ қиймати бирга яқин бўлиб, 0,93...0,97 га тенгдир. Изотермик фойдали иш коэффициенти $\eta_{из}$ сиқилиш даражасига қараб, 0,64...0,78 қиймат оралиғида бўлади. Механик фойдали иш коэффициенти $\eta_{мех}$ кўпинча 0,85...0,95 оралиқдаги қийматга тенг.

Вентилятор ўқидаги N_e қувватни:

$$N_e = \rho Q H g / \eta_e \quad (2.114)$$

тенгламадан аниқланади.

Бу ерда η_e – вентилятор фойдали иш коэффициенти бўлиб, узатиш коэффициенти η_v ва механик фойдали иш коэффициенти $\eta_{мех}$ ларнинг купайтмаси орқали аниқланади.

2.28. Поршенли компрессорлар

Поршенли компрессорлар сиқиш босқичи сонига қараб бир, икки ва кўп босқичли, ишлаш принципи бўйича эса, оддий (бир томонлама) ва икки томонлама ҳаракатли компрессорларга бўлинади. Компрессор машинасининг тузилиши худди поршенли насоснинг тузилишига ўхшаш. Компрессор машинасининг газни бирор оралиқ ёки охириги босимгача сиқувчи қисмига сиқиш босқичи дейилади.

Поршен цилиндрда ўнгга ва чапга кривошип-шатун механизми ёрдамида илгарилама - қайтар ҳаракат қилади. Компрессорларда поршен цилиндр деворига зич қилиб ўрнатилади ва уни икки қисмга бўлиб туради. Поршен чапдан унга илгарилама ҳаракат қилганда, сўриш клапани очилади ва цилиндр газга тўлади. Поршен орқага қайтганда эса, цилиндрдаги газнинг сиқилиши натижасида босим ортади ва ҳайдаш қувурига узатилади. Маълумки, газ сиқилганда унинг температураси ортади.

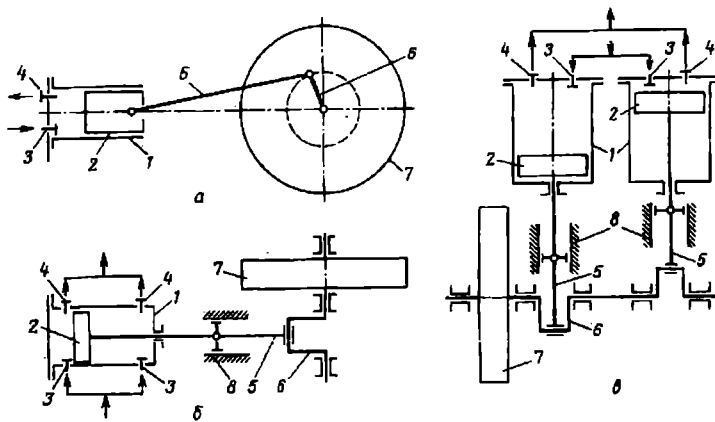
Оддий поршенли компрессорларда поршеннинг бир марта тўлиқ, бориб-келишида бир марта сўриш ва узатиш бўлади. Икки томонлама поршенли компрессорларда иккита сўриш ва иккита узатиш бўлади (2.51-расм).

Бир босқичли компрессорлар горизонтал ва вертикал ҳолда тайёрланади. Горизонтал компрессорлар икки томонлама, вертикаллари эса - бир томонлама бўлади.

Бир босқичли, бир томонлама горизонтал компрессорда (2.51a-расм) поршен 2 цилиндр 1 да ҳаракатланади. Цилиндр бир томонидан сўриш 3 ва узатиш 4 клапанлари ўрнатилган қопқоқ билан ёпилган. Поршен шатун 5 ва кривошип 6 билан бевосита уланган.

Ўқда эса, кривошипдан ташқари маховик 8 ўрнатилган. Поршен чапдан ўнгга ҳаракатланганда, цилиндр ичида, яъни қопқоқ билан поршен орасида,

сийракланиш ҳосил бўлади. Сўриш линиясида босимлар фарқи ҳосил бўлгандан сўнг, цилиндрда клапан 3 очилади ва цилиндрга газ киради. Поршен ўнгга қараб ҳаракат қилганда эса, сўриш клапани ёпилади, цилиндр ичидаги газ поршен ёрдамида, маълум босим p_2 гача сиқилади ва клапан 4 очилгандан сўнг газ узатиш қувурига берилади. Бундан сўнг цикл яна қайтарилади.



2.51-расм. Оддий поршенли компрессор:

а-бир цилиндрли, бир томонлама ҳаракатланувчи; б-бир цилиндрли, икки томонлама ҳаракатланувчи; в-икки цилиндрли, бир томонлама ҳаракатланувчи.
1-цилиндр; 2-поршен; 3-сўриш клапани; 4-ҳайдаш клапани; 5-шатун; 6-кривошип; 7-маховик; 8-крейцкопф.

Бир босқичли икки томонламали компрессорда (2.51б-расм) иккита сўриш ва иккита узатиш клапанлари бор. Бу компрессорларнинг тузилиши мураккаб, лекин унумдорлиги оддий компрессорга нисбатан икки марта кўп.

Сиқилган газни совитиш учун цилиндр, баъзида эса қопқоқда ҳам сув учун гилоф қилинади.

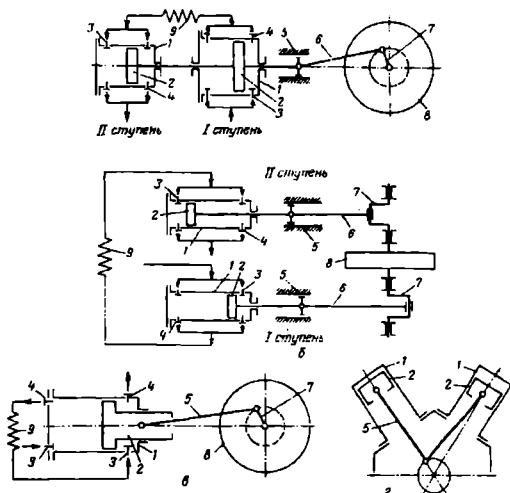
Юқорида кўриб чиқилган компрессорларнинг унумдорлигини ошириш учун улар кўп цилиндрли қилиб тайёрланади. 2.51в-расмда икки цилиндрли компрессор кўрсатилган. Бир томонлама, икки цилиндрли компрессор бирига нисбатан 90° ёки 180° да жойлашган иккита цилиндр, битта тирсакли ўқ ва кривошип узаткичдан иборат.

Бир босқичли вертикал компрессорлар, горизонтал машиналарга нисбатан тез юрар ва унумдорлиги кўпроқ бўлади. Ундан ташқари, улар кам жой эгаллайди, поршен ва цилиндрлари эса кам едирилади (горизонтал компрессорларда оғирлик кучи таъсирида поршен ва цилиндрнинг бир томони кўпроқ едирилади).

Икки босқичли горизонтал компрессорлар одатда бир цилиндрли дифференциал поршенли қилиб тайёрланади (2.52в-расм). Аввал газ поршен 2 нинг чап томонида цилиндр 1 да сиқилади, сўнг совуткич 9 орқали цилиндрнинг бошқа томонидан киради ва керакли p_2 босимгача сиқилади.

Кўп босқичли компрессорлар «тандем» системаси (цилиндрлар кетма-кет жойлашган, 2.52а-расм) ёки «компаунд» системаси (цилиндрлар параллел жойлашган 2.52б-расм) бўйича тайёрланади. Сўнгги пайтда «оппозит» компрессорлар кенг тарқалган бўлиб, бунда поршен ҳаракат йўналиши ўзаро ке-

сишган бўлади. Бу компрессорларда цилиндрлар тирсакли вални иккала томонида жойлашган бўлиб, оппозит компрессорларда вал айланиш тезлигини 2-2,5 мартагача орттириш мумкин. Бу машина унумдорлигини оширади. Поршенли компрессорларда газни узлуксиз узатиш учун, уни мой ва намликдан тозалаш зарур, сўнг эса истеъмолчига узатиш ресивер орқали амалга оширилади.



2.52-расм. Икки босқичли поршенли

компрессор:

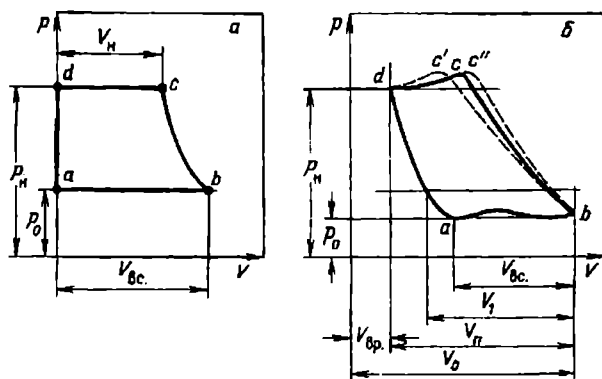
а-«тандем»; б-«компаунд»; в-дифференциал поршенли; г-V-симон цилиндри.

1-цилиндр; 2-поршен; 3-сўриш клапани; 4-ҳайдаш клапани; 5-крейцкопф; 6-шатун; 7-кривошип; 8-маховик; 9-совуткич.

(2.53-расм) назарий сиқишдан анча фарқ қилади. Цилиндр қопқоғи ва поршеннинг орасида доимо бўш ҳажм ҳосил бўлади ва у «зарарли бўшлиқ» деб номланади. Бу бўшлиқда узатиш ва сиқишдан жараёнидан сўнг поршен орқага қайтганда, газ кенгайди ва сўриш клапани очилади, яъни поршен маълум бир ораликда *a* нуқтагача бекор ҳаракатланади. Бунинг оқибатида компрессор унумдорлиги пасаяди, «зарарли бўшлиқ» цилиндрининг иш ҳажмига нисбатан улушларда олинади: $\epsilon \cdot V$ (бу ерда ϵ -зарарли бўшлиқ ҳажмининг поршен ҳаракати тугайли

Индикатор диаграмма. Поршенли насосларни текшириш учун индикатор диаграммаси олинади. Бунда компрессорнинг тирсакли ўқи бир марта айланганда, босим ва узатилган газ ҳажми орасидаги боғлиқлик қурилади. 2.53-расмда бир томонлама, бир босқичли компрессорнинг назарий $p-V$ диаграммаси кўрсатилган. Назарий компрессорда диаграммадаги *b* ва *d* нуқталарга мос келадиган ҳолатларда цилиндр қопқоғига яқин келади ва газни сўриш жараёни узатиш тамом бўлиши билан бошланади. Диаграммада сўриш жараёни *ab*, сиқиш *bc* ва узатиш *cd* чизиклар билан тасвирланади.

Ҳақиқий компрессорда сиқиш жараёни



2.53-расм. Индикатор диаграммалари.

а-назарий; б-ишчи.

ҳосил бўлган фойдали ҳажмга нисбати тенг) одатда, «зарарли ёки фойдасиз бўшлиқ» цилиндр ҳажмининг 3...5% ни ташқил этади.

2.53-расмда $\phi\phi'$ ва $\phi\phi''$ сиқиш чизиқлари мос равишда изотермик ва адиабатик жараёнларни характерлайди. Ушбу диаграммадаги юзалар сиқиш жараёнида бажарилган ишни англатади, яъни изотермик сиқишда бажарилган иш энг кичик бўлса, адиабатикда энг катта қийматга эга бўлади.

Реал шароитда сиқиш жараёни ($\phi\phi$ чизиқ) политроп жараёнда амалга ошади. Бунда, ажраб чиқаётган иссиқликнинг бир қисмигина атроф муҳитга тарқалади.

Компрессор унумдорлиги. Поршеннинг бир марта босиб ўтган йўлида сўрилган газ ҳажми $V_{сўр}$ «зарарли бўшлиқ» таъсири туфайли V_{ϕ} ҳажмга нисбатан кичик бўлади ва компрессорнинг унумдорлигини пасайтиради. Бу унумдорликнинг пасайиши компрессорнинг ҳажмий фойдали иш коэффиценти λ_0 билан ҳисобга олинади ва қуйидагича аниқланади:

$$\lambda_0 = \frac{V_{сўр}}{V_{\phi}} = \frac{V_{сўр}}{Q_H} \quad (2.115)$$

бу ерда Q_H — компрессорнинг назарий унумдорлиги, вақт бирлиги ичидаги поршен ҳаракати туфайли ҳосил бўлган V_{ϕ} ҳажмга тенг.

Цилиндрнинг тўлиқ ҳажми $V_0 = V_{\phi} + \varepsilon V_{\phi}$ дан, сўриб олинган газ ҳажми $V_{сўр} = \lambda V_{\phi}$ айирмасини фойдали ҳажмга нисбатини x билан белгиласак:

$$x = \frac{(V_0 - V_{сўр})}{V_{оп}} = \frac{(V_{\phi} + \varepsilon V_{\phi} - \lambda V_{\phi})}{V_{\phi}} = 1 - \varepsilon - \lambda$$

унда:

$$\lambda_0 = 1 + \varepsilon - x \quad (2.116)$$

«Зарарли бўшлиқ»да газнинг кенгайиши политропик деб ҳисобласак, тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$p_2 (\varepsilon \cdot V_{\phi})^n = p_1 (V_0 - V_{сўр})^n = p_1 (x \cdot V_{\phi})^n$$

бу ерда $x = \frac{V_{\phi} - V_{сўр}}{V_{\phi}}$ p_2 дан ва p_1 га ўзгарганда газнинг зарарли ёки фойдасиз бўшлиқда эгаллаган ҳажми.

Бундан

$$x = \varepsilon \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Ушбу ифодани (2.116) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad (2.117)$$

(2.117) ифодадан кўриниб турибдики, λ_0 нинг қиймати ε га, сиқиш даражаси p_2/p_1 га ва политропа кўрсаткичи m га, газ хоссаси ва компрессор конструкциясига боғлиқ экан.

Сиқиш кўрсаткичини ортиши ҳажмий коэффициент λ_0 нинг қиймати камаяди ва нолга тенг бўлиб қолиши ҳам мумкин. Сиқиш кўрсаткичи $\lambda_0 = 0$ бўлганда, сиқиш даражаси одатда сиқиш чегараси дейилади. Бу ҳолда газ, зарарли бўшлиқда кенгайди ва бутун цилиндрни тўлдириб, сўриш жараёнини тўхтатади ва компрессор унумдорлиги ноль бўлиб қолади.

Компрессорнинг унумдорлиги нафақат (2.117) тенгламадан аниқланадиган λ_0 га кирадиган параметр қийматларига боғлиқ, балки клапан яхши жойлашмаса, газнинг чиқиб кетиши оқибатида унумдорлик пасаяди, ҳамда сўриладиган газ цилиндр деворига урилиб қизиши оқибатида ҳажми ортса, сўриладиган газ миқдори камаяди. Шунинг учун, компрессор унумдорлигини ҳисоблашда узатиш коэффициенти киритилади. Узатиш коэффициенти λ_v компрессордаги барча йўқотилишларни ҳисобга олади.

Узатиш коэффициенти λ_v ҳажмий коэффициент λ_0 билан, турли тирқишлардан газни чиқиб кетиши билан бирга исиб кетишини ҳисобга олувчи коэффициент λ_1 нинг кўпайтмасидан ташкил топган, яъни $\lambda_v = \lambda_0 \cdot \lambda_1$. Узатиш коэффициенти λ_v ни қуйидаги формуладан ҳам ҳисоблаб топиш мумкин:

$$\lambda_v = \lambda_0 \left(1,01 \quad 1,02 \quad \frac{p_2}{p_1} \right) \quad (2.118)$$

Бунда ҳақиқий унумдорлик Q штокнинг кўндаланг кесим юзасини ҳисобга олмаганда қуйидагича аниқланади:

$$Q = \lambda_v \cdot z F S \cdot n \quad (2.119)$$

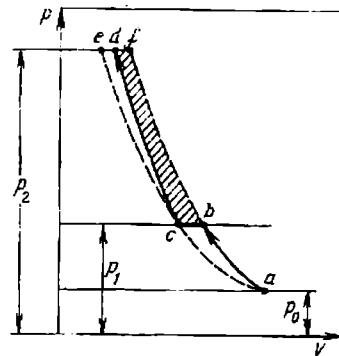
бу ерда z - поршеннинг бир марта юрганидаги сўриб олиш сони (бир томонлама компрессорларда $z = 1$); F - поршен кўндаланг кесим юзаси; S - поршен йўли; n - бир секундда компрессор ўқининг айланишлар сони.

Агар, газ босимини 0,5...0,7 МПа дан юқори қийматгача сиқиш зарур бўлса, кўп босқичли компрессорлар қўлланилади.

Бундай компрессорлар газ температурасини жуда кўп кўтарилишига йўл қўймайди ва компрессорнинг иш самарадорлигини оширади. Мисол учун, икки босқичли компрессорда бир хил қийматга эришиш учун кам миқдорда энергия сарфланади.

Бу ҳолатни (2.54-расмда) қурилган p - V назарий диаграммада кўриб чиқамиз.

Икки босқичли компрессорнинг биришчи босқичида p_0 босимдан p_1 гача AB оралиқда адиабатик сиқилади, BC чизиқ оралиғида эса, газнинг дастлабки температурасига иссиқлик алмашилиш қурилмасида совутилади (ACE изотерма чизиғи). Иккинчи



2.54-расм. Компрессорда газни кўп босқичли сиқиш жараёнининг p - V назарий диаграммаси.

босқичда газ **СД** адиабатик чизиги бўйича охириги p_2 босимгача сиқилади. Шунинг учун оралиқ совуткичи, икки босқичли газни сиқиш бир босқичли компрессорда сиқиш жараёнини ифодаловчи **ABF** адиабатага нисбатан изотермага яқин бўлади (**ABCD** силлиқ чизиқ бўйлаб боради). Штрихланган **BCDF** юза икки босқичли сиқишни бир босқичлигига нисбатан бажарилган ишдаги ютуғини кўрсатади. Юқорида айtilган маълумотлар таҳлили шуни кўрсатадики, босқичлар сони ортиши билан сиқиш жараёни изотермик жараёнга яқинлашади. Лекин, компрессорда босқичлар сони ортса, конструкцияси мураккаблашади. Шунинг учун компрессорда босқичлар сони 6...7 тадан ортмайди.

Компрессорнинг ҳамма босқичларда сиқиш кўрсаткичи бир хил бўлиши, мақсадга мувофиқ. Агар, машина m сиқиш босқичли бўлганда

$$c = \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.120)$$

Кўп босқичли компрессорларнинг унумдорлиги биринчи босқичдаги сўрилган газ бўйича (2.119) ифодадан аниқланади.

Босқичлар орасида босимларнинг йўқотилиши ҳар босқич назарий сиқиш кўрсаткичидан бир оз каттароқ бўлиши керак ва уни қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$c = \psi \left(\frac{p_k}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.121)$$

бу ерда $\psi = 1,1...1,5$ босқичлар орасида босим йўқотилишини ҳисобга олувчи коэффициент; p_k - охириги босим.

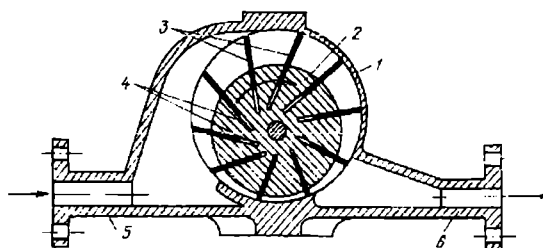
Поршенли компрессорларнинг баъзи камчиликлари: катта жой эгаллайди, секин ҳаракат қилади, оғир, кўп метал сарфлайди ва ҳоказо.

Маълумки кичик унумдорлик ва юқори босимли марказдан қочма компрессорлар тайёрлаш маълум қийинчиликлар билан боғлиқ. Шунинг учун 0,5 МПа босимдан юқори ва 3000...6000 м³/соат унумдорликка эришиш учун вертикал поршенли машиналардан фойдаланилади. Улар ихчам, тез юрар ва фойдали иш коэффициентлари юқори бўлади.

2. 29. Роторли компрессорлар

2.55-расмда пластина-шибер типдаги роторли компрессорлар кўрсатилган. Оғир ротор 2 нинг айланишида, кўндаланг ариқларда жойлашган пластина 3 лар эркин ҳаракат қилишади. Ротор 2 нинг ариқчаларида радиал йўналишда осон сирпанадиган пластиналар бўлиб, улар ротор билан қобиқ орасидаги ўроқсимон бўшлиқни бир неча қисмга, яъни ячейкага бўлиб туради. Пластиналар айланиши натижасида улар орасидаги бўшлиққа газ патрубкка 5 дан сўриб олинади. Пластиналар орасидаги ҳажм камайиши билан газнинг босими ортади ва у узатиш трубаси 6 орқали ҳайдаш қувурига узатилади. Роторли компрессор вали бевосита электр юриткич билан уланиши мумкин. Бундай ҳолларда компрессор ихчам ва енгил бўлади.

Сув ҳалқали роторли компрессорлар (2.56-расм). Статор 1 га эксцентрик ҳолатда узунлиги бир хил ротор 2 жойлаштирилган. Ишга туширишдан авал компрессорнинг ярми сув билан тўлдирилади.

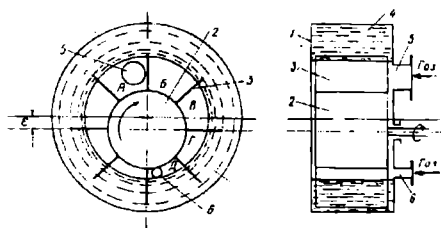


2.55-расм. Пластина типдаги роторли компрессор.

1-қобик (статор); 2-ротор;
3-пластиналар; 4-ариқчалар;
5-сўриш патрубкеси; 6-ҳайдаш патрубкеси.

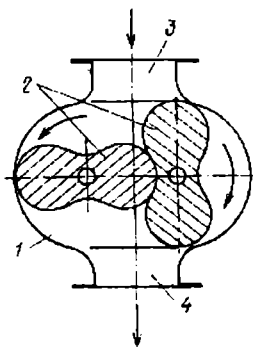
А,Б,В,Г,Д ишчи камераларнинг ҳажми ўзгартирилади. Демак, сув ҳалқали компрессорда ҳосил қилинадиган босим катта бўлмагани учун, ундан газодувка ёки вакуум — насос сифатида фойдаланиш мумкин.

Икки парракли ротор компрессорлар (газодувкалар). Қобик 1 да иккита параллел валларда иккита ротор 2 айланади (2.57-расм). Уларнинг бири электр юриткич ёрдамида айлантирилса, иккинчиси тишли узатма ёрдамида айланади. Ротор 2 лар ўзаро, ҳамда қобик девори билан зич жойлашган бўлиб, камерани икки қисмга ажратиб туради. Биринчи камерага патрубок 3 орқали газ сўриб олинса, бошқасида эса патрубк 4 орқали сиқилган газ ҳайдаш қувурига узатилади.



2.56-расм. Сув ҳалқали, роторли компрессор:

1-статор; 2-ротор; 3-парраклар; 4-сувли ҳалқа; 5,6- сўриш ва ҳайдаш патрубкелари.



2.57-расм. Ротацион компрессор (газодувка)

1-қобик; 2-роторлар;
3,4-сўриш ва ҳайдаш патрубкелари.

Роторли компрессорлар босими 1,0 МПа ва унумдорлиги 5000...6000 м³/соатгача бўлганда қўлланади. Роторли компрессорларнинг камчилиги: тайёрлаш мураккаб, тез ишдан чиқади, ротор пластиналари жуда тез едирилади, ишлаганда кўп шовқин тарқатади ва эксплуатацияси қиммат.

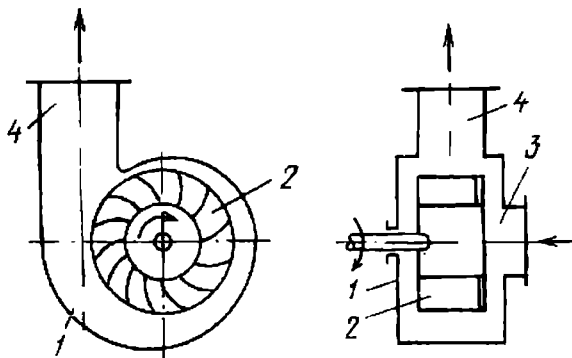
2.30. Марказдан қочма типдаги компрессорлар

Динамик компрессорлар. Бу турдаги машиналарга асосан марказдан қочма, ўқли ва оқимчали компрессорлар мисол бўлади.

Марказдан қочма компрессорлар шу турдаги насослар каби ишлаш принципи бир хил. Уларга вентилятор, турбогазовулка ва турбокомпрессорлар киради.

Марказдан қочма вентиляторлар шартли равишда кичик ($p < 10^3$ Па), ўрта босимли ($p = 10^3 \dots 3 \cdot 10^3$ Па) ва юқори босимли ($p = 3 \cdot 10^3 \dots 10^4$ Па) вентиляторга бўлинади.

Кичик босимли вентиляторнинг спирал кўринишидаги қобиғи 1 да бир нечта куракчали ишчи филдираги 2 айланади (2.58-расм).



2.58- расм. Марказдан қочма вентилятор.

1-қобик; 2-ишчи филдирак; 3-сўриш патрубкеси; 4-ҳайдаш патрубкеси.

Газ филдирак ўқи орқали патрубкка 3 ёрдамида сўриб олинади ва узатиш патрубкеси 4 орқали ҳайдаш қувурига чиқариб беради. Ўрта ва юқори босимли вентиляторлар ишчи филдиракларининг эни нисбатан кенг бўлиб, куракчалари олдинга эгилган бўлади.

Марказдан қочма вентиляторлар характеристикаси насосларники билан бир хил бўлиб, Q , H , ва N каби параметрлар айланишлар сони n га боғлиқ ва (2.122...2.124) тенгламалардан ҳисоблаб аниқланади. Вентиляторда ҳосил бўладиган босим H (2.125) ёки (2.80) тенгламалар ёрдамида аниқланади:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{c'_2}{c''_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.122)$$

$$\frac{H_1}{H_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (2.123)$$

$$\frac{N_1}{N_2} \approx \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (2.124)$$

$$H = H_s + \frac{(p_2 - p_1)}{\rho \cdot g} + \frac{(w_{сuy}^2 - w_{из}^2)}{2 \cdot g} + h_{уук} \quad (2.125)$$

$$H = H_s + \frac{(p_2 - p_1)}{(\rho \cdot g)} + h_{уук}$$

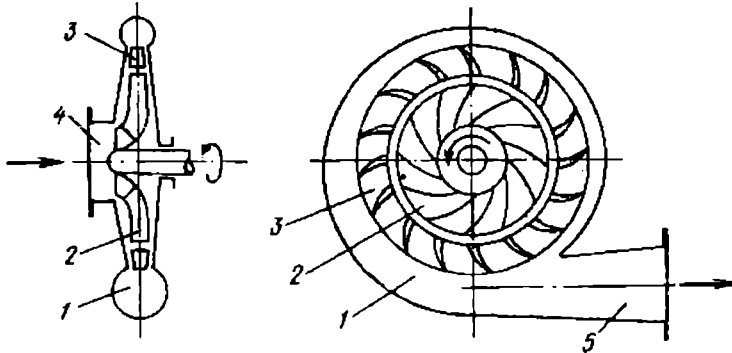
Вентилятор ўқидаги N_e қувватни:

$$N_e = \frac{\rho Q H g}{\eta_a} \quad (2.126)$$

тенгламадан аниқланади.

Бу ерда η_e — вентилятор ф.и.к. бўлиб, у узатиш ф.и.к. η_v , гидравлик ф.и.к. η_z ва механик ф.и.к. $\eta_{мех}$ ларнинг қўпайтмаси орқали топилади.

Турбогазодувкалар. Бир босқичли турбогазодувкалар (2.59-расм) юқори босимли вентиляторга ўхшаш бўлиб, газларни $3 \cdot 10^4$ Па босимгача сиқади. Спирал кўринишидаги корпус 1 да гилдирак 2 айланади, гилдиракнинг куракчаларида ичкарига йўналтирувчи мосламаси 3 жойлашган ва унда газнинг кинетик энергияси босимнинг потенциал энергияга айлантирилади. Сиқилган газ турбогазодувкалар патрубкиси 5 орқали чиқади.



2.59-расм. Турбогазодувка схемаси.

1 - қобиқ; 2 - ишчи гилдирак; 3 — йўналтирувчи мослама;
4 - сўриш патрубкиси; 5 - қайдаш патрубкиси.

Кўп босқичли турбогазодувкаларда битта ўққа бир нечта куракчали гилдираклар (3-4 та) ўрнатилади. Бунда газ босқичлар орасида совутилмайди. Кўп босқичли турбогазодувкаларда гилдираклар диаметри ўзгармайди энига эса, биринчисидан охирига қараб, камайиб боради. Бу билан ҳар бир босқичда сиқиш даражаси ортиб боради. Ўқнинг айланишлар сони ва куракчалар тузилиши ўзгартирилмайди. Турбогазодувкаларда сиқиш даражаси 3-3,5 дан ортмайди.

Турбокомпрессорлар тузилиши бўйича худди турбогазодувка конструкцияси каби, фақат улар юқори сиқиш даражасини таъминлайди. Ундан ташқари, уларда гилдираклар сони анча кўп бўлади. Гилдираклар диаметри ва эни биринчи гилдиракка нисбатан аста-секин камайиб боради. Кўп ҳолларда турбокомпрессор гилдираклари секцияланиб, 2 ёки 3 корпусга жойлаштирилади. Ҳар бир қобиқда гилдираклар диаметри турлича бўлса, лекин қобиқ ичидаги гилдираклар диаметри бир хил, эни эса ҳар хилдир. Одатда, бир қобиқдан иккинчисига ўтаётган сиқилган газ махсус совуткичларда температураси пасайтирилади. Турбокомпрессорларда максимал эришиш мумкин бўлган босим 2,5...3,0 МПа.

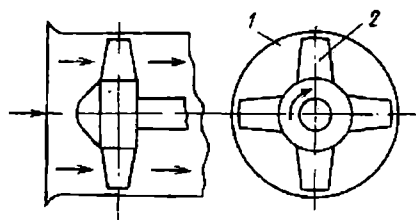
2.31. Ўқли ва винтли компрессорлар

Ўқли компрессорларнинг қобиғи қисқа цилиндрик патрубкка 1 кўринишида тайёрланади (2.60-расм) ва унинг ичида ишчи гилдирак (куракчали пропеллер кўринишида) 2 айланади.

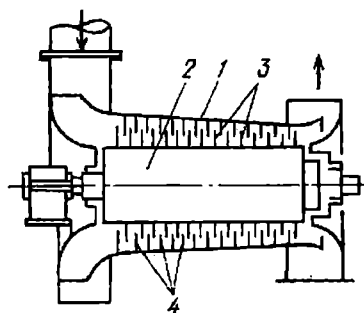
Вентилятор ўқи бўйлаб тўғридан-тўғри ҳаво ҳаракат қилади.

Шу сабабли ўқли вентиляторлар фойдали иш коэффициенти марказдан қочма вентиляторникидан анча юқори бўлади. Лекин, ўқли вентилятор ҳосил қилаётган напор марказдан қочма вентилятор напоридан 3...4 марта паст.

Ўқли компрессор тузилиши бўйича кўп поғонали ўқли вентиляторларга ухшайди (2.61-расм). Одатда поғоналар сони 10...20 та бўлиши мумкин, лекин сиқилаётган газнинг температураси пасайтирилмайди.



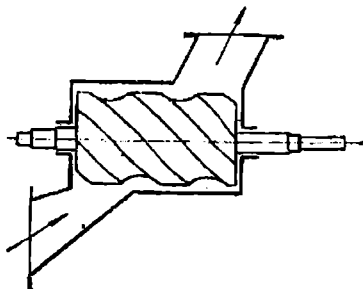
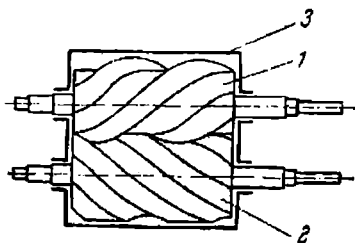
2.60- расм. Ўқли вентилятор.
1 - қобик; 2 - ишчи
ғилдирак.



2.61-расм. Ўқли компрессор.
1- қобик; 2- ротор; 3-
ишчи куракча;
4- қўзғалмас куракчалар.

Ишчи куракчали 3 цилиндрик ротор 2 қурилма қобиғи 1 да айланади. Ишчи куракчалар қобигда маҳкамланган қўзғалмас куракчалар 4 орасида айланиб ҳаракатланади. Ундан ташқари, қўзғалмас куракчалар сиқилаётган газни бир поғонадан иккинчисига йўналтирувчи мослама вазифасини ҳам бажаради. Куракчалар ва қобик орасидаги тирқиш жуда кичик (0,5 мм гача) бўлади.

Ўқли компрессорлар ихчам, юқори фойдали иш коэффициентиға эга ва катта иш унумдорликни (50000...80000 м³/соат) таъминлаб бера олади. Лекин, ҳосил қиладиган босими 0,5...0,6 МПа дан ошмайди. Турбогазодувка ва турбокомпрессорлар жуда катта ҳажмда газлар узатилиши талаб этилганда қўллаш мақсадга мувофиқ. Иш унумдорлиги 3000...6000 м³/соат, босими 1...1,2 МПа (лекин 3,0 МПа дан ортмайди).



2.62-расм. Винтли компрессор.
1,2- роторлар; 3- қобик.

Винтли компрессорлар параллел ўқли иккита 1 ва 2 роторлардан таркиб топган бўлиб, қобик 3 ичида айланади (2.62-расм).

Ротор 1 бир нечта тишли (одатда 3-4 та) цилиндр кўринишида бўлиб, улар винтсимон чизиқ бўйлаб жойлашган. Ротор 2 да эса, винтсимон чизиқ бўйлаб ботиқлик (чуқурлик) ясалган ва шакли ротор 1 нинг тишларига мос келади. Ротор 1 айланганда, винтсимон тишлар ротор 2 ботиқлигига илинганда икки ротор бўшлиғидаги газ сиқиб чиқарилади.

Икки поғонали компрессорлар 0,8 МПа гача босим ҳосил қилади; роторнинг айланиш тезлиги 10000 айл/мин. 0,2 МПа босим берувчи винтли компрессорлар фойдали иш коэффициенти бошқа турдаги машиналарникидан катта бўлади.

Винтли компрессорлар ихчамлиги, тез юрарлиги ва узатилаётган газлар тозаллиги билан ажралиб турадилар.

Камчиликлари: винтли роторларни тайёрлаш мураккаб ва компрессор ишлаш пайтида ортиқча шовқин чиқаради.

2.32. Вакуум-насослар

Вакуум-насосларни компрессорлардан конструктив фарқини белгиловчи кўрсаткичи, бу улардаги сиқиш даражасининг юқорилигидир.

Масалан, вакуум-насос газ (ҳаво)ни 0,05 атмосфера босимида сўриб олса (сийракланиш 95%) ва уни насосдан чиқишида 1,1 ат гача сиқади (ортиқча босим 0,1 ат га тенг бўлиб, у турли қаршиликларни енгитиш учун сарфланади). Бу ҳолда насоснинг сиқиш даражаси:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1,1}{0,05} = 22$$

га тенг бўлади. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, бир босқичли поршенли компрессорларда сиқиш даражаси 8 дан ошмайди.

Бундай юқори сиқиш даражаси билан вакуум-насоснинг ҳажмий коэффициенти ва унумдорлиги бирдан пасайиб кетади. Шунинг учун насоснинг ишчи ҳажмидан тўлиқ фойдаланиш учун «зарарли бўшлиқ» улушини минимумга туширишга ҳаракат қилинади. Шу мақсадда вакуум-насоснинг кўпгина турларида, мисол учун, поршенли ва ротор-пластинали насосларда, босимни текислаш усули қўлланади ва бунда вакуум-насосларнинг узатиш коэффициентини $\lambda_v = 0,8 \dots 0,9$ гача оширса бўлади.

Поршенли вакуум-насослар. Ушбу қурилма ҳўл ва қуруқ машиналарга бўлинади. Қуруқ вакуум-насос газни узатиш учун, ҳўл вакуум насослар эса, газ ва суюқликларни бир вақтнинг ўзида узатиш учун ишлатилади.

Қуруқ вакуум-насослар поршенли компрессорлардан конструктив тузилиш бўйича фарқ қилмайди. Ушбу машиналарни ҳажмий коэффициентини ошириш учун махсус тақсимлаш механизми (золотник) билан таъминланган. Ушбу механизм ёрдамида зарарли бўшлиқ сиқиш жараёни охирида сўриш камераси билан уланади, бу вақтда босим сўриш босими p_1 га тенг бўлади. p_2 босимгача сиқилган газ «зарарли бўшлиқ»дан p_1 босимли камерага ўтади. Шунинг учун зарарли бўшлиқда газ босими пасаяди ва вакуум-насос поршени қўзғалиши олдидан газ сўрилади. Табиийки, бу ҳол унумдорликнинг ошишига олиб келади.

Суюқлик вакуум-насосда махсус тақсимлаш механизми бўлмайди. Ортиқча миқдордаги суюқликни чиқариб ташлаш мақсадида узатиш ва сўриш клапанлари бироз катталаштирилган бўлади (клапандан чиқаётган суюқлик тезлиги, газнинг ҳаракат тезлигидан кичик бўлиши учун). Шунинг учун суюқлик вакуум-насосларда «зарарли бўшлиғи» кўпроқ бўлиб, қуруқ вакуум-насосларга нисбатан сийракланиш қиймати анча кичик бўлади.

Қуруқ поршенли вакуум-насослар учун электр юриткичлар сиқиш даражасининг максимал қийматига қараб танланади, яъни қолдиқ босим қиймати $p_1 = 0,33$ атм. (узатиш босими $p_2 = 1$ атм бўлиши шарти бажарилса).

Суюқлик вакуум-насосларда газ ҳолатининг ўзгариш жараёни изотермик бўлади, чунки сўриш суюқлиги билан газ орасида интенсив иссиқлик алмаши-нади. Бунга сабаб, суюқлик иссиқлик сиғими, газникига нисбатан жуда катта-лигидир.

Роторли пластинали ва сув ҳалқали вакуум-насослар. Бу турдаги на-сослар мос равишда компрессорларнинг айнаи ўзи. Роторли ва сув ҳалқали насосларда босимни ростлаш учун «зарарли бўшлиқ» билан энг кичик бо-симли камерани боғлаб турувчи махсус канал орқали газ ўтказилади. Шу йўл билан вакуум-насоснинг ҳажмий коэффицентини оширишга эриши-лади. Ишчи суюқлик парциал босими ва температураси қанча катта бўлса, сув ҳалқали вакуум-насос ҳосил қиладиган сийракланиши шунча кичик қийматга эга бўлади. Шунинг учун, одатда сув ҳалқали вакуум-насосга им-кони борица паст температурали суюқлик қуйиш керак.

Оқимчали вакуум-насослар. Бу вакуум-насослар ишлаш принципи бўйича суюқлик насосларига ўхшашдир. Одатда, оқимчали вакуум-насосларда ишчи элткич сифатида сув буғидан фойдаланилади. Буғ оқимчали насослар, агрессив муҳитларга бардош, легирланган ва махсус материаллардан тайёрла-ниб, кислота ва бошқа суюқликлар буғларини сўриб олиш учун ишлатилади.

Бир босқичли буғ оқимчали насосларда ҳосил қилинадиган сийракла-ниш абсолют босимнинг 90% дан ортмайди. Чуқурроқ вакуум ҳосил қилиш учун кўп босқичли буғ оқимчали, кетма-кет уланган вакуум-насослар қўлланилади. Босқичлар орасида ишлатилган буғларни конденсациялаш фой-даланилган буғларни сиқиб керакмаслигини таъминлайди ва умумий энергия сарфини камайтиради.

2.33. Компрессорларни таққослаш ва танлаш

Халқ ҳўжалигининг ҳамма саноатларида поршенли ва марказдан қочма компрессор машиналарининг қўлланилиши жуда кенг тарқалган.

Турбокомпрессор ва турбогазовувкалар тузилишининг соддалиги, ихчам-лиги ва газни бир меъёрда узатиши билан ажралиб туради. Уларнинг асосий афзалликлари: газ тоза, мой ва чангларсиз узатилади. Инерция кучларининг йўқлиги ва катта тезликда айланиши, турбокомпрессорларни кичик пойдевор-ларга маҳкамлаш имконини беради.

Турбокомпрессорлар ф.и.к. қиймати поршенли машиналарникига қараганда камроқ бўлади. Иш унумдорлиги 6000 м³/соат ва ундан юқори бўлган турбокомпрессорлар иқтисодий жиҳатдан фойдали, чунки капитал ва хизмат кўрсатиш ҳаражатлари жуда кам. Шунинг учун турбокомпрессорларни катта миқдордаги унумдорлик (10000...200000 м³/соат) талаб этилган вақтда ва 30 атм гача босим керак бўлганда (ўртача 10...12 атм.) қўллаш мақсадга муво-фиқ. Ҳозирги пайтда кўп босқичли турбокомпрессорлар газ босимини 300 атм.гача кўтариб бера олади. Ундан ташқари, узатиладиган газ тозалигига юқори талаблар қўйилганда, бу турдаги компрессорлар жуда қўл келади.

Газ сарфи 10000 м³/соатгача, яъни кичик миқдордаги сарфларда ва 1000 атм босим бўлганда поршенли компрессорлар қўлланилади.

Роторли ва винтли компрессорлар марказдан қочма насослар каби аф-залликларга эга бўлиб, турбокомпрессорларга нисбатан ф.и.к. юқори, унум-дорлиги 6000 м³/соатдан паст бўлган сарфларда ва босими 15 атм дан юқори бўлмаганда ишлатилади. Роторли компрессорларнинг камчиликлари: кўрсатиладиган хизмат ва тайёрлаш мураққаб, ротор пластиналари тез едири-лади ва ишчи камераларини зичлаш қийин.

Ўқли компрессорлар ихчам ва фойдали иш коэффициенти юқори. Юқори миқдордаги унумдорлик ($80000 \text{ м}^3/\text{соат}$) ва кичик босимлар (6 атм. га-ча) талаб этилганда ишлатилади.

Вакуум-насослар ҳосил қиладиган сийракланиш қийматига қараб қўлланилади.

Поршенли суюқлик вакуум-насосларнинг абсолют сийракланиши 80...85%ни ҳосил қилади. Бу машиналарнинг такомиллаштирилган конструкциялилари 93...97% гача сийракланиш беради. Куруқ поршенли вакуум-насослар босим ростлагичи билан бўлса, сийракланиш қийматини 99,9% га етказиш мумкин. Ротор пластинали, босим ростлагичли вакуум насослар 98...99% ли сийракланишни таъминлаб берса, ростлагичсизлиги эса – 95...96% ни ташқил этади.

Ўртача сийракланишни (90...95%) ҳосил қилиш, агрессив ва портловчи газларни аралаштириш учун саноат корхоналарида сув ҳалқали вакуум-насослар кенг қўлланилади. Марказдан қочма машиналар поршенлиларга нисбатан анча қулай ва кўп афзалликларга эга, лекин фойдали иш коэффициенти жуда кичик. Сув ҳалқали вакуум-насос ҳосил қиладиган сийракланиш қиймати, ишчи элткич бўлган сув буғининг температурасига боғлиқ бўлган парциал босим билан чегараланади.

0,05...0,1 мм.сим.уст.дан катта бўлмаган қолдиқ босим олиш учун махсус конструкцияли ротор вакуум-насослардан фойдаланилади. Бундай икки босқичли машиналарнинг қолдиқ босими 0,005 мм.сим.уст.ни ташқил этади. Уч босқичли машиналарда эса – 0,001 мм сим уст.

95...99,8% ли сийракланишни кўп босқичли, буғ оқимчали, вакуум-насосларда олиш мумкин. Бундай қурилмалар оддийлиги ва айланувчан қисмлардан иборат бўлгани билан ажралиб туради ва улар кимёвий агрессив газларни сўриб олишда кўп қўлланилади. Буғ оқимчали насос қурилмаларини узатмасиз, пойдеворсиз, исталган жойга ўрнатиш мумкин.

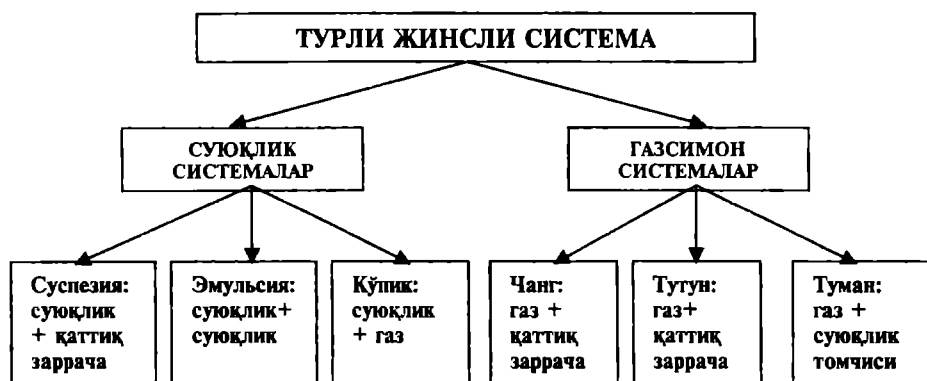
Буғ оқимчали вакуум-насосларнинг камчиликлари: сув бутининг сарфи катта, сўрилаётган газнинг буғ билан аралашма ҳосил қилишидир.

Гидромеханик жараёнларга қуйидагилар киради: суюқ ва газсимон турли жинсли системаларни гравитацион (чўктириш), марказдан қочма (центрифугалаш) ёки электр майдони кучлари таъсирида қаттиқ заррачалардан тозалаш; босимлар фарқи остида суюқлик ва газларни ғовак тўсиқлар орқали ўтказиб филтрлаш; суюқлик муҳитларида аралаштириш; мавҳум қайнаш ва бошқалар.

3.1. Турли жинсли системалар классификацияси

Камида иккита ҳар хил фазалардан (суюқлик - қаттиқ жисм, суюқлик - газ ва ҳ.) таркиб топган аралашмалар **турли жинсли системалар** деб номланади. Заррачалари ўта майин янчилган ҳолатдаги фаза **дисперс** ёки **ички фаза** деб аталади. Дисперс фаза заррачаларини ўраб олган муҳит эса - **дисперсион** ёки **ташқи фаза** деб аталади.

Фазаларнинг физик ҳолатига қараб турли жинсли системалар қуйидаги гуруҳларга бўлинади: суспензия, эмульсия, кўпик, чанг, тутун ва туманлар (3.1-расм).



3.1-расм. Турли жинсли системалар классификацияси.

Суюқлик ва қаттиқ заррачалардан ташкил топган турли жинсли система **суспензия** деб аталади. Қаттиқ заррачалар ўлчамига қараб суспензиялар шартли равишда қуйидаги турларга бўлинади: дағал (>100 мкм); майин ($0,5...100$ мкм); лойқа ($0,1...0,5$ мкм) суспензиялар ва коллоид эритмалар ($\leq 0,1$ мкм).

Бири иккинчисиди эримайдиган, дисперс ва дисперсион фазалардан ташкил топган аралашма системаси **эмульсия** деб номланади. Дисперс фаза заррачаларининг ўлчами кенг ораликда ўзгариши мумкин. Одатда, эмульсия оғирлик кучи таъсирида қатламларга ажралади. Лекин, дисперс фаза томчилари $0,4...0,5$ мкм дан кичик бўлса ёки стабилизаторлар қўшилган ҳолларда эмульсиялар турғун бўлади ва узоқ муддат давомида қатламларга ажралмайди. Дисперс фаза концентрацияси ортиши билан дисперс фаза дисперсион фазга ўтиши ва тескариси бўлиши мумкин. Бундай ўзаро алмашиниш ҳодисаси фазалар **инверсияси** дейилади.

Суюқлик ва унда тақсимланган газ пуфакчаларидан ташкил топган системалар **кўпиклар** деб аталади. Кўпиклар ўз хоссалари бўйича эмульсияларга яқин.

Газ ва унда тақсимланган 0,3...5 мкм ўлчамли қаттиқ заррачалардан ташкил топган системалар **тутунлар** деб номланади. Тутунлар буг (ёки газ) ларнинг суяқ ёки қаттиқ ҳолатга конденсацияланиш жараёни орқали ўтишда ҳосил бўлади. Ундан ташқари, қаттиқ ёқилғилар ёниши натижасида ҳам пайдо бўлади.

Газ ва унда тақсимланган 3...70 мкм ўлчамли қаттиқ заррачалардан ташкил топган системалар **чанглар** деб аталади.

Кўпинча чанглар қаттиқ материални майдалаш, аралаштириш ва маълум масофага узатиш пайтида ҳосил бўлади.

Дисперсион газ ва ўлчами 0,3...5 мкм бўлган дисперс суяқлик фазалардан ташкил топган системаларга **туманлар** дейилади. Туманлар сув буғини совишти жараёнида, буғнинг конденсацияланиши натижасида ҳосил бўлади.

Тутун, чанг ва туманлар - **аэрозоллар** деб юритилади.

3.2. Ажратиш усуллари

Кимё ва озиқ-овқат саноатларида турли жинсли системаларни ташкил этувчи фазаларга ажратишга тўғри келади. Масалан, вино ишлаб чиқаришда уни тиндириш, яъни муаллақ ҳолатдаги заррачаларни, суяқ фазадан ажратиш. Ажратиш усуллари танлашда дисперс фаза ўлчамига, фазалар зичликлари фарқи ва дисперсион фаза қовушқоқлигига аҳамият бериш зарур. Турли жинсли системаларни ажратиш учун қуйидаги усуллар қўлланилади: а) чўктириш; б) филтрлаш; в) центрифугалаш; г) суяқлик ёрдамида ажратиш.

Оғирлик кучи, инерция (жумладан, марказдан қочма) ёки электростатик кучлар ёрдамида турли жинсли системалар таркибидаги қаттиқ ёки суяқлик заррачаларини ажратиш жараёни **чўктириш** деб номланади. Агар, жараён фақат оғирлик кучи таъсирида олиб борилса **тиндириш** деб юритилади. Тиндириш одатда турли жинсли системаларни дастлабки ажратиш учун ишлатилади.

Филтрлаш - турли жинсли системаларни ғоваксимон тўсиқ филтр ёрдамида ажратиш жараёнидир. Бунда, ғоваксимон тўсиқ суяқлик ёки газни ўтказиб юборади, аммо муҳитдаги қаттиқ заррачаларни ушлаб қолади. Суспензия, эмульсия ва чангларни ажратиш учун чўктириш жараёнига қараганда филтрлаш анча самарали.

Центрифугалаш суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма куч таъсирида ажратиш жараёнидир. Бу жараёнда яхлит ёки ғоваксимон тўсиқлар ҳам ишлатилади. Центрифугалаш жараёнида чўкма ва суяқ фаза (фугат) ҳосил бўлади.

Суяқлик ёрдамида ажратиш усули деб - газ таркибидаги қаттиқ заррачаларни бирорта суяқлик иштирокида ушлаб қолиш жараёнига айтилади. Бу жараён оғирлик ёки инерция кучлари таъсирида олиб борилади ва газларни тозалаш учун ишлатилади. Баъзан, бу усулдан суспензияларни ажратишда ҳам фойдаланиш мумкин.

3.3. Ажратиш жараёнининг моддий баланси

Дисперс фаза **a** ва дисперсион фаза **b** лардан ташкил топган турли жинсли система ажратилиши керак. Қуйидаги белгилашларни киритамиз:

G_{ap} , G_{ay} , G_{mc} — бошланғич аралашма, чўкма ва тозаланган суяқлик массалари, кг;

x_{ap} , x_{ay} , x_{mc} — бошланғич аралашма, чўкма ва тозаланган суяқликлар таркибида **b** модда концентрацияси, %.

Агар ажратиш жараёнида масса йўқотилиши бўлмаса, моддий баланс тенгламасини ушбу кўринишда ёзиш мумкин:

моддаларнинг умумий миқдори бўйича

$$G_{ap} = G_{mc} + G_{чук} \quad (3.1)$$

дисперс фаза (*b* модда) бўйича

$$G_{ap} x_{ap} = G_{mc} x_{mc} + G_{чук} x_{чук} \quad (3.2)$$

(3.1) ва (3.2) тенгламаларни биргаликда ечсак, тозаланган суюқлик миқдорини топамиз:

$$G_{mc} = G_{ap} \frac{x_{чук} - x_{ap}}{x_{чук} - x_{mc}} \quad (3.3)$$

ва чўкма миқдорини:

$$G_{чук} = G_{ap} \frac{x_{ap} - x_{mc}}{x_{чук} - x_{mc}} \quad (3.4)$$

Ажратиш жараёнининг самарадорлиги ажратиш жадаллиги билан характерланади:

$$\mathcal{E}_{ажр} = \frac{G_{ap} \cdot x_{ap} - G_{mc} \cdot x_{mc}}{G_{ap} \cdot x_{ap}} \quad (3.5)$$

(3.3) ва (3.4) тенгламалар ёрдамида аралаштириш жараёнини ҳам ифодаласа бўлади. Ундан ташқари, (3.3) тенгламадан аралашма таркибидаги дисперс фаза концентрациясини ҳам топиш мумкин:

$$x_{ap} = \frac{G_{mc} x_{mc} + G_{чук} \cdot x_{чук}}{G_{ap}} \quad (3.6)$$

ТИНДИРИШ ВА ЧЎКТИРИШ

3.4. Оғирлик кучи таъсирида чўктириш

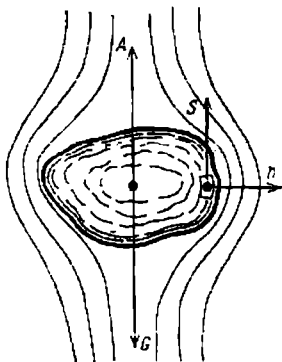
Чўкиш жараёнида қаттиқ жисм турли кучлар таъсирида суюқликда ҳаракат қилади. Оғирлик кучи таъсирида унинг суюқликдаги ҳаракатини кўриб чиқамиз. Бунда, қаттиқ заррачага оғирлик кучи *G*, кўтарувчи (Архимед) куч *A* ва ишқаланиш кучлари *T* таъсир этади (3.2-расм).

Ихтиёрий шаклдаги заррачани кўриб чиқамиз. Унинг ҳажми чизиқли ўлчамининг учинчи даражасига тўғри пропорционалдир.

$$V = \varphi_1 l^3 \quad (3.7)$$

бу ерда *l* - заррача габарит ўлчами, диаметри; φ_1 —шаклга боғлиқ коэффицент.

Агар, заррача зичлиги ρ_3 , суюқликники ρ_c бўлса, унда заррачага оғирлик кучи *G* ва кўтарувчи куч *A* лар таъсир этмоқда. Бу иккала куч қарама-қарши йўналган бўлади.



$$G = \varphi_1 l^3 \rho_3 g, \quad A = \varphi_1 l^3 \rho_c g \quad (3.8)$$

Ушбу кучларнинг фарқи таъсири остида заррача суюқликда ҳаракат қилади ва унинг ташқи юза бирлигига ишқаланиш кучи T таъсир этади.

Ишқаланиш кучи T Ньютон-Петров қонунига биноан аниқланади:

$$T = \mu \frac{\partial w}{\partial n}$$

бу ерда μ - динамик қовушоқлик коэффиценти; $\partial w / \partial n$ - тезлик градиенти.

Бугун заррачага таъсир этувчи муҳитнинг қаршилик кучи унинг юзасига боғлиқ Демак, муҳитнинг

3.2-расм. Оғирлик кучи G таъсирида заррача чўкишнинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

қаршилик кучи қуйидагига тенг:

$$R = \varphi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} \quad (3.9)$$

Механиканинг иккинчи қонунига биноан, оғирлик, қўтарувчи ва ишқаланиш кучларининг тенг таъсир этувчиси, заррача массасининг эркин тушиш тезланишига кўпайтмасига тенг. Демак:

$$\varphi_1 l^3 (\rho_3 - \rho_c) g - \varphi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} = \varphi_1 l^3 \rho_3 \frac{dw}{d\tau} \quad (3.10)$$

(3.10) тенглик оғирлик кучи таъсирида чўкаётган заррачанинг дифференциал тенгламаси деб номланади.

Ўхшашлик назарияси услубларини қўллаб, (3.10) дан оғирлик кучи таъсирида заррачанинг чўкиш жараёнини ифодаловчи ўхшашлик тенгламаларини олиш мумкин.

Бунинг учун (3.10) тенгламани $\varphi_1 l^3 \rho_c \frac{dw}{d\tau}$ бўлиб:

$$g \frac{d\tau}{dw} \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_3} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_{ж}} - \frac{c_2 \mu \partial w d\tau}{c_1 \rho_3 l \partial n dw} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_c} - \frac{\rho_3}{\rho_c} = 0 \quad (3.11)$$

Олинган натижани ρ_w / ρ_c кўпайтириб ва тегишли қисқартиришларни амалга оширсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu \tau}{l \rho} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu}{\rho w l} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{1}{Re} \quad (3.12)$$

φ_2 / φ_1 - нисбат заррача шаклига боғлиқ ва **шакл коэффиценти** деб номланади:

$$f = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (3.13)$$

Ўлчамсиз комплекс эса:

$$\frac{\mu}{\rho w l} = \frac{1}{Re} \quad \text{ёки} \quad Re = \frac{w l \rho}{\mu} = \frac{w l}{\nu}$$

Рейнолдс сони дейилади. Бу сон суяқлик оқимлари ҳаракатининг гидродинамик ўхшашлигини характерлайди, заррачанинг чўкиш жараёнида эса — суяқликнинг заррача атрофидан оқиб ўтиш гидродинамик ўхшашлигини ифодалайди.

Худди шу йўл билан (3.11) нинг биринчи айрилувчисидан қуйидаги кўринишга келамиз:

$$\frac{g \tau}{w} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{g l}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \quad (3.14)$$

(3.14) тенгламани Re^2 га кўпайтурсак, **Архимед** критерийсини оламиз:

$$Ar = \frac{w^2 l^2}{\nu^2} \cdot \frac{g l}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{g l^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \quad (3.15)$$

Ушбу критерий оғирлик ва кўтарувчи кучлар фарқининг кўтарувчи кучга нисбатини характерлайди.

Шундай қилиб, ўхшашлик назарияси услубларини қўллаб, (3.10) тенгламадан заррачаларнинг чўкиш жараёнини ифодаловчи ўхшашлик тенгламасини келтириб чиқариш мумкин:

$$Re = a(fAr)^n \quad (3.16)$$

Чўкиш жараёнини тажрибавий ўрганиш натижасида қуйидаги режимлар аниқланган: ламинар ($Re \leq 0,2$), ўтиш ($0,2 < Re < 50$) ва турбулент ($Re < 500$). Амалий ҳисоблар учун қуйидаги формулалардан фойдаланиш мумкин:

$Re < 1,85$ ёки $fAr < 33$ бўлганда

$$Re = \frac{f}{18} Ar = 0,056 f Ar \quad (3.17)$$

$1,85 < Re < 500$ ёки $33 < fAr < 83 \cdot 10^3$ бўлганда

$$Re = 0,152 \cdot (fAr)^{0,725} \quad (3.18)$$

$Re > 500$ ёки $fAr > 83 \cdot 10^3$ бўлганда

$$Re = 1,74 \cdot (fAr)^{0,5} \quad (3.19)$$

(3.17)...(3.19) формулалар ёрдамида аниқланган Рейнолдс сони орқали оғирлик кучи таъсирида суяқликда чўкаётган заррача тезлигини топиш мумкин:

$$w_{\text{чук}} = \frac{Re \mu}{l\rho} \quad (3.20)$$

Ламинар ҳаракат режимида чўкиш тезлигини қуйида келтирилган усулда топилади. d диаметрли сферик шаклга эга заррачалар учун $w_{\text{чук}}$ (3.17) формуладан аниқлаш мумкин:

$$\frac{w_{\text{чук}} d \rho}{\mu} = \frac{1}{18} \frac{g d^3 (\rho_3 - \rho)}{v^2 \rho}$$

Агар, $v = \mu / \rho$ эканлигини ҳисобга олсак, чўкиш тезлиги ушбу кўринишда ёзилади:

$$w_{\text{чук}} = \frac{g d^2 (\rho_3 - \rho)}{18 \mu} \quad (3.21)$$

(3.21) формула Стокс қонунини, яъни шарсимон заррачаларнинг ламинар режимдаги чўкиш тезлиги, улар диаметрининг квадратига, муҳит ва заррача зичликлари фарқига тўғри пропорционал ва муҳит қовушоқлигига тескари пропорционаллигини ифодалайди.

Нотўғри шаклдаги заррачалар учун чўкиш тезлиги шарсимонникидан кам бўлади. Заррачаларнинг шакл коэффициенти қийматлари махсус адабиётларда келтирилган.

Суюқликда томчининг чўкиш жараёнида унинг шакли узлуксиз равишда ўзгариб туради. Бундай ҳолларда суюқлик томчисининг чўкиш тезлиги проф. Смирнов Н.И. формуласи ёрдамида ҳисобланади:

$$w_{\text{чук}} = \frac{g d^{2,5}}{\sigma} \left(\frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \right)^{1,5} \left(\frac{\mu}{\rho g} \right)^{0,5} \quad (3.22)$$

бу ерда d - томчининг ўртача диаметри; σ - фазалар чегарасидаги сиртий таранглик; ρ_f - томчи ҳосил қилувчи суюқлик зичлиги; ρ - муҳит зичлиги; μ - муҳит қовушоқлиги.

Стокс қонунига биноан, чўкаётган қаттиқ заррачанинг максимал ўлчами ушбу формуладан топилади:

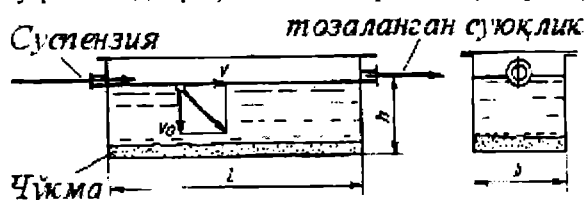
$$d_{\text{max}} \approx 1,56 \sqrt{\frac{\mu^2}{\rho(\rho_3 - \rho)}}$$

Чўкиш жараёнининг кинетик қонуниятларини ўрганиш натижасида қуйидаги умумий қоида келиб чиқади: заррача ўлчами ва фаза зичликларининг фарқи ортиши билан чўкиш тезлиги кўпаяди, лекин муҳитнинг қовушоқлиги кўпайиши билан чўкиш тезлиги камайди.

3.5. Сиқик чўкиш тезлиги

3.4 параграфда қаттиқ жисмнинг суюқликда ҳаракат қонунлари кўриб чиқилган ва заррачанинг оғирлик кучи таъсирида эркин чўкиш тезлиги аниқланган. Ушбу қонунларни фақат дисперс фаза концентрацияси паст системаларга қўллаш мумкин.

Лескин саноатда дисперс фаза концентрацияси юқори бўлган ҳолларда ҳам чўктириш жараёнлари, яъни чўкаётган заррачалар бир-бири билан тўқнашганда ҳам, амалга оширилади (3.3-расм).



3.3-расм. Чўкиш жараёни схемаси.

Кўпчилик тадқиқотлар шуни кўрсатдики, чўкма қатлами устида қуюқлашган суспензия зонаси ҳосил бўлади ва бу ерда **сиқик** шароитда заррачаларнинг чўкиши рўй беради. Бунда, заррачалар ўзаро тўқнашади ва жараён ишқаланиш кучи иштирокида

боради. Натижада, майда заррачалар ўздан катга, йирик заррачалар ҳаракатини секинлаштиради. Шу пайтнинг ўзида йирик заррачаларни ўзи билан бирга майда, кичик ўлчамли заррачаларни илаштириб олиб кетади ва уларнинг ҳаракатини тезлаштиради. Қурилма тубига яқинлашган сари заррача тезлиги пасаяди ва чўкма аста-секин зичланиб боради. Заррача тезлигининг пасайиши суюқликнинг тўхтатиш ҳаракати, яъни заррача сиқиб чиқараётган суюқлик ҳаракатининг тескари йўналиши билан белгиланади.

Заррачанинг сиқик чўкиши ҳар доим эркин чўкиш тезлигидан кам бўлади. Бунга сабаб муҳитнинг қаршилиги ва қўшимча қаршилиқ мавжудлиги, яъни ишқаланиш қаршилиги ва заррачаларнинг ўзаро тўқнашувидир. Ушбу ҳолатда муҳит қаршилигининг ортиши, чўкаётган заррачалар массасининг суюқликка динамик таъсири билан характерланади. Бу ҳол, ўз навбатида, муҳитда кўтарилувчи оқимлар ҳосил бўлишига олиб келади.

Гидродинамик нуқтаи назаридан, заррачаларнинг сиқик чўкиши, қаттиқ заррачалар қатламининг мавҳум қайнаш жараёнига ўхшашлигидир.

Шунинг учун, қўзғалмас муҳитда заррачаларнинг бир текисда чўкиши, уларнинг кўтарилувчи оқимда учиб юришига айнан ўхшашдир. Демак, сиқик чўкиш қонуниятларини, мавҳум қайнаш қатламидаги кўтарилувчи оқим ҳаракати орқали ўрганиш қулайдир. Бунда, сиқик чўкиш тезлиги қаттиқ заррачалар қатламининг мавҳум қайнаш ҳолатидаги оқим тезлигига тенг. Заррачалар концентрацияси нолга қараб интилганда, сиқик чўкиш тезлиги максимал қийматига, яъни эркин чўкиш тезлигига яқинлашиши шубҳасиздир.

Шундай қилиб, ҳисоблаш формуласининг умумий кўриниши мавҳум қайнаш қатламида оқимнинг тезлигини аниқлаш каби бўлиши керак, яъни қуйидаги функция орқали ифодаланади:

$$Re_{счжк} = f(Ar, \varepsilon)$$

Ҳамма режимлар учун сиқик ҳолатдаги чўкиш тезлигини аниқлаш учун қуйидаги умумий тенгламадан фойдаланилади:

$$Re_{счжк} = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (3.23)$$

бу ерда:

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} \quad \text{ва} \quad Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\rho_3 - \rho}{\rho} \quad (3.24)$$

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (3.25)$$

бу ерда: V_0 - суспензиядаги суюқлик ҳажми, m^3 V - суспензиядаги қаттиқ заррачалар ҳажми, m^3

Шарсимон қаттиқ заррачаларнинг сиқиқ ҳолатдаги чўкиш тезлигини қуйидаги тенгламалар ёрдамида топиш мумкин:

агар $\varepsilon > 0,7$ дан бўлса:

$$w_{\text{счук}} = w_{\text{чук}} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon)} \quad (3.26)$$

агар $\varepsilon \leq 0,7$ дан бўлса:

$$w_{\text{счук}} = w_{\text{чук}} \frac{0,123 \cdot \varepsilon^2}{1 - \varepsilon} \quad (3.27)$$

3.6. Суспензия концентрацияси ва заррачалар шаклининг чўкиш тезлигига таъсири

Юқорида қайд этилгандек, суюқ муҳитда қаттиқ жисм ҳаракати пайтида унинг шакли чўкиш тезлигига салмоқли таъсир этади. Оғирлик кучи таъсиридаги чўкиш жараёнида ушбу таъсир шакл коэффициенти f орқали ҳисобга олинади. Шар шаклидаги жисмлар учун $f = 1$. Одатда, шар шаклида бўлмаган жисмлар учун $f < 1$

3-1 жадвал

Т/р	Заррача шакли	Коэффициент f
1	Шар	1,00
2	Думалоқ	0,77
3	Серқирра	0,66
4	Чўзинчоқ	0,58
5	Пластинасимон	0,43

Агар, заррача шакли шарсимон бўлмаса, унинг назарий чўкиш тезлиги суюқлик оқими режимига қараб танланади. Формуладаги аниқловчи ўлчам сифатида заррачанинг эквивалент диаметри қўлланилади. Сўнг эса, заррачанинг ҳақиқий шаклига қараб, аниқланган чўкиш тезлиги $w_{\text{чук}}$ тегишли шакл коэффициенти f га кўпайтирилади:

$$w'_{\text{чук}} = w_{\text{чук}} f \quad (3.28)$$

Келтириб чиқарилган формулаларда чексиз бўшлиқда заррачалар эркин чўкмоқда деб фараз қилинган. Бундай тахмин суспензия концентрацияси жуда паст бўлганда тўғри. Лекин, суспензия концентрацияси ўрта ва юқори бўлса, чўкиш жараёнида заррачалар бир-бири билан тўқнашади ва катта заррачалар майдаларини илинтириб, ўзи билан олиб кетади. Заррачаларнинг бундай тўқнашуви натижасида, уларнинг ҳаракат энергияси йўқотилади, яъни муҳитнинг қаршилиги ортади ва оқибатда чўкиш тезлиги камаяди.

Агар, суспензия концентрацияси қанчалик юқори бўлса, чўкиш тезлигига сиқиклик ҳодисаси шунчалик катта таъсир қилади. Шунинг учун, ҳақиқий ёки назарий чўкиш тезлиги, ҳажмий концентрацияни ҳисобга олувчи тузатиш коэффициентига кўпайтирилади.

3.7. Марказдан қочма куч таъсирида чўктириш

Эмульсиядаги суюқлик томчиларини ва суспензиядаги қаттиқ заррачаларни марказдан қочма кучлар майдонида ажратиш жараёнига **центрифугалаш**

дейилади. Центрифугалаш жараёнини амалга оширадиган қурилма **центрифуга** деб номланади.

Марказдан қочма куч таъсирида суспензия **чўкма** ва **фугат** деб номланувчи суюқлик фазаларга ажралади. Одатда чўкма қурилма ротори ичида қолади, фугат эса - ташқарига чиқарилади.

Центрифуга ишлаш пайтида ҳосил бўладиган марказдан қочма куч чўктириш жараёнидаги оғирлик ва филтрлашдаги гидростатик кучларга нисбатан анча катта бўлади. Шунинг учун турли жинсли системаларни ажратиш учун қўлланиладиган чўктириш ва филтрлаш жараёнларига қараганда центрифугалаш жуда самарали ҳисобланади.

Центрифуганинг асосий қисми горизонтал ёки вертикал ўқга ўрнатилган ва катта тезликда айланувчи цилиндрик ротор бўлиб, у электр юриткич ёрдамида айланма ҳаракатга келтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида турли жинсли системадаги қаттиқ заррачалар чўкмага тушиб, суюқликдан ажралади.

Ажратиш принципига қараб, центрифугалар 2 хил бўлади: филтрловчи ва чўктирувчи центрифугалар.

Чўктирувчи центрифуганинг цилиндрик ротори яхлит деворли бўлиб, эмульсия ва суспензияларни чўктириш принципи асосида ажратади. Бу қурилмада ажратиш жараёнида оғирлик кучи ўрнига марказдан қочма куч ишлатилади. Цилиндрик ротор айланиши натижасида ҳосил бўладиган марказдан қочма куч таъсирида суспензия ёки эмульсия ротор деворига қараб ҳаракат қилади. Зичлиги юқори бўлган қаттиқ заррачалар ротор деворида, зичлиги камроғи эса - ўқ атрофида йиғилади.

Филтрловчи центрифуга ротори говаксимон бўлиб, эмульсия ва суспензияларни филтрлаш принципи асосида ажратади. Бу қурилмаларда, ажратиш жараёнида босимлар фарқи ўрнига, марказдан қочма куч ишлатилади.

Бу турдаги центрифугаларда суспензия ёки эмульсия ротор деворига қараб ҳаракат қилади ва фазаларга ажралади. Фазаларга ажратиш жараёни қуйидагича рўй беради: суюқ фаза роторнинг тўсиғидан ўтиб, қурилма қобиғига йиғилади ва штуцер орқали чиқарилади. Қаттиқ фаза эса, филтрловчи тўсиқда ушланиб қолади ва ундан сўнг ротордан туширилади.

Ишлаш принципига кўра центрифугалар даврий ва узлуксиз бўлади. Ротор ўқининг ўрнатилишига қараб, горизонтал ва вертикал центрифугалар бўлади. Даврий ишлайдиган центрифугаларда чўкма қўл, оғирлик кучи ёки пичоқ ёрдамида туширилади. Узлуксиз центрифугаларда чўкма шнек ёрдамида инерцион ва пульсацион кучлар ёрдамида туширилади.

Филтрловчи ва чўктиривчи центрифугаларда ажратиш жараёнларининг таҳлили шунини кўрсатадики, чўктириш ва филтрлаш жараёнлар билан центрифугалаш орасида ўхшашлик кўп ва ҳамма жараёнларнинг умумий қонуниятлари ҳам ўхшашдир.

Центрифугаларда ҳосил бўладиган марказдан қочма куч ушбу тенглик билан ифодаланади:

$$c = \frac{mw^2}{r} = \frac{Gw^2}{gr} \quad (3.29)$$

бу ерда: m - айланувчи жисм массаси, кг; G - айланувчи жисм оғирлиги, Н; w - роторнинг айланиш тезлиги, м/с; g - эркин тушиш тезланиши, м²/с; r - айланиш радиуси, м.

Роторнинг айланиш тезлиги ушбу тенгликдан топилади:

$$w = \omega \cdot r = \frac{2\pi n}{60} r \quad (3.30)$$

бу ерда: ω - бурчак тезлиги, рад/с; n - айланиш сони, айл/мин.

(3.29) ва (3.30) тенгликлардан марказдан қочма кучни аниқлаймиз:

$$C = \frac{G}{rg} \left(\frac{2\pi n}{60} r \right)^2 \quad (3.31)$$

ёки

$$C \approx \frac{Grn^2}{900} \quad (3.32)$$

Шундай қилиб, ротор диаметрини кўпайтиришга қараганда, унинг айланиш сонини ошириш, марказдан қочма кучнинг ўсишига олиб келади.

Центрифугаларнинг иш унумдорлиги ажратиш коэффициентига боғлиқ. Центрифугаларда ажратиш коэффициенти марказдан қочма кучлар майдонида ҳосил бўлган кучланиш билан характерланади. Центрифугада ҳосил бўлаётган марказдан қочма кучлар миқдорининг оғирлик кучи тезланишидан неча марта кўплигини кўрсатувчи катталиқ **ажратиш коэффициенти** деб номланади:

$$K_a = \frac{w^2}{rg} \quad (3.33)$$

Центрифуга ротори айланиш частотасининг ортиши ва унинг диаметри камайиши билан марказдан қочма куч майдонида ажратиш самарадорлиги ортади. Агар, айланиш тезлигини айланиш частотаси орқали, ифодаласак ажратиш коэффициентини аниқлаш учун ушбу кўринишдаги формулани оламиз:

$$K_a \approx \frac{n^2 r}{900} \quad (3.34)$$

Ажратиш коэффициенти центрифугаларнинг муҳим характеристикаси бўлиб, унинг ажратиш қобилиятини аниқловчи кўрсаткичдир.

3.8. Тиндириш ва чўктириш қурилмалари

Чўктириш жараёни турли конструкцияли қурилмаларда, яъни чўктиргичларда амалга оширилади.

Чўктиргичда суспензия ҳаракати туфайли чўктириш жараёни содир бўлади: қаттиқ заррачалар қурилма тубига чўкади ва чўкма қатлами ҳосил қилади.

Одатда, чўктиргичларни ҳисоби ўз ичига энг майда заррачаларни чўктиришни кўзда тутлади.

Чўктиргичнинг солиштирма иш унумдорлигини қуйидаги формуладан топиш мумкин:

$$V = \frac{lbh}{\tau_0} \quad (3.35)$$

бу ерда: l, b, h қурилманинг геометрик ўлчамлари, м; τ_0 заррачаларнинг ўртага чўкиш давомийлиги, с.

Агар, чўктиргичнинг иш унумдорлиги маълум бўлса, чўктириш юзасини ушбу формуладан аниқлаш мумкин:

$$F = \frac{G}{\rho \cdot w} \quad (3.36)$$

бу ерда: $G = G_m / \tau$ — чўктиргич иш унумдорлиги, кг/с; ρ — маҳсулот зичлиги, кг/м³.

Тиндириш ва чўктириш учун мўлжалланган қурилмалар ишлаш принципага кўра қуйидагиларга бўлинади: гравитацион чўктиргич, центрифуга, гидроциклон ва сепараторларга.

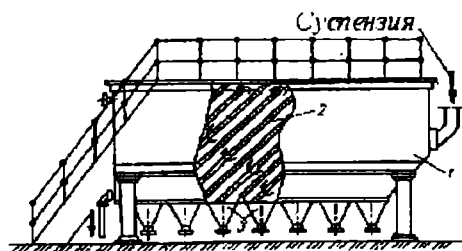
Тиндиргичлар узлукли, ярим узлуксиз ва узлуксиз ишлайдиган бўлади.

Узлукли ишлайдиган тиндиргич. Бу турдаги қурилма аралаштиргичи бўлмаган, ясси сув ҳавзасидан иборат. Сув ҳавзаси суспензия билан тўлдирилгандан сўнг, тўлиқ ажралиш содир бўлгунча, чўктириш жараёни давом этади.

Ундан кейин, чўкма қатламидан юқорида жойлашган штуцердан тозаланган суюқлик чиқариб олинади. Қурилма тубидаги қаттиқ заррачалардан бўлган чўкма қўл ёрдамида олиб ташланади.

Чўктиргич ўлчамлари ва шакли турли жинсли система заррачалари диаметри ва суспензия концентрациясига боғлиқ. Суспензия зичлиги ва заррачаларининг диаметри ортиши, тиндиргич ўлчамларини камайтириш имконини беради.

Тиндириш жараёнининг давомийлиги дисперсион фаза қовушоқлигига боғлиқ. Маълумки, температура ўсиши билан суюқликлар қовушоқлиги пасаяди. Шунинг учун, чўктириш жараёнини интенсивлаш мақсадида суспензиялар қиздирилади (агар технологияга зид бўлмаса).



Тозаланган суюқлик

3.4-расм. Қия тўсиқли ярим узлуксиз тиндиргич.

1 - қобик; 2 - қия тўсиқлар; 3 - бункерлар.

Қия тўсиқли, ярим узлуксиз тиндиргич. Суспензия штуцер орқали қурилмага киритилади ва қия ўрнатилган тўсиқ 2 лар ёрдамида галма-гал юқоридан пастга ва пастдан юқorigа қараб йуналтирилади (3.4-расм).

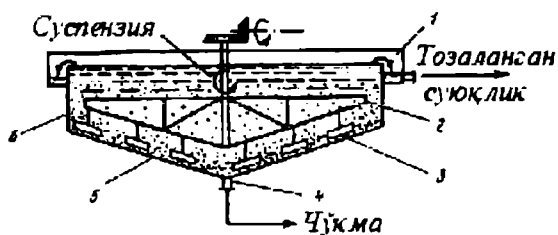
Қия тўсиқлар қурилмада суспензиянинг ҳаракат давомийлиги ва тиндириш юзасини оширади. Ҳосил бўладиган шлам эса, бункер 3 ларда йиғилади ва тўлиб чиққандан сўнг жўмрақлар ёрдамида чиқазиб юборилади.

Тозаланган суюқлик тиндиргичнинг тепа қисмида ўрнатилган штуцер орқали чиқарилади.

Кимё ва озиқ - овқат саноатларида узлуксиз ишлайдиган тиндиргичлар кенг қўламда қўлланилмоқда.

Эшкак аралаштиргичли, узлуксиз ишлайдиган тиндиргич. Одатда бундай турдаги тиндиргич конуссимон туб 5 ва цилиндрик қобик 6 дан, ҳамда қурилманинг тепа қисмидаги ҳалқасимон тарнов 1 дан таркиб топган бўлади (3.5-расм). Чиқариш люки 4 га чўкмани узатиш учун қия парракли аралаштиргич 2 да бир неча эшкаклар ўрнатилган бўлади. Аралаштиргич 0,02...0,5

мин⁻¹ частота билан айланади. Труба ёрдамида суспензия цилиндрик қобик ўртасига узлуксиз равишда узатилади. Тозаланган суюқлик ҳалқасимон тарновга куйилади ва сўнг тиндиргичдан чиқарилади. Ҳосил бўлган шлам диафрагмали насос ёрдамида қурилманинг пастки қисмидан сўриб олинади. Агар, шлам таркибидаги дисперс фаза қимматли ёки келгуси технологик жараёнлар учун яроқли бўлса, у қайта ишланишга юборилади.

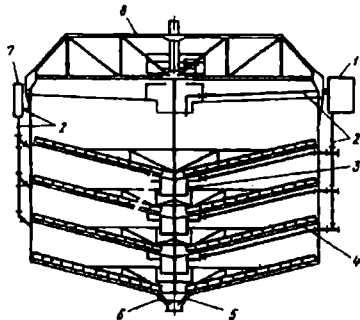


3.5-расм. Эшкак аралаштиргичли узлуксиз ишлайдиган тиндиргич.

1 - ҳалқасимон тарнов; 2 - аралаштиргич; 3 - эшкак; 4 - люк; 5 - конуссимон туб; 6 - цилиндрик қобик

Бу турдаги тиндиргичларда зичлиги бир текисда бўлган чўкмаларга ва уни самарали сувсизлантиришга эришса бўлади. Эшкакли тиндиргичлар камчилиги, бу уларнинг қўполлигидир.

Кўп қаватли тиндиргич. Бундай қурилмалар узлуксиз ишлайди ва бири бири устига ўрнатилган бир неча эшкакли тиндиргичлардан иборат (3.6-расм). Ҳар бир қаватлар орасида конуссимон тўсиқлар жойлаштирилган. Бу тўсиқлар туфайли тиндиргич юзаси анчага кўпаяди ва натижада қурилма ихчамроқ бўлади.



3.6-расм. Кўп қаватли тиндиргич.

1 - тақсимловчи мослама;
2 - трубалар; 3 - стакан;
4 - эшкакли аралаштиргич;
5 - тўкиш конуси; 6 - қирғич;
7 - коллектор; 8 - ром.

дан чиқарилади.

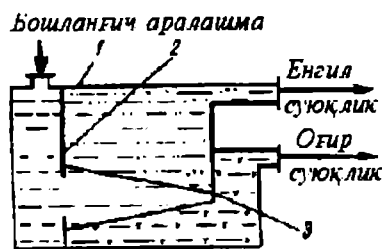
Эмульсияларни узлуксиз ажратиш тиндиргичи бир неча қисмдан иборат (3.7-расм). Эмульсия қурилманинг чап қисмига берилади ва у ердан ўрта сепарацион камерага узатилади.

Чап тўсиқ 2 аралашма сатҳи баландлигини ростлаш имконини беради. Сепарацион қисмда бошланғич аралашма оғирлик куч таъсирида фазаларга ажрайди. Енгил фаза тепага кўтарилади ва тиндиргичнинг юқорисидаги штуцердан оқиб чиқади. Оғир фаза эса, ўнг тўсиқ 3 остидан ўтиб пастга тушади ва қурилма тубидаги штуцердан оқиб чиқади.

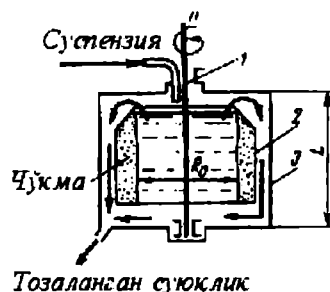
Чўктирувчи центрифуга. Бу турдаги қурилмалар ротори яхлит металдан тайёрланади (3.8-расм). Уларнинг ишлаш принципи худди тиндиргичларники-

Тиндиргич умумий ўқга эга бўлиб, унга аралаштирувчи эшкаклар жойлаштирилади. Суспензия эса тақсимловчи мосламадан трубалар орқали ҳар бир қават стаканга узатилади. Тозаланган суюқлик ҳалқасимон тарновлардан ўтиб, коллекторда йиғилади. Ҳар бир ярус шламни чиқариб юбориш стаканлари билан уланган. Юқорида жойлашган ҳар бир қават стаканининг пастки учи қуйи қават шламини ичига кириб туради. Шундай қилиб, тиндиргичнинг қаватлари шлам бўйича кетма-кет уланган. Ҳосил бўлаётган шлам фақат энг пастки қаватнинг ичида қирғич ўрнатилган тўкиш конуси-

га ўхшашидир. Бошланғич аралашма қурилма роторига труба орқали узатилади. Ротор 2 нинг айланиши натижасида марказдан қочма куч таъсирида зичлиги юқори бўлган заррачалар роторнинг ички юзасига тўпланади, зичлиги камроғи эса, айланиш ўқиға яқинроқ жойда йиғилади. Тозаланган суяқлик, яъни фугат, қобиқ 3 даги штуцер орқали ташқарига чиқарилади. Ротор деворида ҳосил бўлган чўкма эса, жараён тугагандан сўнг тўкилади.



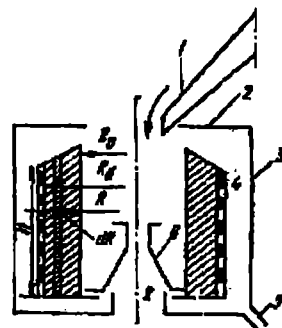
3.7-расм. Эмульсияларни узлуксиз ажратиш учун тиндирғич.
1 - қобиқ; 2 - чап тўсиқ;
3 - ўнг тўсиқ.



3.8-расм. Чўктирувчи центрифуга.
1 - ўқ; 2 - ротор; 3 - қобиқ.

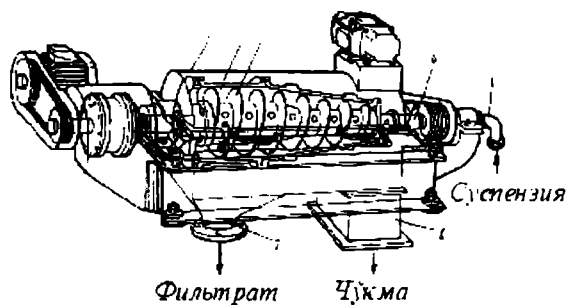
Фильтрловчи центрифуга. Ушбу центрифуга қобиқ 3 ичида ўрнатилган айланувчи ротор 4 дан ташкил топган. Ротор девори тешик, тўрсимон бўлиб, унинг ички юзаси фильтрловчи материал билан қопланган (3.9-расм).

Ротор электр юриткич ёрдамида айлантирилади. Айланма ҳаракат туфайли ротор 4 ичидаги суяқликка марказдан қочма куч таъсир қила бошлайди. Натижада гидростатик босим ҳосил бўлади ва у жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи деб аталади. Ушбу куч таъсирида аралашма фильтрловчи материал ва ротор деворида ҳосил бўлган чўкма қатламидан ўтиб тозланади. Бундай центрифугаларда жараён уч босқичда ўтади: а) чўкма ҳосил қилиш ва филтрлаш; б) чўкма қатламининг зичланиши; в) чўкмадан суяқ фазани ажратиш. Жараёнда ҳосил бўлган фугат штуцер 5 дан ташқарига чиқарилади. Жараён тамомлангандан сўнг, чўкма сув билан ювилади. Ҳамма босқичлар тугагандан кейин центрифуга тўхтатилади, сўнг эса конус 6 тепага кўтарилади ва чўкма тўкилади.



3.9-расм. Фильтрловчи центрифуга.
1 - суспензия бериш труба; 2 - чўкма туширадиган тешик;
3 - қобиқ; 4 - ротор; 5 - фугат чиқариш штуцери; 6 - конус.

Узлуксиз ишлайдиган, чўкmani шнекда тўкувчи горизонтал чўктирувчи центрифуга (НОГШ). Ушбу қурилма ротор 2 ва қобиқ 1 да ўрнатилган шнекли мослама 3 лардан таркиб топган (3.10-расм). Суспензия марказий труба 5 орқали ғовак ўқ 4 га узатилади. Ушбу трубадан чиқишда суспензия марказдан қочма куч таъсирида ротор бўшлиғида тақсимланади. Қобиқдаги ғовак цапфаларда ротор 2 айланиб туради. Шнек эса, ротор ичидаги цапфаларда айланади. Марказдан қочма куч таъсирида қаттиқ заррачалар ротор деворига қараб ҳаракат қилади, суяқлик эса ички ҳалқа ҳосил қилади. Бу суяқлик ҳалқасининг қалинлиги ротор ён томонидаги тўкиш тешикларининг жойла-



3.10-рasm. Узлуксиз ишлайдиган, чўкмани шнекда тўкувчи горизонтал чўктирувчи центрифуга.

1 қобик; 2 - ротор; 3 - шнекли мослама; 4 - ғовак ўқ; 5 - марказий труба; 6 - чўкма камера-си; 7 - фугат чиқариш патруб-каси.

ладан топилади:

$$V = \frac{3,5 D_T^2 L_T (\rho_3 - \rho) d^2 n^2}{\mu} \quad (3.37)$$

бу ерда; D_T , L_T - тўкиш цилиндрининг диаметри ва узунлиги, м; ρ_3 , ρ - заррача ва муҳит зичликлари, кг/м³; d - заррачанинг энг кичик диаметри м; n - роторнинг айланиш частотаси, мин⁻¹; μ - динамик қовушоқлик коэффициент, Па·с.

Чўктирувчи центрифугалар иш унумдорлиги эса ушбу формуладан ҳисобланади:

$$V = \eta F w_k \quad (3.38)$$

бу ерда: η - пропорционаллик коэффициент; $F = 2\pi R_0 L$ - ротордаги суспензия кўзгуси майдонининг юзаси (бу ерда R_0 - суспензия ҳалқасимон қатламининг ички радиуси, м; L - ротор узунлиги, м) м²; $w_k = w_{чж} \cdot K$ - марказдан қочма куч таъсиридаги чўкиш тезлиги, м/с (бу ерда $w_{чж}$ - оғирлик кучи таъсирида чўкиш тезлиги, м/с; K - ажратиш коэффициент).

(3.38) тенглама ёрдамида чўкмани пичоқ билан кесиб оладиган чўктирувчи центрифуга иш унумдорлигини ҳисоблаш формуласини келтириб чиқариш мумкин:

$$V = 25,3 \cdot \eta L n^2 R_0^2 w_{чж} k \quad (3.39)$$

бу ерда: k - суспензия ўзатиш вақтининг центрифуга умумий ишлаш вақтига нисбати.

Тарелкали сепаратор. Бу турдаги қурилмалар қобик 1 ичида жойлашган ротор ва тарелкалар дастаси 8 лардан таркиб топган (3.11-рasm).

Сепараторга суспензия берилиши ташқи ҳалқасимон труба орқали амалга оширилади (3.11б-рasm). Суспензия кўп тешикли тарелка остига узатилади ва марказдан қочма куч таъсирида қисман ажратилади. Ундан сўнг, суспензия 2 юқорида жойлашган тарелкалар орасига кўтарилади. Тарелкалар дастаси заррачалар эркин чўкиш масофасини камайтириш ҳисобига сепарация жараёнининг самарадорлигини оширади. Агар, ажратиб олинган заррачалар

шиши билан аниқланади. Ротор бўйлаб чўкма ҳаракат қилганда йўл - йўлакай зичланиб боради. Технологик зарурият бўлса, чўкма ювилиши ҳам мумкин.

Фугат эса, тўкиш тешиклар орқали фугат камера-сига йиғилади ва патрубк 7 дан ташқарига чиқарилади.

НОГШ типдаги центрифуга катта иш унумдорликка эга ва юқори концен-трацияли майин, дисперс суспензияларни ажратиш учун қўлланилади. Бундай центрифугаларнинг суспензия бўйича иш унумдорлиги ушбу форму-

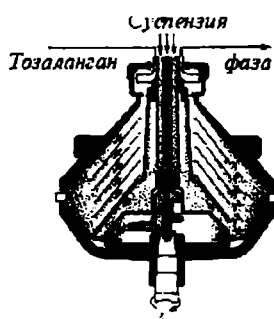
тарелканинг пастки юзасига етиб келган бўлса, унда улар бутун аралашмадан ажратиб олинган деб ҳисобласа бўлади.



3.11-расм. Тарелкали сепаратор.

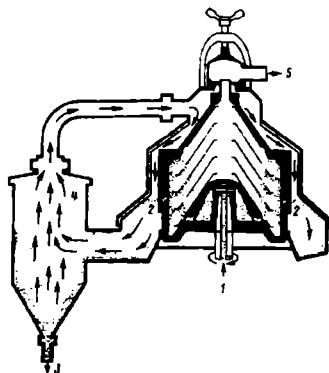
а - умумий кўриниш; б - тарелкалар ишлаш схемаси.

1-қобик; 2-ички сопло; 3-узатма; 4-ром; 5-ишчи валининг алмашилиш втулкаси; 6-ростловчи труба; 7-ювиш системаси клапани; 8-тарелкалар дастаси.



Чўкган заррачалар ички соплолардан ҳалқасимон трубага ўтади ва сепаратордан чиқариб юборилади. Тозаланган суюқлик четдаги трубадан чиқарилади.

Соплоли сепараторларнинг бир тури бўлиб **бактофуга** ҳисобланади (3.12-расм). Бактофуга герметик, юқори тезликда айланувчи соплоли сепаратор бўлиб, аралашмаларни тозалаш учун мўлжалланган. Ушбу сепаратор таркибида совитиш ғилофи ва концентратни деаэрация қилиш циклони ҳам бўлади.



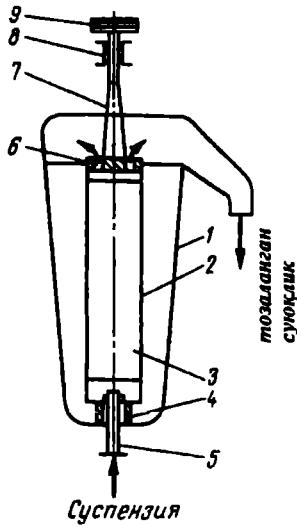
3.12-расм. Бактофуга схемаси.

1 - ғовак ўқ орқали бошланғич суюқлик кириши; 2 - сопло орқали концентрат чиқиши; 3 - циклондан деаэрация қилинган концентрат чиқиши учун штуцер; 4 - циклонда циркуляция қилинган ҳаво оқими; 5 - бактофугада тозаланган суюқлик чиқиш штуцери.

Бактофугалар афзалликлари: юқори ажратиш коэффициенти; концентрат қаттиқ заррачалари узлуксиз равишда тўкилиб туради; технологик ва тозаланган суюқликлар кириши ва чиқишининг герметиклиги, сепарация жараёнида унинг совитилиши; ифлосланган ҳаво сирқиб кетиш олдини оловчи мослама борлиги.

Ҳосил бўлаётган чўкмани узлуксиз тўкиб туриш учун четда жойлашган 2 та сопло мўлжалланган. Технологик суюқлик ғовак ўқ 1 нинг пастки қисмига юборилади ва марказдан қочма куч таъсирида ҳамма тарелкаларга бир хилда тақсимланади. Оғир фаза узлуксиз равишда озгина миқдордаги суюқ фаза билан сопло орқали чиқарилади. Тозаланган суюқликнинг асосий

қисми штуцер 5 орқали чиқарилади. Соплудан чиқаётган нам концентрат центрифуга қопқоғида йиғилади, сўнг эса деаэрация учун циклонга юборилади.



3.13-расм. Ўта самарали центрифуга.

1 - қобик; 2 - ротор; 3 - паррак;
4 - поднятник; 5 - труба; 6 - то-
заланган суюқлик чиқиш теши-
ги; 7 - шпиндель; 8 - таянч;
9 - шкив.

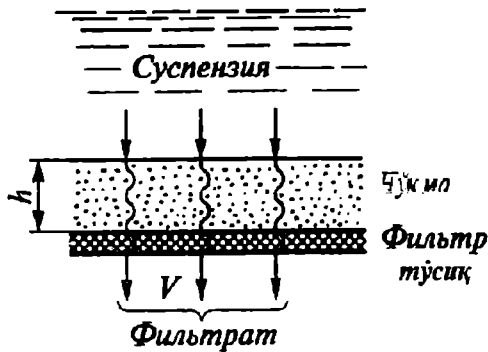
Тайёр концентрат циклоннинг шутиери 5 дан тўкилади. Ифлосланган ҳаво циклон ва барабан қопқоғи орқали циркуляция қилади. Бундай бак тофуталар сут таркибидаги бактерияларни тозалаш (99% гача), фармацевтика соҳасида чўкиб қолган оқсиллар (гамма – глобулин) ва турли ферментларни ажратиб олиш учун қўлланилади.

Ўта самарали центрифуга роторининг кичик диаметри $d < 200$ мм бўлиб, катта тезликда (< 4500 мин⁻¹) айланади. Бу қурилмаларнинг ажратиш коэффициенти 15000 га тенг (3.13-расм).

Бу турдаги центрифугаларда жуда майин дисперс суспензия ва эмульсия (ёғсизлан тирилган сут) лар ажра тилади.

3.9. Умумий тушунчалар

Турли жинсли системаларни ғовак фильтр тўсиқлар ёрдамида фазаларга ажратиш жараёнига **фильтрлаш** дейилади. Фильтр тўсиқлар аралашманинг қаттиқ (дисперс) фазасини ушлаб қолади, суюқ (дисперсион) фазасини ўтказиб юбориш қобилиятига эга. Фильтр тўсиқлар ёки бундан буён фильтрлар сифатида ғовакли материаллар қўлланилади (масалан, тўр пардалар, картон, газламалар, сочилувчан материаллар, шағал, қум, ғовак полимер материаллар, керамика, металлокерамика ва бошқалар).



Фильтр тўсиқ ва чўкма қатлами орқали суюқликнинг ўтиш схемаси.

Фильтрлаш жараёни босимлар фарқи ёки марказдан қочма кучлар майдони таъсирида амалга оширилади.

Фильтрлаш интенсивлиги суспензия сифати, яъни дисперс фаза чўкмаси қаршилигининг миқдорига, картон, шилимшиқ ва коллоид моддалар бор-йўқлигига боғлиқдир.

Турли жинсли системаларни ажратиш пайтида фильтр конструкцияси ёки фильтрловчи центрифуга, фильтр тўсиқ ва фильтрлаш режимларини танлаш зарурати туғилади.

рати туғилади.

Кимё, озиқ - овқат ва бошқа саноатларда чўкма ҳосил қилиш йўли билан фильтрлаш кенг тарқалган.

Масалан, шакарпазликда фильтрлаш қиёмларни тозалаш, чўкмани сатурацион шарбатдан ажратиш учун қўлланилади. Пиво пиширишда эса, ушбу жараён суслодан **қаттиқ фазани** ажратиш ва тайёр маҳсулотни тиндириш учун ишлатилади. Ундан ташқари, винопазлик, ликер — ароқ ва шарбатлар ишлаб чиқариш саноатларида фильтрлаш жараёнидан кенг миқёсда фойдаланилади.

Кимё, нон пишириш, тегирмон ва спирт саноатларида газларни тозалаш учун фильтрлаш жараёни ишлатилади.

Фильтрлаш жараёнида сиқилувчи ва сиқилмайдиган чўкмалар ҳосил бўлади. Сиқилувчи чўкма заррачалари босим ортиши билан қатлам деформацияга учрайди ва унинг ўлчами камаяди. Сиқилмайдиган чўкмада босим кўпайиши билан қатлам шакли ва ўлчами узгармайди.

Амалда фильтрлашдан кейин қуйидаги қўшимча жараёнлар қўлланилади:

- а) чўкмани ювиш;
- б) чўкмани ҳаво ёки инерт газлар оқими билан тозалаш;
- в) чўкмани қуриштиш;

Фильтрлаш жараёнининг унумдорлиги ва олинган фильтратнинг тозаллиги фильтр тўсиқлар хусусиятларига боғлиқ. Фильтр тўсиқлар ғовак, тешиклари катта ва гидравлик қаршилиги кичик бўлиши керак. Фильтр тўсиқлар тузилишига қараб эгилувчан ва эгилмас бўлади.

Фильтр тўсиқлар тепа ва остки қисмидаги босимларнинг фарқи фильтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи деб ҳисобланади.

Ҳаракатлантирувчи кучлар турига қараб филтрлаш жараёни икки гуруҳга бўлинади: а) босимлар фарқи таъсирида ажратиш (филтрлаш); б) марказдан қочма куч таъсирида ажратиш (центрифугалаш).

3.10. Филтрлаш турлари

Турли жинсли системаларни ажратиш пайтида филтр тўсиқ тури ва суспензия хоссаларига қараб, филтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиш, филтр ковакларини тўлдириш ва ҳам биринчи, ҳам иккинчи ҳодисалар биргаликда келган (оралиқ) ҳолатларда филтрлаш жараёни содир бўлиши мумкин.

Филтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиб филтрлаш жараёни қаттиқ жисм заррачаларининг диаметри d_2 , ковак диаметри d дан катта бўлганда рўй беради (3.14а-расм).

Бу усул суспензия таркибидаги қаттиқ фаза концентрацияси 1% (масс) дан ортиқ бўлганда қўлланилади, чунки бунда филтр тўсиқ ковагига кириш жойида гумбазчалар ҳосил бўлиши учун қулай шароитлар яратилади. Гумбазчалар ҳосил бўлиши, чўкиш тезлиги ва суспензия концентрациясининг ортишига имконият туғдиради.

Ковакларни тўлдириш усулида филтрлаш (3.14б-расм) филтр тўсиқ ковакларига қаттиқ заррачалар кириб тўлдирганда рўй беради. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, филтрлаш жараёнининг бошланғич давридаёқ, қаттиқ заррачалар тўсиқ ковакларини тўлдириб бошлайди. Бу ҳодиса, албатта филтр қурилмалар иш унумдорлигини пасайтиради. Жараёни керакли даражада ушлаб туриш учун филтр тўсиқни биринчи ҳолатини тиклаш, яъни филтрлашга яроқли қилиш керак. Бунинг учун тўсиқлар суюқлик оқими билан ювилади ёки тўсиқ металлдан ясалган бўлса, қиздириб куйдирилади.



3.14-расм. Филтрлаш схемаси.

- 1 - чўкма ҳосил қилиб филтрлаш;
- 2 - тўсиқ ковакларини тўлдириб филтрлаш.

Оралиқ филтрлаш усули бир вақтнинг ўзида ҳам филтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиш, ҳам ковакларни тўлдириб, филтрлаш усуллари рўй берганда амалга ошади.

Ушбу усулда кичик концентрацияли суспензияларни филтрлаш жараёни тезлигини ошириш учун қўшимча моддалар иштирокида олиб борилади. Жараёндан аввал филтр тўсиқ юзаси қўшимча модда билан қопланади. Қўшимча моддалардан қилинган қоплама тўсиқ ковакларини тўлиб қолишдан сақлайди. Қўшимча моддалар сифатида ўта майин кўмир, перлит, асбест, кизельгур, фиброфло, асканит ва бошқа материаллар қўлланилиши мумкин.

Хулоса қилиб айтганда, филтрлаш жараёни интенсивлиги ва филтр қурилманинг иш унумдорлиги филтрлаш тезлигига боғлиқдир.

3.11. Фильтрлаш жараёнининг назарий асослари

Фильтр тўсиқнинг пастки ва тепа қисмларидаги босимлар фарқига ёки марказдан қочма кучга фильтрлаш жараёнини ҳаракатга келтирувчи кучи деб айтилади.

Босимлар фарқини турли усуллар: фильтр тўсиқнинг тепа бўшлиғида ортиқча босим барпо этиш ёки пастки қисмини вакуум трубага улаш йўли билан ҳосил қилиш мумкин. Бундай ҳолатларда фильтрлаш ўзгармас босимлар фарқида боради ва жараён тезлиги босимлар фарқига тўғри ва чўкма қатлами қаршилигига тескари пропорционалдир.

Фильтрлаш жараёни эса қуйидаги кинетик тенглама билан ифодаланади:

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_q + R_{\phi m})} \quad (3.40)$$

бу ерда V - фильтрат ҳажми, м^3 ; F - фильтрлаш юзаси, м^2 ; τ - фильтрлаш вақти, с; Δp - босимлар фарқи, Н/м^2 ; μ - динамик қовушоқлик, $\text{Па}\cdot\text{с}$; R_q , $R_{\phi m}$ - чўкма ва фильтр тўсиқлар қаршилиги, м^{-1} .

1 м^3 фильтрат олинганда x_q (м^3) миқдорда чўкма ҳосил бўлади деб қабул қиламиз. Унда,

$$x_q \cdot V = h_q F \quad (3.41)$$

бу ерда h_q - чўкма қатлами баландлиги, м.

Бу формуладан:

$$h_q = \frac{x_q \cdot V}{F}$$

Чўкма қатламининг қаршилиги унинг баландлигига пропорционал деб фараз қиламиз.

$$R_0 = r_0 h_0 = \frac{r_0 x_0 V}{F} \quad (3.42)$$

бу ерда r_0 - чўкманинг солиштира қаршилиги, м^{-2} .

Агар (3.42) ни (3.40) га қўйсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot \left(\frac{r_q x_q V}{F} + R_{\phi m} \right)} \quad (3.43)$$

(3.43) тенглик фильтрлаш жараёнининг асосий тенгламаси деб аталади.

Фильтр тўсиқ қаршилиги ҳисобга олинмаса, қуйидаги тенглама ҳолатига келамиз

$$r_q = \frac{\Delta p}{\mu h_q \cdot w} \quad (3.44)$$

бу ерда w - фильтрлаш тезлиги.

Фильтрлаш жараёнининг бошланғич фурсати учун, яъни $V = 0$ да, $R_{\phi m} = \Delta p / (\mu w)$.

$\Delta p = \text{const}$ бўлган ҳолат учун (3.43) тенгламани интегралласак ($0 - V$ ва $0 - \tau$ ораликда), ушбу тенглама келиб чиқади:

$$V^2 + 2 \frac{R_{\phi m}}{r_0 x_0} \cdot V = 2 \frac{\Delta p F^2}{\mu r_q x_q} \cdot \tau \quad (3.45)$$

Олинган ушбу тенглама сиқиладиган ва сиқилмайдиган чўкмалар учун қўлласса бўлади ва у фильтрат ҳажми ортиши билан фильтрлаш тезлиги камайишини кўрсатади.

(3.45) тенгламани фильтрлаш вақти τ га нисбатан ечсак, ушбу ифодага эришилади:

$$\tau = \frac{\mu x_q r_q}{2 \Delta p} \left(\frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{\phi m} \cdot V}{\Delta p \cdot F} \quad (3.46)$$

ёки (3.41) ни ҳисобга олсак

$$\tau = \frac{\mu r_q}{2 \Delta p x_q} h_q^2 + \frac{R_{\phi m}}{\Delta p x_q} h_q \quad (3.47)$$

Шундай қилиб, фильтрлаш вақти олинган фильтрат ҳажми квадратига тўғри пропорционалдир.

Охирги тенгламани фильтрниинг солиштирма иш унумдорлиги ($V_f = V/F$) га нисбатан ечсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$V_f = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\mu x_q r_q} \tau + \left(\frac{R_{\phi m}}{\mu x_q r_q} \right)^2} - \frac{R_{\phi m}}{\mu x_q r_q} \quad (3.48)$$

Ўзгармас тезлик $w = \text{const}$ ҳолат учун (3.43) дан ушбу тенгламани оламиз:

$$V^2 \mu x_q r_q + R_{\phi m} V F \mu = \Delta F^2 \tau \quad (3.49)$$

ёки

$$V^2 + \frac{R_{\phi m} \cdot F}{r_q x_q} V = \frac{\Delta p F^2}{\mu r_q x_q} \tau$$

бу тенгламадан:

$$\Delta p = \mu x_q r_q \left(\frac{V}{F} \right)^2 \frac{1}{\tau} + \mu R_{\phi m} \left(\frac{V}{F} \right) \frac{1}{\tau} \quad (3.50)$$

ёки

$$\Delta p = \mu x_q r_q w^2 + \mu R_{\phi m} w$$

Шундай қилиб, фильтрлаш вақти ортиши билан босимлар фарқи кўпаяди:

$$\tau = \frac{\mu x_q r_q}{\Delta p} \left(\frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{\phi m}}{\Delta p} \frac{V}{F} \quad (3.51)$$

яъни олинган фильтрат ҳажми квадратига тўғри пропорционал.

Фильтрнинг солиштирма иш унумдорлиги ($\text{м}^3/\text{м}^2$):

$$V_f = \sqrt{\frac{\Delta p}{\mu \alpha_q r_q} \tau + \left(\frac{R_{\phi m}}{2 \mu \alpha_q r_q} \right)^2} - \frac{R_{\phi m}}{2 \mu \alpha_q r_q} \quad (3.52)$$

Амалда чўкма ҳажмининг фильтрат ҳажмига нисбати x_q , чўкма қатламининг солиштирма ҳажмий қаршилиги r_q ва фильтр тўсиқ қаршиликлари тажриба йўли билан аниқланади.

Агар, $F = 1 \text{ м}^2$ бўлган ҳол учун (3.45) тенгламани ушбу кўринишда ёзиш мумкин:

$$V^2 + 2CFV = 2KF^2\tau \quad (3.53)$$

бу ерда C - фильтр тўсиқ гидравлик қаршилигини характерловчи филтрлаш константаси, $\text{м}^3/\text{м}^2$; K - филтрлаш режими ва суюқликдаги чўкманинг физик-кимевий хоссаларини ҳисобга олувчи филтрлаш константаси, $\text{м}^2/\text{с}$.

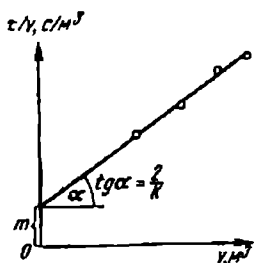
$$C = \frac{R_{\phi m}}{r_q x_q} \quad (3.54)$$

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu \alpha_q x_q} \quad (3.55)$$

Агар, (3.53) тенгламага ўзгартириш киритсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{\tau}{V} = \frac{2V}{K} + \frac{2C}{K} \quad (3.56)$$

Кўриниб турибдики, (3.56) тенглик абсциссага α қия бурчак остида жойлашган тўғри чизик тенгламаси. Ушбу бурчак тангенс $\text{tg } \alpha = 2/K$ тенг ва у ордината ўқида $m = 2C/K$ кесмани ажратади (3.15-расм).



3.15-расм. Филтрлаш константасини аниқлашга доир.

Ушбу тўғри чизикни қуриш учун абсцисса ўқида ўлчанган $V_1, V_2, \dots, V_n$ қийматлари, ордината ўқида эса $\tau_1/V_1, \tau_2/V_2, \dots, \tau_n/V_n$ ларнинг тегишли қийматлари қўйилади.

Сўнг, аниқланган K ва C қийматлар ёрдамида (3.54) ва (3.55) тенгламалардан r_q ва $R_{\phi m}$ лар топилади. Чўкма ва фильтрат ҳажмларини ўлчаш натижасида эса - x_q қиймати топилади.

3.12. Филтрлар

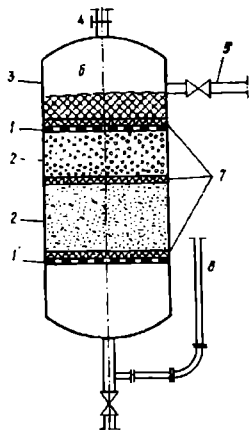
Ишлаш принципига қараб, филтрлар қуйидагиларга бўлинади: ўзгармас босимлар фарқи ёки ўзгармас филтрлаш тезлигида ишлайдиган филтрлар; филтр тўсиқда ҳосил қиладиган босимлар фарқига қараб, вакуум ёки ортиқча босим остида ишлайдиган қурилмалар; жараёни ташкил этишга қараб, узлукли ёки узлуксиз ишлайдиган қурилмалар.

Босим остида ишлайдиган қурилма бир неча турга, яъни гидростатик босим, насос ёки компрессор ёрдамида ҳосил қилинган, вакуум ва марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босимларда ишлайдиган филтрларга бўлинади.

Технологик мақсадларга қараб, қурилмалар икки турга бўлинади: а) суюқликларни тозалаш филтрлари; б) газларни тозалаш филтрлари.

Филтр тўсиқларнинг турига қараб, донасимон материаллар, турли газламалар ва қаттиқ материаллар (керамика, тўр) ёрдамида турли жинсли системаларни тозалайдиган **филтрларга** бўлинади.

Қумли филтр. Бу қурилма донасимон материалли филтрлар гуруҳига оид (3.16-расм).



3.16-расм. Қумли филтр.

- 1 - турли дисклар; 2 - қум;
3 - қобиқ; 4 - ҳаво жўмраги;
5 - суспензия кириш труба-
си; 6 - пахта; 7 - филтрлов-
чи тўқима; 8 - филтратни
чиқариш труба.

чиқарилади.

Филтрлаш тезлиги 250...750 кг/(м²·соат).

Ушбу филтр тузилиши содда, филтрлаш сифати эса — юқори.

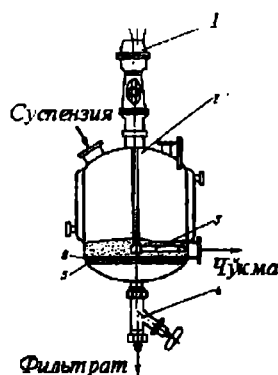
Лекин, ҳажм бирлигида филтрловчи юза кам ва жараён тезлиги паст бўлгани учун, филтрнинг иш унумдорлиги жуда кичик. Ундан ташқари, филтр қумни алмаштириш қийин ва кўп вақт талаб қилади.

Нутч - филтр вакуум ёки ортиқча босим остида ишлаши мумкин (3.17-расм). Чўкмани чиқариб ташлаш учун филтрга бир парракли аралаштиргич ўрнатилган.

Суспензия ва сиқилган ҳаво алоҳида штуцерлар орқали узатилади. Олинган филтрат эса, тўкиш жумра-

Бу турдаги филтрлар суспензия таркибида қаттиқ фаза миқдори кам бўлган ҳолларда, яъни озиқ-овқат саноатида сувни филтрлаш ва ликер-ароқ корхоналарида кенг қўламда ишлатилади.

Филтрнинг цилиндрик қобиғида иккита тўрли диск бўлиб, улар қурилмани 3 қисмга ажратади: юқори суспензия оқиб килувчи, ўрта филтрловчи ва қуйи йиғувчи. Иккала диск орасида филтрловчи қум қатлами жойлашган бўлиб, у йирик ва майда фракциялардан иборат бўлади. Фракциялар филтр тўқима билан ажратилган. Юқори ва қуйи дисклар ҳам филтр тўқима билан қопланган бўлади. Филтрланувчи суюқлик 0,02...0,03 МПа босимда қурилма тепасидан юборилади, филтрат эса пастки қисмдан



3.17-расм. Аралаштиргичли

нутч - филтр.

- 1-узатма; 2-филтр қобиғи;
3-аралаштиргич; 4-тўкиш
жўмраги; 5-филтр тўсиқ;
6-филтрловчи тўқима.

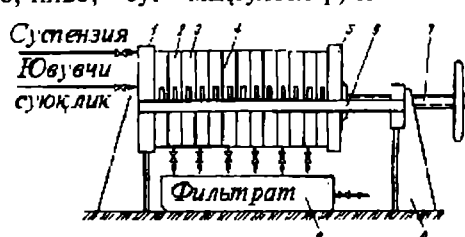
ги 4 орқали чиқарилади. Ундан ташқари, фильтрға сақловчи жўмрак ҳам ўрнатилган.

Фильтрнинг иш цикли қуйидаги босқичлардан иборат: суспензия билан тўлдириш; босим остида фильтрлаш; фильтр тўсиқдан чўкмани тушириш; фильтр тўсиқни қайта тиклаш. Бундай фильтрларда чўкмани ювиш жараёни ҳам бир вақтда ўтказса бўлади.

Суспензияларни фильтрлаш пайтида фильтр тўсиқ сифатида картон, бельтинг ва синтетик толаларни қўллаш мумкин. Синтетик толаларнинг афзаллиги шундаки, улар юқори механик мустақамлик, термик ва кимёвий чидамлилика эга. Синтетик толалардан, зичлиги аста секин ўзгарадиган, фильтр тўсиқлар тайёрлаш мумкин.

Бундай фильтр қаттиқ фаза миқдори кам бўлган суспензияларни фильтрлашда жуда қўл келади, чунки заррачалар унинг бутун баландлиги бўйлаб чўкади. Фильтрнинг ташқи қатламида йирик, ички қатламларида эса майда заррачалар ушланиб қолади. Бундай селектив фильтрлаш жараён тезлиги юқори бўлиши, ковакчалар юзасини тўлиб қолиш олдини олади ва фильтрнинг хизмат муддатини узайтиради.

Ромли фильтр - пресс. Бундай фильтрлар суспензиялар (масалан: вино, пиво, сут маҳсулотлар) ни тозалаш учун қўлланилади (3.18-расм).



3.18-расм. Ромли фильтр-пресс.

- 1 - таянч плита, 2 - ром;
- 3 - плита; 4 - фильтр тўсиқ;
- 5 - ҳаракатчан плита;
- 6 - горизонтал йўналтирувчи;
- 7 - винт; 8 - станина;
- 9 - тарнов.

Фильтрловчи блок орасида фильтр тўқима ёки картон жойлашган алмашувчи ром ва плиталардан ташкил топган. Ром ва плиталар йўналтирувчи 6 да сиқувчи винт 7 ёрдамида қисиб қўйилади. Одатда фильтр металл станина 8 да ўрнатилади.

Ҳар бир ром ва плитада суспензияни киритиш ва ювиш суюқлигини чиқариш каналлари бор (3.19-расм).

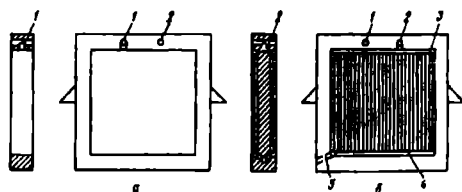
Плиталарнинг иккала томонида йиғувчи каналлар 4 бўлиб, юқори қисм дренаж ва пастки

қисми эса, айланма каналлар билан уланган.

Суспензия босим остида канал орқали ромнинг ичкарасига фильтр материалдан ўтади (3.20 а-расм), кейин эса юзасидаги каналчалар орқали пастга тушади.

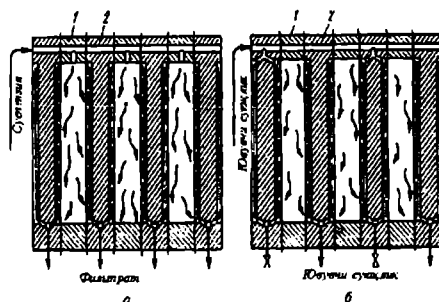
Фильтрат плитанинг пастки қисмида жойлашган каналча орқали чиқиб, умумий тарновга тушади. Ромнинг иккала томони чўкма билан тўлганда, фильтрлаш жараёни тўхтатилади ва тескари йўналишда юқори босимли суюқлик юборилиб, чўкма ювилади ва айланма каналлар орқали чиқарилади. Шундан кейин ювиш учун сув юборилади ва жараён тугагач плита чапга сурилиб, чўкма тўкилади. (3.20 б-расм)

Фильтр - пресснинг иш цикли ушбу жараёнлардан иборат: ишга тайёрлаш; фильтрлаш; ювиш; чўкмани тўкиш. Даврий ишлайдиган фильтр қурилмаларда ёрдамчи жараёнларни бажариш учун иш циклининг 30% га яқин вақти сарфланади ва чўкмани тўкиш кўп меҳнат талаб қилади. Бу турдаги фильтрларда фильтр тўқималар сарфи катта ва уларни алмаштириш қийин. Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларда ушбу камчиликлар бартараф этилган, чунки бу фильтрларда фильтрлаш, чўкмани қуриштириш, ювиш, ажратиш жараёнлари бир вақтда содир бўлади.



3.19-рasm. Фильтр-пресс роми (а) ва плитаси (б).

1, 2 - суспензия ва ювиш суюқлиги кириш каналлари; 3 - дренаж канали; 4 - йиғиш канали; 5 - айланма канал.



3.20-рasm. Ромли фильтр-пресс ишлаш схемаси.

а - фильтрлаш;
б - чўкма ювиш;
1 ром; 2-плита.

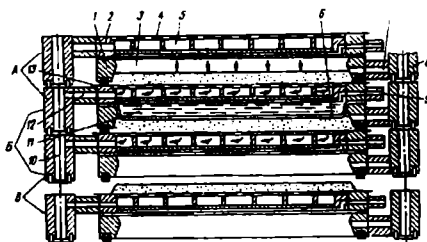
Фильтр - пресс (ФПАКМ). Бундай фильтрда чўкмани тўкиш механизациялашган. Ушбу қурилма камерали, автоматлаштирилган фильтр бўлиб, температураси 80°C , концентрацияси $10...500 \text{ кг/м}^3$ ли майин дисперс суспензияларни ажратиш учун қўлланилади. Бу турдаги фильтр даврий ишлайдиган бўлади.

Кўпинча бу фильтр - прессларда бир - бирига зич жойлашган бир қатор тўртбурчак шаклдаги фильтрлардан иборат (3.21-рasm).

Тўртбурчак фильтрларнинг бундай жойлашиши солиштирма фильтрлаш юзасининг кўпайишига олиб келади.

Агар фильтр *А* ҳолатда бўлса, коллектор 8 дан камерага ажратиш учун суспензия, ювиш учун суюқлик ва чўкмани қисман қуритиш учун сиқилган ҳаволар кетма - кет келади. Сўнг филтрат, ювиш суюқлиги ва ҳаво каналлар 12 орқали коллектор 10 га чиқарилади.

Фильтрнинг *Б* ҳолатида каналлар 9 орқали бўшлиқ 11 га босим остида сув узатилади. Натижада эгилувчан эластик диафрагма *Г* ёрдамида чўкма сиқилади. Ундан кейин, *В* ҳолатда плиталар сурилади ва ҳосил бўлган тирқишлардан чўкма тўкилади.



3.21-рasm. Горизонтал камерали фильтр - пресс (ФПАКМ).

1-пастки плита; 2-тепа плита;
3-суспензия ва чўкма учун бўшлиқ;
4-тешикли диск; 5-филтрат учун бўшлиқ; 6-эгилувчан диафрагма;
7, 9, 12-каналлар; 8-суспензия учун коллектор; 10-филтратни чиқариш коллектори; 11-сув учун бўшлиқ; 13-фильтр тўқима.

Барабанли вакуум - фильтр. Бу турдаги фильтрлар концентрацияси 50 кг/м^3 бўлган суспензияларни узлуксиз равишда ажратиш учун ишлатилади (3.22-рasm). Қаттиқ заррачалар кристалл, толали аморф ва коллоид тузилишга эга бўлиши мумкин. Фильтр иш унумдорлиги қаттиқ заррачалар тузилишига боғлиқ ва юқорида келтирилган кетма - кетликда пасайиб боради.

Фильтрнинг асосий қисми горизонтал барабан бўлиб, у электр юриткич ёрдамида аста - секин айлантирилади. Одатда унинг $0,3...0,4$ қисми суспензияли тоғорага тушиб туради. Тоғора ичида силкиниб турувчи аралаштиргич суспензия таркибини бир хил бўлишини таъминлайди, яъни унинг таркибида-

ги заррачаларни чўкмага тушишига тўсқинлик қилади. Барабан иккита цилиндрдан тузилган бўлади. Ташқи цилиндр элаксимон бўлиб, унинг устига сим тўр тортилган.

Сим тўрнинг усти эса, фильтр тўқима билан қопланган. Барабаннинг фильтрловчи тўсиқларидан филтрат вакуум остида сўриб олинади. Филтрнинг устида суспензиядаги қаттиқ заррачалар чўкма қатламини ҳосил қилади. Бу чўкма пичоқ ёрдамида барабаннинг устки қисмидан узлуксиз равишда кесиб олинади. Барабаннинг ички қисми тўсиқлар ёрдамида алоҳида секторларга бўлинган. Каналлар эса филтрлаш жараёнининг ҳамма цикллари

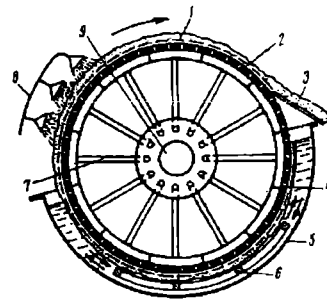
ни бевосита филтър ишлашини бошқарувчи бош тақсимлагич билан бириктирилган. Бош тақсимлагичда иккита диск бўлиб, бири айланма ҳаракат қилса, иккинчиси қўзғалмасдир. Қўзғалмас дискдаги тешиклар трубалар орқали вакуум — насос, ҳамда филтратни ажратиб олувчи ва ювувчи суюқлик билан чўкмани ажратиш ва филтър тўқимани тозалаш учун сиқилган ҳаво берувчи компрессор билан уланган бўлади.

Айланувчи дискнинг ҳар бир тешиги бирин-кетин қўзғалмас дискнинг тешиклари билан уланади. Шунинг учун барабан бир марта айланганида, филтърлаш жараёнининг ҳамма босқичлари бажарилади. Биринчи босқичда барабан секциялари вакуум — насос билан уланади ва филтрат идишга тушади. Кейинги босқичда барабан секциялари ювувчи суюқлик билан уланади ва чўкма ювилади. Охириги босқичда барабан секциялари сиқилган ҳаво трубалари билан уланиб, чўкма қуритилади ва филтърлаш юзаси тозаланadi.

Бу турдаги филтърларнинг ишчи юзаси 5...150 м² бўлади. Камчиликлари:

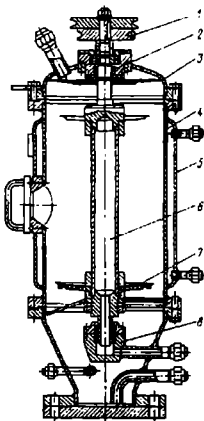
филтърлаш юзаси катта бўлгани учун кўп жой эгаллайди; филтърнинг нархи қиммат бўлади.

Дискли филтър. Бу филтърлар майин дисперс суспензияларни ажратиш учун мўлжалланган бўлиб, қўшимча моддалар ўтиринди қатлами билан босим остида ишлайди. Иситадиган филофли вертикал идиш кўринишига эга бўлган дискли филтърларда ишчи босим — 0,5 МПа, филоф ичидаги босим эса — 0,3 МПа. Филтър ичида ғовак ўқ бўлиб унга металлдан ясалган тешикли диск филтър элемент 7 лар ўрнатилган (3.23-расм). Дисклар, ўз навбатида, полипропилен ёки бошқа филтър тўқима билан қопланиб, ҳалқасимон қисқичлар ёрдамида маҳкамланади.



3.22-расм. Барабанли вакуум — филтър.

1-тешикли барабан; 2-филтър тўқима; 3-чўкмани кесиб турувчи пичоқ; 4-секция; 5-тоғора; 6-аралаштиргич; 7-труба; 8-суюқлик пуркагич; 9-бош тақсимлагич.



3.23-расм. Дискли филтър.

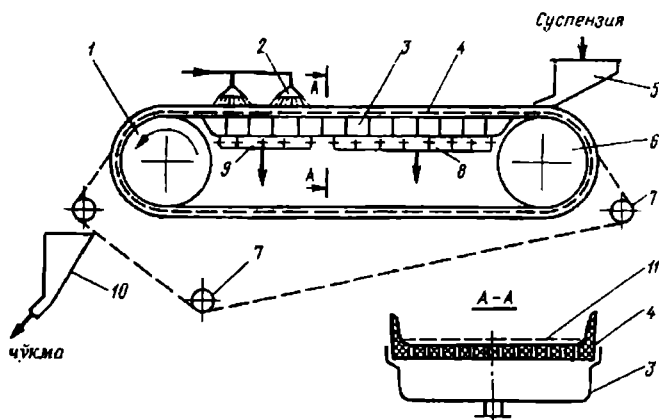
1 - шкив; 2 - сальники қистирма; 3 - қопқоқлар; 4 - филтър қобик; 5 - филоф; 6 - ғовак ўқ; 7 - филтърловчи элемент; 8 - подпятник.

Дискли филтрларда қисман қуритилган чўкми марказдан қочма куч ёрдамида тўқиш имконияти бор. Филтрловчи дисklar ўрнатилган ичи бўш ўқ электр ёки гидравлик юриткич ёрдамида айлантирилади. Ўқнинг айланиш частотаси 250 мин^{-1} бўлиб, тефлон сальник ёрдамида зичланади.

Филтрлашдан аввал суспензиторда қўшимча моддалардан суспензия тайёрланади ва филтрловчи элементларга ўтиринди чўкма ҳосил қилинади. Бунинг учун, филтрловчи элементларда 15...30 мм қалинликда ўтиринди чўкма пайдо бўлмагунча, насос ёрдамида тайёр суспензия узатилади.

Филтрат филтрловчи дисклдан ўтиб, ғовак ўқдаги тешиklar орқали ичи бўш ўқга тушади ва филтрдан суспензиторга чиқарилади. Худди шу йўсинда суспензия филтрланади. Жараён тугагандан сўнг, чўкма ювилади ва ҳаво ёрдамида қисман қурилади.

Лентали филтр. Бу филтр ром, узатувчи 1 ва тарангловчи 6 барабанлардан, ҳамда икки барабан орасига тортилган тешикли, чексиз узунликдаги резина лента 4 дан таркиб топган (3.24-расм).



3.24-расм. Лентали вакуум - филтр.

- 1 - узатувчи барабан; 2 - пуркагич;
- 3 - вакуум-камера; 4 - резина лента;
- 5 - нов; 6 - тарангловчи барабан; 7 - тарангловчи ғилдиракчалар; 8 - филтрат чиқариш коллектори; 9 - ювувчи сувни чиқариш коллектори; 10 - чўкма йиғгич; 11 - филтр тўқима.

Тешикли резина лента остида вакуум камера 3 бўлиб, у пастки қисми билан филтрат 8 ва ювувчи суюқлик чиқариш коллекторлари 9 билан уланган. Ҳосил қилинаётган вакуум ҳисобига лента вакуум — камеранинг тепа қисмига ёпишиб туради.

Филтр тўқима эса, тарангловчи ғилдиракчалар 7 ёрдамида чексиз резина лентага сиқиб қўйилади.

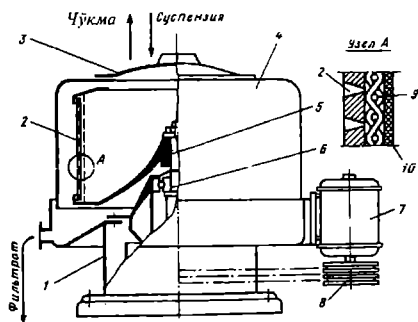
Филтр тўқимага нов 5 дан суспензия узатилади. Филтрат вакуум остида камераларга ва коллектор орқали йиғгичга юборилади. Ҳосил бўлган чўкмага пуркагич 2 дан ювувчи сув берилади ва камераларга сўриб олиниб, сўнг коллектор 9 орқали йиғгич 10 га чиқарилади.

Узатувчи барабанда филтр тўқима резина лентадан ажрайди ва йўналтирувчи ғилдиракчани айланиб ўтади. Шунда, чўкма филтр тўқимадан сирпаниб тушади ва чўкма йиғгичга тўкилади. Филтр тўқима иккита ғилдиракча 7 лар орасидан ўтгунча ювилади, қурилади ва тозаланади.

Фильтрловчи центрифугалар даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлиб, ўқининг жойлашига қараб вертикал ва горизонтал бўлади. Жараён мобайнида ҳосил бўладиган чўкмани тўкишига қараб қўлда тўкадиган, гравитацион, марказдан қочма ва узлукли тўкадиган центрифугаларга бўлинади.

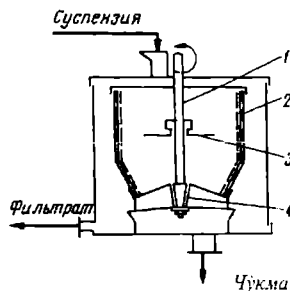
Даврий ишлайдиган фильтрловчи центрифугада суспензия барабан тепасидан юкланади (3.25-расм). Суспензия юклангандан сўнг барабан ҳаракатга келтирилади, яъни айлантириб бошланади. Марказдан қочма куч таъсирида суспензия барабан деворига улоқтирилади. Суyoқ дисперсион фаза филтёр тўсиқ орқали ўтади, чўкма эса унда ушланиб қолади. Филтёрлаш цикли тугаганда сўнг, чўкма қопқoқ 3 орқали қўл ёрдамида олиб ташланади.

Чўкмани ўзи тўкадиган центрифугада чўкма гравитацион куч таъсирида қурилмадан чиқариб юборилади (3.26-расм).



3.25-расм. Даврий ишлайдиган фильтрловчи центрифуга.

- 1 станина; 2 - тешикли барабан;
- 3 қопқoқ; 4 - қoбик; 5 - гупчак;
- 6 подшипник; 7 электр юриткич; 8 - камар узатмали шкив;
- 9 - дренаж; 10 - филтёр тўқима.



3.26-расм. Чўкмани гравитацион куч таъсирида тўкадиган центрифуга.

- 1 ўқ; 2 барабан;
- 3 - тақсимловчи диск;
- 4 - таянч втулка.

Одатда бундай центрифугалар тешикли барабан ўрнатилган вертикал ўқли қилиб ясалади. Барабан кичик частота билан айланганда суспензия юкловчи дисска берилади. Барабаннинг пастки қисми конуссимон шаклда бўлиб, конуслик бурчаги чўкманинг табиий қиялик бурчагидан ортӣқ қилинади. Филтёрлаш цикли тамом бўлганда ва барабан тўлиқ тўхтаганидан сўнг оғирлик кучи таъсирида чўкма барабан деворидан сирпаниб тушади ва қурилма тубидаги штуцер орқали чиқарилади.

Узлуксиз ишлайдиган, марказдан қочма куч таъсирида чўкмани тўкадиган центрифуга конуссимон тешикли барабан ва унинг ичида айланувчи шнеклардан таркиб топган. Шнекнинг айланиш тезлиги барабанникидан озгина кам бўлади. Шнек айланиши даврида унинг ўрамлари барабанда ўтириб қолган чўкмани пастга олиб тушади. Чўкмани тўкиш марказдан қочма куч таъсирида амалга оширилади. Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, марказдан қочма куч таъсирида тўкиш пайтида чўкма майдаланмайди ва яхлитлиги бузилмайди.

3.13. Филтёрлаш жараёнини интенсивлаш

Халқ ҳўжалигида турли саноатлар тайёр маҳсулотининг салмоғи ортиб бориши ва юқори гидравлик қаршилиқка эга чўкмаларнинг тури, миқдорининг кўпайиши, филтёрлар иш унумдорлигини оширишни тақозо этади. Бу муаммони ҳал этиш учун филтёрларнинг филтёрлаш юзаси ва жараён тезлигини ошириш йўллари билан эришиш мақсадга мувофиқдир.

Ҳозирги кунда барабанли вакуум - фильтрларнинг юзаси 140 м², дискларники 300 м², лентали фильтрларники 25 м² гача етказилган.

Суспензиялар ажратишда оптимал шароитларни яратиш учун конструкторив, технологик ва физик - кимёвий усуллардан фойдаланилади.

Конструктив гуруҳ усуллариға қуйидагилар киради: филтрлаш жараёнини автоматлаштириш; реверсив (чўкма қалинлиги кам бўлганда), динамик (чўкма узлуксиз ювилиб туриладиган ҳолларда), турли таркибли (цилиндрик юзаларда эгрилик радиуси кичик чўкма қатламлари ҳосил бўлганда) ва тебранма филтрлаш.

Технологик гуруҳ усуллариға қуйидагилар киради: чўкма қатлами, босимлар фарқи, суспензия концентрацияларининг оптимал қийматларини, ҳамда унинг таркибидаги қаттиқ заррачаларни олдинган майин ва дағал дисперс фракцияларга дастлабки классификациялаш.

Физик кимёвий гуруҳ усуллариға эға қуйидагилар киради: чўкма солиштирма қаршилигини камайтириш мақсадида суспензияға физик - кимёвий таъсир этиш. Ушбу тадбирларни суспензия олиш жараёнида ёки ундан кейин ҳам ўтказиш мумкин.

Биринчи ҳолатда суспензия ҳосил қилишда тегишли шароитларни (температура, концентрация ва бошқалар) амалға ошириш мақсадида қаттиқ заррачалағ ўлчамини катталаштириш, кристаллик заррачалар (аморф заррачалар ўрниға) олиш имконияти ва коллоид, ёпишқоқ аралашма ҳосил бўлиш олдини олиш мумкин. Натижада айрим суспензия чўкмаларининг солиштирма қаршилиги 10 ва ундан ортиқ марта пасайтирилиши мумкин.

Иккинчи ҳолатда, яъни суспензияға агрегирловчи ёки қўшимча моддалар қўшиш, суспензия солиштирма қаршилигини кескин камайтишға олиб келади.

3.14. Филтрларни ҳисоблаш

Суспензияларни филтрлаш жараёниға кўпгина омиллар таъсир этганлиги сабабли филтрларни ҳисоблаш жуда мураккаб масаладир. Шунинг учун, қуйида келтирилган ҳисоблаш схемалари бир қатор таҳминлар ва суспензияларни ажратиш қонуниятларини соддалаштиришлар асосида ишлаб чиқилган. Шундай таҳминлардан бири, оғирлик кучи таъсирида қаттиқ заррачалар чўкмайди деб, фараз қилинади. Амалиётда заррачалар чўкмаслиги учун суспензия аралаштирилиб турилади.

Ҳисоблашларда эса тажриба йўли билан топилган филтр тўсиқ ва чўкма гидравлик қаршиликларининг ўртача қиймати ишлатилади.

Узлуксиз ишлайдиган филтрлар ҳисоби. Бошланғич маълумотларда филтр иш унумдорлиги берилган бўлади. Ундан ташқари, филтрлаш юзаси берилиши мумкин ёки қабул қилинади. Демак, юқорида кўрсатилган параметрлар маълум бўлса, яъни филтрнинг берилган юзаси бўйича филтрлар сони, филтрат миқдори ва филтрлаш жараёни давомийлиги аниқланади.

Барабанли вакуум филтрни (филтр тўсиқ гидравлик қаршилигини ҳисобға олмаймиз) ҳисоблашнинг умумий кетма - кетлигини кўриб чиқамиз.

1. Филтр қурилмага энг юқори иш унумдорлик таъминлаш учун чўкма қатлам қалинлигининг рухсат этилган энг кичик қиймати қабул қилинади. Масалан, барабанли вакуум - филтр учун таҳминан 5 мм (чўкма хоссалариға қараб) деб, қабул қилинса бўлади.

2. $x_q = h_q \cdot F/V$ тенгламадан V ни топамиз:

$$V = \frac{h_q \cdot F}{x_0} \quad (3.57)$$

3. $R_{\phi m} = 0$ деб қабул қилиб, V нинг қийматини (3.45) формулага қўйиб ва уни τ га нисбатан ечиб, зарур қалинликдаги чўкма ҳосил қилиш вақтини аниқлаймиз:

$$\tau = \frac{\mu r_q h_q^2}{2\Delta p x_q} \quad (3.58)$$

4. Ҳисоблаш тенгламаларидан фойдаланиб ёки тажриба йўли билан ювиш босқичининг давомийлиги $\tau_{ю}$ ни топамиз.

5. Барабан секциялари умумий сони n дан: а - сувсизлантириш зонасида n_c^1 та секция; б - сувсизлантириш зонасида n_c^2 та секция, чўкмани тўкиш ва филтёр тўқимани тиклаш зонасида n_{TT} та секция банд деб қабул қиламиз.

6. Ҳар бир босқичнинг давомийлиги ушбу тенгламалардан аниқланади:
а - сувсизлантириш:

$$\tau_c^1 = (\tau + \tau_{ю}) \frac{n_c^1}{n_{\phi ю}} \quad (3.59)$$

бу ерда $n_{\phi ю} = n - (n_c^1 + n_c^2 + n_{TT})$ филтёрлаш ва ювиш зоналаридаги барабан секцияларининг сони:

б - сувсизлантириш:

$$\tau_c^2 = (\tau + \tau_{ю}) \frac{n_c^2}{n_{\phi ю}} \quad (3.60)$$

чўкмани тўкиш ва филтёр тўқимани тиклаш:

$$\tau_{TT} = (\tau + \tau_{ю}) \frac{n_{TT}}{n_{\phi ю}} \quad (3.61)$$

7. Ушбу тенгликдан циклнинг умумий давомийлиги τ_{Σ} (c) ҳисобланади:

$$\tau_{\Sigma} = \tau + \tau_c^1 + \tau_c^2 + \tau_{ю} + \tau_{TT} \quad (3.62)$$

8. Барабаннинг айланиш тезлиги w (айл/мин) эса, қуйидаги нисбатдан топилади:

$$w = \frac{60}{\tau_{\Sigma}} \quad (3.63)$$

9. Филтёрлаш зонасининг марказий бурчаги қуйидагига тенг бўлади:

$$\theta = \frac{360 \cdot \tau}{\tau_{\Sigma}} \quad (3.64)$$

10. Филтёрнинг иш унумдорлиги Q ($m^3/сутка$):

$$Q = \frac{3600 \cdot 24 \cdot V}{\tau_{\Sigma}} \quad (3.65)$$

11. Агар, филтрат бўйича умумий иш унумдорлик $Q_{ум}$ маълум бўлса, зарур барабанли вакуум - филтёрлар сони ушбу нисбатдан аниқланади:

$$N_{\phi} = \frac{Q_{ум}}{Q} \quad (3.66)$$

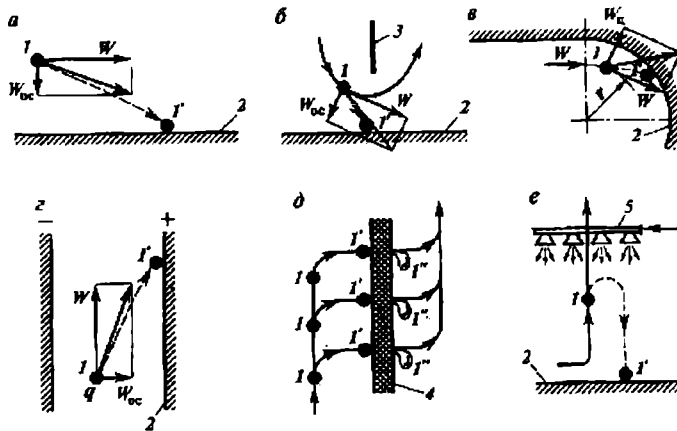
3.15. Умумий тушунчалар

Газ аралашмалар таркибидаги қаттиқ ёки суюқ заррачаларни саноат миқёсида ажратишдан мақсад ҳаво ифлослигини камайтириш, қимматбаҳо маҳсулотларни ажратиш олиш ёки технологияга салбий таъсир этувчи зарарли, ҳамда қурилмаларни бузилишга олиб келувчи моддаларни чиқариб ташлашдир.

Кимё, енгил, тоғ-кон ва озиқ-овқат саноатларнинг асосий технологик жараёнларидан бири ифлосланган газларни тозалашдир. Шунинг учун, турли жинсли газ системаларни ажратиш кимёвий технологиянинг долзарб ва энг кенг тарқалган асосий жараёнларидан биридир.

Саноат миқёсида чанг ҳосил бўлишининг манбалари: қаттиқ жисмларни механик майдалаш (чақиш, эзиш, арралаш, едирилиш ва уларни узагиш), ёқилғилар ёнишида (кул ҳосил бўлиш), буғлар конденсацияланишида, ҳамда газларнинг ўзаро кимёвий таъсири натижасида қаттиқ маҳсулотлар ҳосил бўлиш жараёнида.

Одатда, чанглар таркибида ўлчами 3...100 мкм бўлган қаттиқ заррачалар мавжуд бўлади. Буғлар конденсацияланиши натижасида 0,001...1 мкм ўлчамли майда суюқлик томчилари ҳосил бўлади.



Газ оқимидаги заррачаларни ажратиш олишнинг асосий усуллари.

- а- оғирлик кучи таъсирида чўктириш; б- инерцион кучлар таъсирида чўктириш;
- в- марказдан қочма куч таъсирида чўктириш; г- электр майдони таъсирида чўктириш; д- филтратш; е- ювиб тозалаш; 1- газ таркибидаги заррача; 1'(1'')- газдан ажратиш олинган заррача; 2- чўктириш юзаси; 3- тўсик;
- 4- филтрат-тўсик; 5- суюқликни пуркаш мосламаси.

Газларни қуйидаги тозалаш усуллари маълум:

1. оғирлик кучи таъсирида чўктириш (гравитацион тозалаш);
2. инерция кучлари таъсирида чўктириш, яъни марказдан қочма кучлар;
3. филтратш;
4. суюқлик билан ювиб тозалаш;
5. электростатик кучлар таъсирида чўктириш (электр майдон таъсирида).

Биринчи иккита усулда, яъни оғирлик ва марказдан қочма кучлар таъсирида, тозалаш натижасида йирик заррачаларни, қолган усулларда эса - 20 мкм ва ундан ўлчами кичик бўлган заррачаларни ажратиш олиш мумкин.

Газни тозалаш даражаси η куйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100\% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} \cdot 100\% \quad (3.67)$$

бу ерда G_1 ва G_2 – бошланғич ва тозаланган газдаги қаттиқ заррачалар массаси, кг/соат; V_1 ва V_2 – бошланғич ва тозаланган газларнинг ҳажмий сарфлари, м³/соат; x_1 ва x_2 – бошланғич ва тозаланган газда қаттиқ заррачалар концентрацияси, кг/м³.

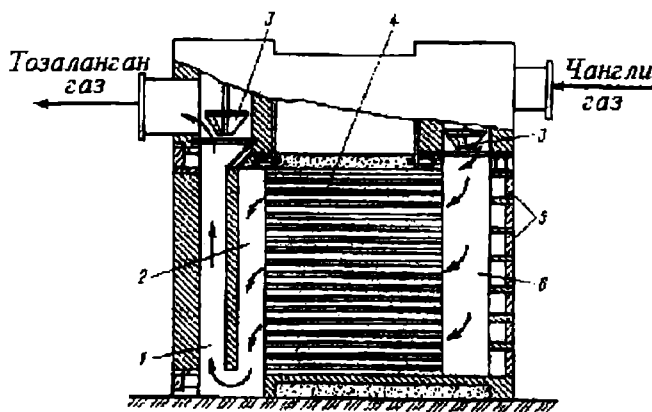
Газсимон турли жинсли системаларни тозалаш жараёнининг назарий асослари 3.1... 3.13 параграфларда баён этилган.

3.16. Оғирлик кучи таъсирида газларни тозалаш

Чўктириш жараёнини ҳисоблашда 3.4 параграфда келтириб чиқарилган, яъни қаттиқ заррачаларни суюқликларда чўкишини ифодаловчи тенглама ва қонуниятлар қўлланилади.

Чангларни (дағал тозалаш учун) тозалаш учун даврий ва узлуксиз ишлайдиган қурилмалардан фойдаланилади. Чанг чўктириш камераси бу турдаги асосий қурилмалардан биридир.

Чанг чўктириш камераси ичида горизонтал токчалар жойлаштирилган бўлиб, тўғри тўртбурчак шаклдаги асосий қисмдан иборат (3.27-расм).



3.27-расм. Чанг чўктириш камераси.

- 1 - чиқиш канали; 2 - йиғувчи канал;
3 - клапанлар; 4 - горизонтал токча;
5 - эшикчалар; 6 - сўриш канали.

Чанг, ростловчи клапан 3 орқали сўриш канали 6 га киради ва горизонтал токчалар 4 орасига тақсимланади. Токчалар орасидаги масофа 100...400 мм бўлади.

Токчаларнинг асосий вазифаси чанг заррачаларининг чўкиш масофасини қисқартиришдир. Ундан ташқари, токчалар борлиги чўкиш юзасини кўпайишига олиб келади. Токчалар орасида чанг ҳаракат қилганда, чанг оқимининг йўналиши ўзгаради, бу эса унинг тезлигини камайтиришига олиб

келади. Натижада қаттиқ заррачалар уларнинг юзасида чўкиб қолади. Тозаланган газ эса, чиқиш канали орқали ташқарига йўналади. Қурилма камерасида чанг газ оқимининг тезлиги чўкиш вақти билан чегараланади.

Чўктириш камерасида чанг газ оқимининг ҳаракати вақтида қаттиқ заррачалар токчалар юзасига чўкиб улгуриши керак.

Токчаларга йиғилиб қолган чанглар вақти-вақти билан куракчаларда олиб ташланади ёки сув билан ювилади. Чанг чўктириш камераси навбатма-навбат ишлайдиган икки бўлимдан иборат. Биринчи бўлим чанг (қаттиқ заррачалар)дан тозаланса, иккинчисида эса, шу вақтда газни тозалаш жараёни боради ва натижада қурилманинг узлуксиз ишлашига эришилади.

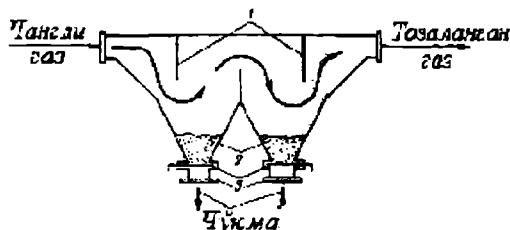
Чанг чўктириш камерасининг ишчи юзаси (3.41) тенглама ёрдамида ҳисобланади. Бунда $x_4 = 1$ деб қабул қилиш мумкин.

Чанг чўктириш камерасида фақат газлардан йирик заррачаларни ажратиш мумкин, яъни дағал тозалаш учун қўллаш мақсадга мувофиқдир. Шунинг учун, бу турдаги қурилмалар дастлабки тозалаш учун, яъни қаттиқ заррачалар ўлчами 100 мкм дан катта бўлган газсимон турли жинсли системаларни ажратиш учун мўлжалланган. Қурилманинг тозалаш даражаси 30...40%.

Ҳозирги кунда ушбу турдаги қурилмалар қўполлиги ва самадорлиги паст бўлгани учун замонавий ва мукамал тозалаш қурилмалари билан алмаштирилмоқда.

3.17. Инерцион ва марказдан қочма кучлар таъсирида газларни тозалаш

Инерция кучлари остида газларни тозалаш қайтарувчи тўсиқли тиндиргич ва марказдан қочма кучлар таъсирида ишлайдиган циклонлар конструкцияси асосида ётибди.



3.28-расм. Қайтарувчи тўсиқли тиндиргич.

1 - қайтарувчи тўсиқлар; 2 - чанг йиғгич; 3 - шибарлар.

Қайтарувчи тўсиқли тиндиргич йирик дисперсли чангларни ажратиш учун мўлжалланган (3.28-расм).

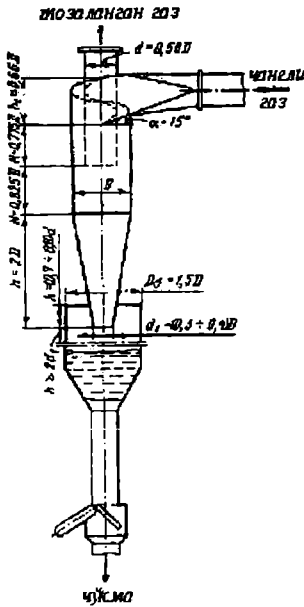
Қайтарувчи тўсиқлар газ оқимини уюмаланиши учун хизмат қилади. Тўсиқлардан ўтиш пайтида ҳосил бўладиган инерция кучлари қаттиқ заррачаларни интенсив чўкишига сабабчи бўлади. Йиғгич 2 га тўпланган қаттиқ

заррачалар шибар 3 ёрдамида чиқариб юборилади. Бундай қурилмалар газ ўтказиш системаларида ўрнатилади. Инерция кучлари асосида ишлайдиган чанг тозалаш қурилмаларининг тузилиши содда ва ихчам. Тозалаш даражаси 60%, чўктирилаётган заррачалар ўлчами 25 мкм ва ундан юқори.

Циклонлар марказдан қочма кучлар майдонида чангларни тозалаш имконини беради. Машинасозлик корхоналарида қобиғининг диаметри 100...1000 мм ли циклонлар тайёрланади. Уларнинг ишлаш самарадорлиги ажратиш коэффиценти билан характерланади. Чангларни тозалаш даражаси циклон конструкцияси, заррача ўлчами ва зичлигига боғлиқ.

Масалан, 25 мкм ли заррачалар чўктирилаётган бўлса, циклоннинг ф.и.к. 95% ни ташкил этади, лекин заррача диаметри 10 мкм бўлса, ф.и.к. 70% гача камаяди.

Циклон кичик гидравлик қаршилик ва нисбатан юқори тозалаш даражасига эга бўлган цилиндрик ва конуссимон қисмлардан иборат қурилмадир (3.29-расм).



3.29-расм. НИИОГаз циклон.

Чангли газ тангенциал йўналишда 10...40 м/с тезликда циклоннинг кириш патрубкиси орқали киритилади. Тангенциал кириш ва қурилманинг ичида марказий чиқариш трубаesi борлиги учун газ оқими пастга спиралсимон айланма ҳаракат қилади. Бу эса ўз навбатида марказдан қочма куч ҳосил бўлишига олиб келади. Ушбу куч таъсирида газ оқимидаги қаттиқ заррачалар циклоннинг ички деворига улоқтириб ташланади, деворга урилиб кинетик энергиясини йўқотади ва оғирлик кучи таъсирида қурилма тубига қараб тўкилади. Циклоннинг пастки конуссимон қисмида газ оқими инерция кучи таъсирида спиралсимон ҳаракат йўналишини давом эттиради ва конус диаметри камайиб бориши сабабли юқорига қараб йўналган оқим пайдо бўлади. Бу оқим тозаланган газ бўлиб, марказий труба орқали циклондан ташқарига чиқиб кетади.

Циклонларнинг аниқ ҳисоби жуда мураккаб бўлгани учун гидравлик қаршилик Δp параметри бўйича соддалаштирилган ҳисоблар қилинади.

Циклоннинг цилиндрик қисмидаги газнинг сохта тезлиги w_ϕ (м/с) қуйидаги формула ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$w_\phi = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_g \cdot \xi}} \quad (3.68)$$

бу ерда $\Delta p/\rho_g$ - ажратиш фактори; ξ гидравлик қаршилик коэффициенти

3.29-расмда келтирилган циклонлар учун $\Delta p/\xi = 500...700 \text{ м}^2/\text{с}^2$.

Циклон диаметри D (м) ушбу формуладан топилади:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w_\phi}} \quad (3.69)$$

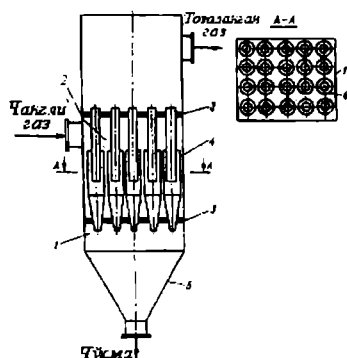
Циклоннинг цилиндрик қисми диаметри D аниқлангандан сўнг, қолган ўлчамлари ҳисобланади, чунки ҳамма ўлчамлар циклон диаметри D нинг функциясиدير.

Газларни тозалаш даражасини ошириш учун циклон диаметрини камайтириш ёки газ оқими тезлигини ошириш зарур.

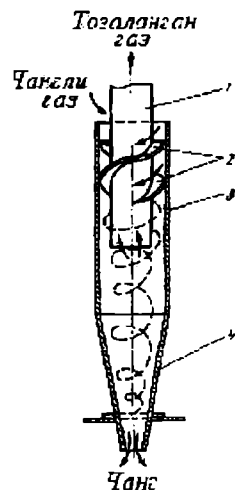
НИИОГаз циклонида газсимон турли жинсли системаларни тозалаш даражаси 30...85% га тенг. Лекин, газ таркибидаги заррачалар ўлчами ортиши билан газларнинг тозаланиш даражаси 90...95% гача ўсиши мумкин.

Батарейли циклон бир қанча параллел уланган кичик диаметрли (150...250мм) циклонлардан ташкил топган (3.30-расм). Циклон элементлари диаметрининг кичиклиги, марказдан қочма куч ва чўкиш тезлигини ошириш имконини беради. Кичик ўлчамли циклонлар қурилмадаги иккита тўсиқга маҳкамланади.

Курилмага кириш патрубкеси орқали юборилган чанг газ тақсимлаш камерасига киради ва у ердан барча циклон элементларга бир хилда тарқалади. Сўнг, элементларга газ тангенциал йўналишда эмас, балки уларнинг тепасидан циклон қобиги ва марказий чиқиш трубаси орасидаги ҳалқасимон бўшлиққа юборилади. Ушбу ҳалқасимон бўшлиқда оқимга спиралсимон айланма ҳаракат йўналишини таъминлаш учун у ерга винтли парраклар ўрнатилади (3.31-расм).



3.30-расм. Батарейли циклон.
1 қобик; 2 газ тақсимлаш камераси;



3.31-расм. Батарейли циклон элементи.
1 марказий чиқиш трубаси;
2 – винтли парраклар; 3 – қобик; 4 конуссимон туб.

Циклон элементларидан ўтиб тозаланган газлар марказий труба 1 орқали умумий камерага йиғилади ва чиқиш штуцеридан ташқарига узатилади.

Ҳамма циклон элементларида ушланиб қолинган қаттиқ заррачалар батареяли циклоннинг пастки қисми 5 да тўпланади ва ундан сўнг ташқарига тўкилади.

Агар бир нечта катта циклонларни иқтисодий жиҳатдан қўллаш мақсадга мувофиқ бўлмаса, газлар сарфи катта жараёнларда батареяли циклонлар ишлатилади. Циклонларда ўлчами 10 мкм ва ундан кам бўлган қаттиқ заррачаларни чўктириш тавсия этилади. Батарейли циклонларнинг тозалаш даражаси 65...85% ($d = 5$ мкм ли заррачалар учун), 85...90% ($d = 10$ мкм ли заррачалар учун) ва 90...95% ($d = 20$ мкм заррачалар учун).

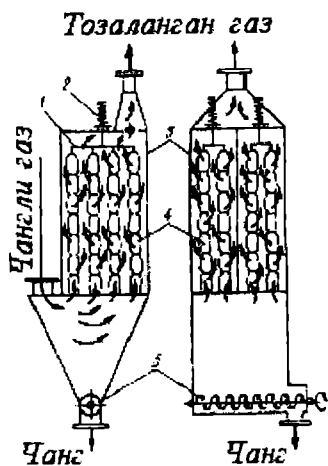
3.18. Газларни ғовакли тўсиқларда тозалаш

Фильтрловчи тўсиқ турига қараб эгилувчан, ярим қаттиқ, қаттиқ ғовак тўсиқли ва донатор қатламли фильтрлар бўлади.

Юмшоқ фильтрловчи тўсиқли фильтрларга энгли ёки қоғозли фильтрлар киради ва улар газларни тозалаш учун кенг миқёсда қўлланилади. Фильтрловчи тўсиқ сифатида табиий, синтетик ва минерал толалар (тўқима материаллар), ғовак листли материаллар (ғовакли резина, пенополиуретан) ва металл тўқималар ишлатилади.

Батарейли энгли фильтр. Бу турдаги курилмаларнинг фильтрловчи элементи тўқима материалдан ясалади (3.32-расм). Фильтрловчи энг 4 ва қоғозлар тўртбурчак шаклидаги қобик 3 нинг умумий роми 1 га осилиб қўйилади. Пастдан юқорига қараб ҳаракат қилаётган чангли газ фильтрловчи

енгларнинг учидаги очиқ тешикдан ичига киради. Сўнг, цилиндр енгларининг ён томон юзасидан ўтаётганида газ тозаланиб чиқиб кетади, қаттиқ заррачалар эса енгнинг ички деворида ушланиб қолади.



3.32-расм. Енгли филтр.

- 1 ром; 2 – силкитувчи механизм; 3 – қобик;
4 – енг; 5 – шнек.

Фойдаланиш жараёнида чанг қатлами ортиб боради ва филтрнинг қаршилиги катталашади. Филтр енгларини қайта тиклаш учун вақти – вақти билан механизм 2 ёрдамида силкитиб туриш зарур. Шунда, енглар юзасида ўтириб қолган чанглар тўкилади ва шнек 5 ёрдамида ташқарига чиқарилади. Баъзи бир ҳолларда енгларни қайта тиклаш учун филтр элементлар сиқилган ҳаво ёки газ ёрдамида қарама қарши йўналишда пуфлаб тозаланади. Баъзи ҳолларда секцияли филтрлар ҳам ишлатилади. Бунда ҳар секция ўзининг силкитувчи механизмига эга бўлади. Бу эса, филтр секцияларни кетма-кет тозалаш имконини беради, яъни филтр қурилмани тўхтатмасдан филтр элементларини қайта тиклаш жараёнини амалга оширса бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган енгли филтрларнинг филтрлаш тезлиги $0,007...0,017 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ га тенг. Лекин, филтрловчи тўқималар узлуксиз равишда қайта тикланиши туфайли филтрлаш тезлиги $0,05...0,08 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ гача ортади.

Энг кенг тарқалган енгли филтрларнинг гидравлик қаршилиги $1,5...2,5 \text{ кН/м}^2$ ($150...250 \text{ мм. сув уст.}$).

Агар енгли филтрлардан тўғри фойдаланилса, газларни майин, дисперс чанглардан тозалаш даражаси $98...99\%$ -и ташкил этади.

Енглар табиий, синтетик ва минерал материаллардан тайёрланади. Масалан, 80°C дан паст температураларда пахта, бўздан, 110°C дан паст температураларда жундан, $130...140^\circ\text{C}$ да полиамид, полиэтилен, полиакрилнитрил толаларидан, 275°C гача политетрафторэтилен ва фторопластдан, 400°C гача шиша толаларидан ясалган филтрловчи енглар ишлатилади.

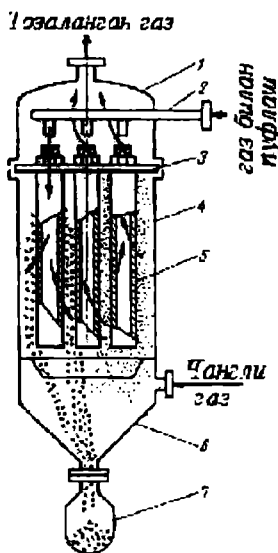
Камчиликлари: енглар тез ишдан чиқади ва каналлари тўлиб қолади; юқори температурали ва нам газларни тозалаш мумкин эмас.

Ярим қаттиқ, филтрловчи тўсиқли филтрлар кассеталардан таркиб топган бўлади. Газ таркибидаги қаттиқ заррачаларни ушлаб қолиш учун кассетада иккита тўр орасида шиша толалар, металл қиринди ёки бошқа материаллар қатлами жойлаштирилган бўлади.

Секцияларга бириктирилган кассеталар паст концентрацияли $0,001...0,005 \text{ г/м}^3$ чангларни тозалаш учун мўлжалланган.

Қаттиқ филтрловчи тўсиқли филтрлар одатда чангли газларни майин тозалаш учун ишлатилади. Филтрловчи тўсиқлар ғовакли керамика, прессланган ёки қиздириб бириктирилган кукунлар, ҳамда гластмассалардан ясашиши мумкин.

Цилиндрик филтрловчи элементли, патронли филтрлар. Температураси юқори бўлган чангли газларни тозалаш учун қўлланилади. Бу қурилмаларнинг филтрловчи элементи ғовакли қилиб металлокерамикадан ясади ва улар патронлар деб номланади (3.33-расм). Филтрловчи элементлар цилиндрик ҳалқасимон ёки текис шаклда бўлиши мумкин.



3.33-рasm. Патронли филтър.

- 1 қопқоқ; 2 — коллектор; 3 — труба панжараси; 4 — қобик; 5 — филтърловчи элемент; 6 — туб; 7 — чанг йиғич.

ҳам, ушбу филтърловчи элементлар кимёвий агрессив ва иссиқ чанглари тозалаш учун ишлатилади.

Газларни тозалаш филтърларнинг ҳисобини ўтказишдан мақсад, унинг умумий филтрлаш юзасини аниқлашдир, яъни

$$F = \frac{V}{V_{\text{сoл}}} \quad (3.70)$$

бу ерда V — чангли газнинг ҳажмий сарфи, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{\text{сoл}}$ — филтърларнинг солиштирма тезлиги, $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$;

Филтърловчи элементлар сони эса, ушбу тенгликдан топилади:

$$n = F(\pi dl) \quad (3.71)$$

бу ерда d ва l — енгнинг диаметри ва узунлиги.

Донадор қатламли филтърлар. Бундай филтърларда даврий, қўзғалмас ёки узлуксиз ҳаракатдаги филтърловчи қатлам сифатида майдаланган кокс, кварц қум, шлак, шағал ва бошқа материаллар қўлланиши мумкин.

Филтърловчи қатлам панжара ёки тўр орасидаги секцияда, горизонтал ёки вертикал ҳолатда ўрнатилиши мумкин.

3.16-рasmда узлуксиз ишлайдиган қумли филтър конструкцияси келтирилган. Бу турдаги филтърлар газларни майин тозалаш учун қўлланилади. Масалан, сиқилган газларни мойлардан, қорақуддан ва синтез газларини чангдан тозалаш учун ишлатилиши мумкин.

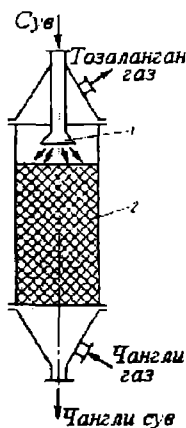
3.19. Газларни суюқлик билан ювиб тозалаш

Чангли газларни тозалаш учун уларни сув ёки бошқа суюқликлар ёрдамида ювиб, қаттиқ заррачалардан тозаланади. Бу усул газларни совитиш ва намлаш рухсат этилган, ҳамда қаттиқ заррачалар қиммати бўлмаган ҳолларда қўлланилади. Маълумки, газлар совутилганда сув буглари конденсацияланиб, заррачалар намланади ва уларнинг зичлиги ортади. Натижада қаттиқ заррачалар газдан осон ажралади. Бунда, заррачалар конденсацияланиш марказлари вазифасини бажаради. Агар, заррачалар суюқлик билан ҳўлланмаса, унда бу турдаги қурилмаларда газларни тозалаш самарасиздир. Бундай ҳолларда газларни тозалаш даражасини ошириш учун суюқлик таркибига спирт – сиртий фаол моддалар қўшилади, яъни суюқликнинг ҳўллаш қобилияти оширилади.

Суюқлик билан ювиб тозаловчи қурилмаларда, уларнинг конструкциясига қараб, газларни тозалаш даражаси 60 дан 85% гача бўлади. Бу турдаги қурилмаларнинг асосий камчилиги шундаки, тозалаш жараёни ўтказилиши натижасида оқава сувлар ҳосил бўлишидир. Маълумки, оқава сувлар ҳам ўз навбатида тозаланиши керак.

Скрубберлар ичи бўш ёки насадкали, кўндаланг кесим юзасига қараб эса, цилиндрсимон ёки тўғри тўртбурчак шаклдаги колонналар кўринишида бўлади.

Ичи бўш скрубберларга чангли газ қурилманинг пастки қисмидан 0,8...1,0 м/с тезликда киритилади. Газ ўз йўналишини ўзгартириб, юқорига қараб ҳаракат қилади. Скруббернинг тепа қисмидаги пуркагичдан сув ёки бошқа суюқлик сочилиб, оғирлик кучи таъсирида майда томчилар пастга қараб йўналади. Натижада газ ва сув томчилари қарама қарши йўлли ҳаракатида бир бирига кўп марта урилади. Бу ўзаро таъсир туфайли газ таркибидаги қаттиқ заррачалар суюқлик билан ювилади, оғирлашади ва оқава сув ҳосил қилиб, пастга тушади. Тозаланган газ скруббернинг тепа қисмидаги штуцердан чиқиб кетади. Оқава сув қурилманинг тубидаги штуцер орқали тозалашга чиқариб юборилади.



3.34а-расм. Насадкали скруббер.

- 1 - пуркагич;
- 2 - насадка.

Ичи бўш скрубберда газларнинг тозаланиш даражаси 60...75% ни ташкил этади. Насадкали скрубберларда қобиғнинг ичига насадкалар маълум бир тартибда ёки тартибсиз ўрнатилади (3.34а-расм).

Тозалаш жараёни интенсивлиги ва тезлигини ошириш учун скрубберларга албатта насадкалар жойлаштирилади. Насадкалар қўлланилиши натижасида газ ва суюқ фазалар ўртасида уринишлар ортади, яъни тўқнашув юзаси ошади. Одатда скрубберларга ҳалқасимон ёки хордали насадкалар ўрнатилади. Айрим ҳолларда эса, кокс ёки кварц бўлакларидан ҳосил қилинган қатлам, насадка сифатида ишлатилиши мумкин. Насадкали скрубберларда газларнинг тозаланиш даражаси 75...85%.

Вентури скрубберлари. Бу турдаги скруббер икки қисмдан (3.34б-расм): Вентури трубаси 3 ва ажраткич 1 дан таркиб топган бўлади. Вентури трубаси 3 да газ тозаланса, ажраткич 1 да эса

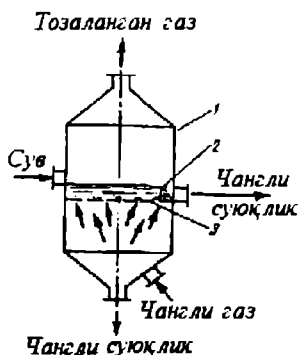
сув томчилари газ оқимидан ажратилади.

Тозаланиши зарур бўлган газ, қурилманинг паски қисмидан патрубкага узатилади. Маълумки, Вентури трубасининг диффузор қисмида конуслик ортиб боради. Бу эса, диффузорда босим камайишига, яъни вакуум ҳосил бўлишига олиб келади. Ушбу вакуум ҳисобига идишдан коллектор орқали Вентури трубасига сув сўриб олинади. Суюқ фаза газ билан тўқнашиши натижасида майда томчиларга (~10 мкм) ажралиб кетади. Газ ва майда томчиларнинг ўзаро урилиши пайтида суюқлик томчилари қаттиқ заррачаларни ўзига тортиб олади ва йириклашади. Сўнг эса, ушбу томчилар газ оқими билан бирга диффузор орқали ўтади ва натижада тезлиги пасаяди. Газ оқимини суюқлик заррачаларидан ажратиш учун уюрмалантирувчи мослама хизмат қилади. Ажратгичда ажратиб олинган суюқлик йиғгичга оқиб тушади. Тозаланган газ эса, скруббернинг тепа қисмидаги патрубкдан атмосферага чиқариб юборилади.

Вентури скрубберда газларнинг тозаланиш даражаси 98...99%, тузилиши содда ва механик ҳаракатланувчи қисмлари йўқ.

Камчиликлари: гидравлик қаршиликлари катта (1500...7500 Па) ва қурилма қўшимча томчи ушлагич билан жиҳозланиши лозим.

Кўпикли (барботажли) чанг ушлагичлар таркибида, қаттиқ заррачалар кўп ва жуда катта ҳажмдаги чангли газларни тозалаш учун мўлжалланган (3.35-расм).

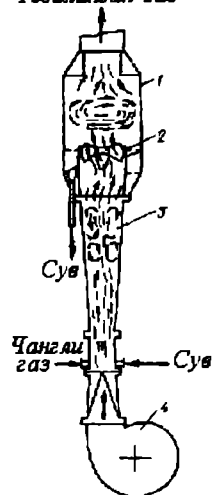


3.35-расм. Кўпикли скруббер.

1 - қобиқ; 2 - рост-ловчи остона; 3 - тешикли тарелка

тозаланиш даражасига қараб аниқланади.

Тозаланган газ



3.346-расм. Вентури скруббери.

1 - ажратгич; 2 - оқим-ни уюрмалантирувчи мослама; 3 - Вентури трубаси; 4-вентилятор.

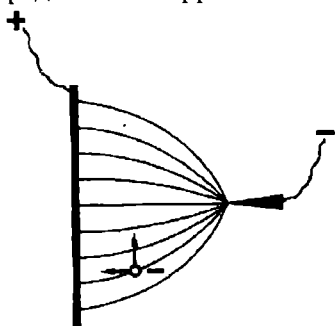
Кўпикли (барботажли) чанг ушлагичлар тарелкали скруббер кўринишида бўлади. Чангли газ қурилманинг пастки қисмидаги штуцер орқали юборилади ва у тепага қараб ҳаракат қилади. Қурилма цилиндрик қобиқ 1 нинг ўртасида жойлашган штуцер орқали ювувчи сув (ёки суюқлик) тешикли тарелка устига юборилади. Пастдан келаётган чангли газ оқими суюқликни барботаж қилади ва натижада ҳаракатчан кўпикли қатлам ҳосил бўлади. «Газ — суюқлик» аралашмасидан иборат кўпикларда тўқнашув ёки урилиш юзаси катта ва заррачани илантириш имконияти юқори. Шунинг учун ҳам, кўпикли чанг ушлагичларда чангли газларнинг тозаланиш даражаси юқори. Газнинг қурилмадаги тешикли тарелкалар сони

Кўпикли қатламда чангнинг асосий миқдори (~80%) суюқлик билан ушланади ва кўпик билан бирга ростловчи остона 2 орқали чиқарилади. Суюқликнинг қолган қисми (~20%) тарелка тешиклари орқали пастга оқиб тушади ва унинг остидаги бўшлиқда чангли газ таркибидаги йирик заррачаларни ушлаб, пастга олиб кетади. Ҳосил бўлган оқава сув конуссимон тубдаги штуцер орқали чиқарилади. Кўпикли қурилмаларда газларнинг тозаланиш даражаси 95...99% ва ундан юқори бўлади. Қурилманинг тузилиши содда ва ихчам, ҳамда кам капитал ва эксплуатацион сарфлар талаб этади.

3.20. Электр майдон таъсирида газларни тозалаш

Жараёнинг физик асослари. Электр майдон таъсирида газларни тозалаш электр разряди ёрдамида газ молекулаларининг ионизация қилинишига асосланган.

Агар, газ юқори кучланишли ўзгармас токга уланган икки электрод орасида ҳосил бўлган электр майдонида газ юборилса, унинг молекулалари ионизацияга учрайди, яъни мусбат ва манфий зарядланган заррачаларга ажрайди. Натижада улар куч чизиқлар йўналишида ҳаракат қилиб бошлайди. Зарядланган заррача тезлигининг вектор йўналиши, унинг мусбат ёки манфийлигига боғлиқ бўлса, ҳаракат тезлиги эса электр майдони кучланганлиги билан белгиланади.



Электр майдон куч чизиқларининг схемаси

Агар электр майдон кучланганлигини 10000В дан оширсак, ион ва электронлар кинетик энергияси шунчалик катталашадики, ҳаракат йўлида учраган газнинг барча нейтрал молекулаларини мусбат ион ва эркин электронларга парчалайди. Янгидан ҳосил бўлган зарядлар ҳам ўз ҳаракат йўналишида газларни ионизацияга дучор қилади. Натижада тўхтовсиз равишда ион ҳосил бўлади ва ҳамма газ ионизацияланади. Бундай жараён **зарбали ионизация** деб номланади.

Газ тўлиқ ионизацияга учраганда, электродлар орасида электр разряди пайдо бўлиши учун шароитлар яратилади. Агар, электр майдон кучланганлиги янада оширилса, учқун сакраб ўтиши, кейин эса электр ўтиши ва электродлар қисқа туташуви бўлиши мумкин. Бундай ҳодисалар олдини олиш учун турли жинсли электр майдони ҳосил қилинади.

Бунинг учун, труба ўқидан ёки икки параллел пластиналар орасида тортилган ингичка симлар кўринишида электрод ясалади.

Сим олдида электр майдон кучланганлиги жуда юқори бўлиб, труба ёки пластина томонга яқинлашган сари камайиб боради. Шунинг алоҳида таъкидлаш керакки, труба ёки пластина олдидаги майдон кучланганлиги шундайки, учқун ва электр ўтиш ҳодисалари рўй бермайди.

Тўлиқ ионизацияга оид майдон кучланганлигида электродлар орасида "тожли" разряд ҳосил бўлади. Бунда бутунлай ионизацияга учраган газ қатлами чўғланиб, нур ва чарсилланган овоз чиқаради. "Тож" ҳосил қиладиган электрод **"тожли" электрод** деб номланади. Труба ёки пластина кўринишидаги қарама - қарши зарядланган электрод **чўктирувчи электрод** деб аталади.

"Тожли" электрод манфий, чўктирувчи эса мусбат қутбга уланади. Бундай ҳолатларда электродларга жуда юқори кучланиш бериш мумкин. "Тож" ҳосил бўлиши билан иккала ишорали ион ва эркин электронлар пайдо бўлади.

Электр майдон қўлланганлиги таъсирида ионлар "тожли" электрод томон ҳаракат қилади ва унда нейтралланади.

Манфий ион ва эркин электронлар чўктирувчи электрод томон йўналади. Йўл-йўлакай чанг ва томчилар билан тўқнашиб, уларга ўз зарядини ўтказди ва чўктирувчи электрод томон олиб кетади. Натижада чанг ёки туман заррачалари шу электродда чўкади. Газдаги чанг заррачаларининг асосий қисми манфий зарядланади, чунки мусбат ионларга қараганда ҳаракатчан манфий электрон ва ионлар чўктирувчи электродга етгунча катта масофани босиб ўтади. Шунинг учун ҳам, газдаги заррачалар билан уларнинг тўқнашиш эҳтимоли катта. Фақат "тожли" электрод атрофидаги мусбат зарядланган ионлар билан тўқнашганда, чанг ёки туман заррачаларининг кичик бир қисми "тожли" электродда чўкади. Манфий зарядланган ионлар, чанг ёки туман заррачалари чўктирувчи электродга етганда, унга ўз зарядини беради ва оғирлик кучи таъсирида чўкади. Бундай чўктириш жараёни электрофилтрда олиб борилади.

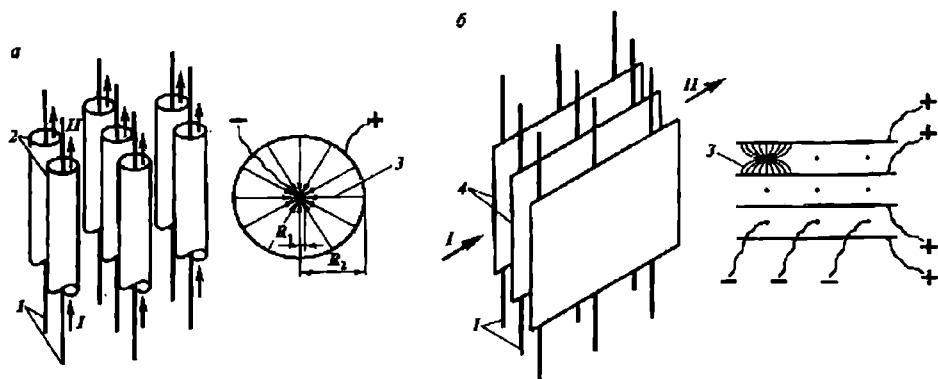
Электродларга ўтириб қолган чанг заррачаларининг зарарли таъсирини камайтириш мақсадида, вақти-вақти билан электродларга ўтириб қолган заррачалар силкитиб туширилади ёки электрофилтрга киритилишдан аввал чангли газ намланади (ўтказувчанлигини ошириш учун). Лекин, газнинг температураси шудринг нуқтасидан пасайиб кетиши мумкин эмас.

Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдони таъсирида тозалаш, бошқа усулларга қараганда кўпгина афзалликларга эга. Чўктириш қурилмаларида, яъни циклон, енгли филтр, скрубберларда оғирлик ва марказдан қочма куч таъсирида майда заррачаларни ажратиш бўлмайди.

Турли жинсли газ аралашмаларини электр майдон таъсирида ажратиш электродларда амалга оширилади. Чанг ва тутунларни тозалаш учун қуруқ, туманларни тозалаш учун эса - ҳўл электрофилтрлар қўлланилади.

Оддий электрофилтр иккита электроддан иборат бўлиб, биттаси анод- труба ёки пластина, иккинчиси эса катод сим кўринишида тайёрланади. Катод сим труба ичига ёки пластина анодлар орасига тортилади. Анодлар ҳар доим ерга уланади.

Электродлар ўзгармас ток манбасига уланганда $4\ldots 6$ кВ/см га тенг потенциаллар фарқи ҳосил бўлади. Бу қиймат катоднинг 1 м узунлигида $0,05\ldots 0,5$ мА ток зичлигини таъминлайди.



Трубали (а) ва пластинави (б) электродлар.

1-«тожли» электрод; 2-чўктирувчи трубали электрод; 3-куч йўналишлари; 4-чўктирувчи, пластинави электрод. I-чангли газ; II-тозаланган газ.

Газли аралашма трубаля-электрод ичига ёки пластиналар орасига узатилади. Электродлардаги юқори потенциаллар фарқи ва электр майдонининг турли жинслилиги туфайли манфий электрод-катод атрофидаги газ қатламида анодга қараб йўналган электронлар оқими ҳосил бўлади. Натижада газ нейтрал молекулаларининг электронлар билан тўқнашуви туфайли газ ионизацияга учрайди. Ионизация ўз навбатида газни мусбат ва манфий ионлар ажралишига олиб келади. Мусбат ионлар катод, манфийлари эса катта тезликда анод томон ҳаракат қилади. Одатда, чанг ва туман заррачалари анодга чўкади ва уни чўкма қатлами билан қоплайди. Электр майдони таъсирида чўктириш тезлиги секундига бир неча сантиметрдан бир неча ўнлаб сантиметргача ораликда бўлади. Чўктириш тезлиги заррача ўлчами ва газнинг гидравлик қаршилигига боғлиқ.

Электр майдонида заррачаларнинг чўкиш тезлигини аниқлаш учун жараён ламинар режимда амалга ошади деб қабул қиламиз.

Электр майдони зарядланган заррачага $F = ne_0 \cdot E_x$ (бу ерда n заррача олган заряд; e_0 - элементар заряд катталиги; E_x - катод ўқидан x масофадаги электр майдон потенциали градиенти) куч билан таъсир этади.

Электр майдон таъсирида заррачанинг чўкиш тезлиги ушбу тенгламадан аниқланади:

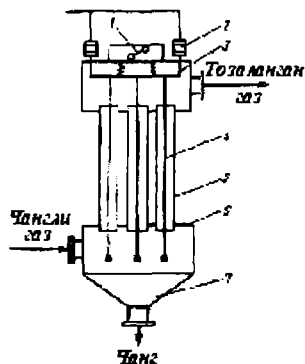
$$w_v = \frac{ne_0 E_x}{3\pi d\mu} \quad (3.72)$$

Заррачанинг чўкиш давомийлиги:

$$\tau_v = \int_r^R \frac{d_x}{w_v} \quad (3.73)$$

бу ерда: R - катод ўқидан анод ўқигача бўлган масофа; r - катод радиуси.

Электр майдон потенциали градиенти E_x катодгача бўлган масофа x га боғлиқ. Шунинг учун, заррачаларнинг чўкиш вақти (3.73) тенгламани график интеграллаш усули билан аниқланади.



3.36-расм. Трубаля электрофильтр.

- 1 - силкитувчи мослама;
- 2 - изолятор; 3 - ром; 4 - "тож" ҳосил қилувчи электрод;
- 5 - трубаля электрод - анод;
- 6 - тешикли панжара; 7 - чанг йиғгич.

Трубаля электрофильтрлар.

Чанг ва тутун газлари қурилманинг пастки қисми бўлмиш электродлар маҳкамланган тешикли панжара (6) тагига узатилади ва трубаля электрод (анод)лар ичига тақсимланади (3.36-расм).

Трубаля электродлар ичига "тож" ҳосил қилувчи электродлар-катодлар ўрнатилган. Электродлар изоляторга таяниб турувчи умумий ромда маҳкамланади. Электр майдони таъсирида газ таркибидаги заррачалар чўкади. Анодга чўкиб, қатлам ҳосил қилган заррачалар вақти-вақти билан силкитиб турилади ва қурилманинг пастки қисмидаги конуссимон тубда йиғилади. Йиғилган чанг заррачалардан

иборат чўкма пастки штуцердан тўкилади, тозаланган газ эса фильтрнинг тепа қисмидаги штуцердан атроф муҳитга чиқариб юборилади.

Ҳозирги кунда, бир нечта кетма - кет уланган секциялардан газ ўтадиган секцияли электрофильтрлар яратилган.

Одатда, трубалар диаметри 150...300 мм ва узунлиги 3...4 м қилиб ясалади. Трубалар ичида тортилган симлар диаметри 1,5...2,0 мм.

Газларнинг тозаланиш даражаси 99%, айрим ҳолларда 99,9% ни ташкил этади.

Пластинали электрофильтрларда анод вазифасини пластиналар, катодни эса пластиналар орасига тортилган симлар бажаради. Электрофильтрларда газларни тозаланиш даражаси, чангларнинг электр ўтказувчанлигига боғлиқ.

Агар, заррачалар электр токини яхши ўтказса, унда заррачалар зарядини бир зумда беради ва электрон зарядини эгаллайди. Бунда, бир биридан қочиш Кулон кучи ҳосил бўлиб, фильтрдан газ билан заррачалар учиб кетишга олиб келади ва тозаланиш даражасини камаяди.

Агар, заррачалар электр токини ёмон ўтказса, унда электродда манфий зарядланган заррачалардан иборат зич қатлам ҳосил бўлиб, асосий электр майдонга қарши таъсир қилади.

Газ таркибидаги заррачалар концентрацияси юқори бўлганда ҳам, газнинг тозаланиш даражаси паст бўлади. Чунки, ионларнинг заррача-ларда чўкиши, олиб ўтилган зарядлар сонини камайишига сабабчи бўлади. Демак, ток кучи ҳам пасаяди.

Газ таркибидаги заррачалар концентрациясини пасайтириш учун электрофильтрдан олдин қўшимча газ фильтрлар ўрнатилади.

Пластинали электрофильтр электродларига чўкган чанглар трубаи фильтрникидан оsonроқ тозаланади ва сим узунлиги бирлигига камроқ энергия ишлатади. Ундан ташқари, бу фильтрлар ихчам, кам металл сарфлайди ва йиғилиши оson.

Агар, электродлар сони ва қурилманинг кўндаланг кесими маълум бўлса, электрофильтрларни ҳисоблаш унинг "тожли" электродининг узунлигини аниқлашдан иборат бўлади.

Электрофильтрдаги ток миқдори $I = iL$ га тенг бўлиб, бу ерда i ток зичлиги; L - электрод узунлиги.

Куйида келтирилган тенгламадан потенциалнинг критик градиенти топилади:

$$E_k = 31 + 9,54 \sqrt{\frac{\sigma}{r}} \quad (3.74)$$

бу ерда: σ - босим 0,1 МПа да ушбу шароитдаги ҳаво зичлигининг 25°C температурадаги зичлигига нисбати.

Агар, электродлар орасидаги масофани билсак, электродлардаги потенциаллар фарқини топиш мумкин.

Газларни тозаланиш даражаси ушбу умумий формула ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$\eta_s = 1 - \frac{x_2}{x_1} = 1 - e^{-wf} \quad (3.75)$$

бу ерда: x_1 ва x_2 - электрофильтрларга кираётган ва ундан чиқаётган газларда қаттиқ заррачалар концентрацияси, кг/м³; w электрод юзасига қараб ҳаракат қилаётган зарядланган заррача тезлиги, м/с; f - солиштирма чўкиш юзаси, м²/(м³/с).

Трубали электрофилтрлар учун:

$$f = \frac{2l}{rw} \quad (3.76)$$

Пластинали электрофилтрлар учун:

$$f = \frac{l}{hw} \quad (3.77)$$

бу ерда: l - труба ёки пластина узунлиги, м; r - чўктириш электроди трубасининг радиуси, м; h - чўктирувчи ва «тожли» электродлар орасидаги масофа, м; w - электрофилтрларда газнинг тезлиги, м/с.

3.21. Газларни тозалаш жараёнини интенсивлаш

Турли хил қурилмаларда газларни тозалаш даражасини ошириш мумкин. Бунинг учун тозалаш жараёнидан аввал газ таркибидаги қаттиқ заррачалар ўлчами катталаштирилиши керак.

Бу мақсадга эришиш учун акустик коагуляция* қўлланиши мумкин, яъни газ аралашмасига акустик тебранма товуш ва ультра товуш частоталарини таъсир эттириш керак. Товуш ва ультра товушларнинг кескин ўзгариши ўта майда заррачаларни интенсив тебранишига сабабчи бўлади. Натижада, заррачаларнинг ўзаро тўқнашуви ва ўлчами кескин ортади.

Газларга товуш баландлиги 145...150 дБ ва тебраниш частотаси 2...50 кГц бўлган акустик таъсир берилади.

Заррачалар ўлчамини катталаштиришнинг бошқа усуллари ҳам бор. Масалан, қаттиқ заррачаларда сув буғларини конденсациялаш. Бунинг учун, иссиқ газ оқимига ўта майда совуқ сув томчиларини пуркаш, совуқ газ оқимига совуқ сув пуркаш каби йўллар билан эришиш мумкин.

Газ тозалаш қурилмаларини танлашда уларнинг техник – иқтисодий кўрсаткичларини инобатга олиш зарур. Асосий кўрсаткичлар қаторига қуйидагилар киради: газнинг тозаланиш даражаси; қурилманинг гидравлик қаршилиги; тозалаш учун электр энергия, буғ ва сув сарфлари; қурилма ва газнинг тозаланиш нархлари. Булардан ташқари, тозалаш самарадорлигига таъсир этувчи омилларни ҳам инобатга олиш керак, яъни газнинг намлиги ва концентрацияси, температураси ва кимёвий агрессивлиги, чангнинг хоссалари (гигроскопиклиги, толалиги, ёпишқоқлиги, қуруқлиги), заррача ўлчамлари, унинг фракция таркиби ва ҳоказо.

Қуйидаги 3-2 жадвалда газ тозалаш қурилмаларининг айрим ўртача характеристикалари келтирилган.

Жадвалдаги маълумотлардан кўриниб турибдики, циклон ва инерцион чанг ушлагичлар газларни фақат ўлчамлари катта заррачалардан дағал ажратиш учун қўлланиши мумкин. Албатта, бу газлар қуруқ ва таркибидаги заррачалар ёпишқоқ ва толали бўлмаслиги зарур. Шу билан бирга, бу қурилмалар катта капитал ва эксплуатацион сарфлар талаб этмайди.

Шунинг учун, бу турдаги қурилмалар газсимон турли жинсли системаларни дағал, дастлабки тозалаш учун, сўнг эса электрофилтр ва энгли филтрларда тўлиқ тозалаш мақсадида ишлатилади. Ундан ташқари, бундай дағал тозалаш вентилятор паррақларини емирилишдан сақлайди.

Циклон ва батареяли циклонларни юқори концентрацияли газларни тозалаш учун, батареяли циклонларни газсимон турли жинсли системаларнинг сарфи катта бўлганда қўллаш тавсия этилади.

Қурилма	Газдаги чангнинг максимал миқдори, кг/м ³	Айрим заррачалар ўлчами, мкм	Тозала- ниш даражаси, %	Гидравлик қаршилик, Н/м ²
Чанг чўктириш камераси	чегараланмаган	> 100	30...40	
Циклон	0,4	> 10	70...95	400...700
Батарейли циклон	0,1	> 10	85...90	500...800
Марказдан қочма скрубберлар	0,05	> 2	90...95	400...800
Енгли фильтр	0,02	> 1	98...99	500...2500
Кўпикли чанг ушлагич	0,3	> 0,5	95...99	300...900
Вентури скруббери	0,05	> 1	95...99	1500...7000
Электрофильтр	0,01...0,05	> 0,005	99...99,9	100...200

Заррача ўлчамлари 1 мкм дан ортиқ, қуруқ ва қийин ҳўлланадиган чангларни майин тозалаш учун енгли фильтрлардан фойдаланилади. Лекин, бу турдаги фильтрларни ёнишқоқ ва нам чангларни тозалаш учун ишлатиб бўлмайди.

Майда дисперс чангли газларни тўлиқ тозалаш учун скруббер, кўпикли чанг ушлагич ва электрофильтрлар қўлланилади. Тозаланаётган газ совитилиши ва намланиши рухсат этилган, ҳамда ажратиладиган заррачалар қимматбаҳо маҳсулот бўлган ҳолларда, скруббер ва кўпикли чанг ушлагичлар қўлланиши мақсадга мувофиқдир. Бу қурилмалар содда, нархи ва эксплуатацион сарфлари электрофильтрникидан анча кам.

Лекин, ушбу усулда чангли газларни ажратиш жараёнида жуда кўп сув сарф бўлади. Шу сабабли, қурилма коррозиясининг тезлиги юқоридир. Агар, дисперс заррачалар атроф муҳитни ифлослантириш ҳавфи бўлган ҳолларда, уларни суyoқ фазадан ажратиб олиш учун қўшимча қурилма талаб этилади.

Электр майдон таъсирида чангли газларни тозалаш юқори кўрсаткичларга эришиш имконини беради. Электрофильтрларнинг гидравлик қаршилиги кичик ва энергия сарфи кам бўлади. Соатига 1000 м³ газни тозалаш учун 0,2...0,3 кВт·соат электр энергия сарфланади. Қуруқ газларни тозалаш учун кўпинча пластинали, туман ва қийин ушланадиган чангларни тозалаш учун эса трубади электрофильтрлар ишлатилади. Бу турдаги қурилмалар қиммат туради ва эксплуатация қилиш анча мураккабдир. Ундан ташқари, газ таркибидаги заррачалар солиштирама электр қаршилиги кичик бўлса, электрофильтрларни қўллаш етарли самара бермайди.

Газсимон турли жинсли системаларни тозалаш қурилмаларининг таҳлили шуни кўрсатадики, улар самарадорлигининг ортиши одатда энергетик сарф ва қурилма ўлчамларининг ўсиши билан боғлиқ. Масалан, енгли ва электр фильтрлар чангли газларнинг тезликлари кичик бўлганда юқори самара беради, яъни катта ўлчамли қурилмаларда жараён ташкил этилганда.

Циклонлар ва Вентури скрубберларнинг гидравлик қаршиликлари қанчалик юқори бўлса, улар чангли газларни шунчалик самарали фазаларга ажратади, лекин чангли газни узатиш учун энергия сарфи ҳам шунчалик кўп бўлади.

Шунинг учун, ҳар бир аниқ ҳолатда қурилмани танлаш кўпгина кўрсаткичларни ҳисобга олишни тақозо этади.

* coagulation (лотинча) — ивиб йириклашиши ва оғирлашиши.

ҚЎЗҒАЛМАС ВА МАВҲУМ ҚАЙНАШ ҚАТЛАМЛАРИ ГИДРОДИНАМИКАСИ

3.22. Умумий тушунчалар

Кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларнинг технологик, жараёнларида айрим элементлардан таркиб топган қўзғалмас қатлам материаллари орқали томчили суюқлик ёки газлар оқиб ўтади.

Донадор қатлам элементларининг шакли ва ўлчами турли туман кўринишга эга: масалан, филтрлар чўкма қатламининг майда заррачалари; гранула; таблетка, катализатор ёки адсорбент бўлаклари; абсорбцион ва ректификацион колонналардаги йирик насадкалар.

Бирор қатлам заррачаларининг ўлчами бир хил ёки турлича бўлишига қараб, донадор қатламлар **монодисперс** ёки **полидисперс** бўлиши мумкин.

Донадор қатлам орқали суюқлик ҳаракати даврида қатлам заррачалари орасидаги бўшлиқлар суюқлик билан тўлиб туради. Бунда, суюқлик қатламнинг заррачаларини, элементларини ювиб ва нотўғри шаклли каналлар орқали оқиб ўтади. Бундай ҳаракат гидродинамиканинг аралаш масаласини ташкил этади.

3.23. Қўзғалмас донадор ва ғовак қатламлар орқали суюқлик ҳаракати

Газ энергияси ҳисобига қаттиқ заррачаларнинг бир бирига нисбатан тартибсиз ҳаракатига, яъни қатлам худди қайнаётгандек бўлиб кўринишига «қаттиқ жисм — газ» икки фазали системанинг мавҳум қайнаши деб аталади. Ишчи элткич таъсирида ҳосил бўлган мавҳум қайнаш системасининг мавҳум қайнаш ёки қайнаш қатлами деб номланишининг келиб чиқиш сабабларидан бири, ушбу қатламга томчили суюқликлар кўп хоссаларининг мослигидир.

Агар, қаттиқ материал қатламининг мавҳум қайнаш ҳолатини таъминловчи тезлик билан юқорига қараб ишчи элткич ҳаракат қилса, мавҳум қайнаш қатлами ҳосил бўлади.

Охирги вақтда кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларнинг барча корхоналарида мавҳум қайнаш жараёнлари кенг кўламда қўлланилмоқда. Ушбу жараён аралаштириш, узатиш, сочилувчан материалларни классификациялаш, иссиқлик алмашилиш, қуриштиш, адсорбция, абсорбция, грануллаш, кристалланиш ва бошқа жараёнларда юқори натижалар бермоқда. Бундай ижобий натижалар мавҳум қайнаш жараёнининг қуйидаги афзалликлари билан белгиланади:

1. Қаттиқ заррачалар интенсив аралашиниш, қурилманинг бутун ҳажми бўйлаб материал температураси ва концентрацияларининг текисланишига олиб келади. Бу ҳол ўз навбатида жараёнига оптимал ташкил этишга ҳалақит берувчи қаттиқ заррачаларни локал ўта қизиб кетиш олдини олади;

2. Мавҳум қайнаш қатламининг юқори оқувчанлиги материални бетўхтов узатувчи ва тайёр маҳсулотни тўқувчи, яъни узлуксиз равишда ишлайдиган қурилмаларни яратиш имконини беради;

3. Кичик ўлчамли, катта солиштирма юзали заррачалар қайта ишланганда иссиқлик ва масса алмашилиш юзалари кескин ортади, ҳамда диффузион қаршилиқ камаяди. Бу ҳол ўз навбатида қурилманинг иш унумдорлигини оширишга олиб келади;

4. Иссиқлик алмашилиш жараёнлари интенсивлашади, бу эса иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишчи ҳажмларини камайтириш имконини яратади;

5. Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар гидравлик қаршилиги кичик бўлади ва газ оқимининг тезлигига боғлиқ эмас;

6. Каттиқ заррачалар ва ишчи элткичлар хоссалари жуда кенг ораликда ўзгарадиган, ҳамда суспензия ва пастасимон материаллар ҳам мавҳум қайнаш жараёнида қайта ишланиши мумкин;

7. Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар тузилиши содда, ихчам ва осон автоматлаштирилади.

Юқорида қайд этилган афзалликлар билан бирга, мавҳум қайнаш жараёнининг қуйидаги камчиликлари бор:

бир секцияда заррача ва ишчи элткичларнинг бўлиш вақти бир хил эмас;

мавҳум қайнаш қатламида заррачалар бир бирига урилиши натижа-сида едирилади;

заррачаларни едирилиши натижасида ҳосил бўлган чанг қурилмадан учиб кетади. Бу ҳол, албатта қўшимча чанг ушлагичлар ўрнатилишини тақозо этади;

диэлектрик материал заррачалари мавҳум қайнаш қатламли қурилмаларда ишлов берилганда, статик электр зарядлар ҳосил қилади. Бу эса, портлаш ҳавфини тугдиради.

Қайд этилган мавҳум қайнаш жараёнининг камчиликлари салмоқли эмас ва улар қисман ёки бутунлай бартараф қилиниши мумкин.

Сочилувчан, донатор материаллар қатлами гидравлик қаршилик, заррачалар ўлчами, солиштира юза ва бўш ҳажм улуши билан характерланади.

Солиштира юза a ($\text{м}^2/\text{м}^3$) қатламнинг ҳажм бирлигида жойлашган ҳамма заррачалар юзасини ифодалайди.

Донасимон заррачалар орасидаги бўшлиқ ҳажмининг қатлам ҳажмига нисбати **бўш ҳажм ёки ғоваклилик (ε)** дейилади ва у ўлчамсиз катталиқдир:

$$\varepsilon = \frac{V - V_0}{V}$$

бу ерда V - донасимон қатлам ҳажми, м^3 ; V_0 - қатлам заррачалари эгаллаган ҳажм, м^3 .

Агар, бирор қурилмада донасимон материаллар баландлиги H (м) кўндаланг кесим юзаси F (м^2) бўлса, унда қатлам ҳажми $V = FH$ ва заррачалар эгаллаб турган ҳажм $V_0 = FH(1-\varepsilon)$ га тенг бўлади. Тегишли қатламнинг бўш ҳажми $V_{\text{бш}} = FH\varepsilon$, заррачалар юзаси эса - FHa га тенг.

Қатлам каналларининг кўндаланг кесимлар йиғиндиси ёки қатламнинг бўш кўндаланг кесимини топиш учун $V_{\text{бш}}$ ни канал узунлигига бўлиш керак. Агар, каналларнинг ўртача узунлиги қатлам баландлигидан α_3 марта ортиқ бўлса, каналлар узунлиги $\alpha_K H$ ва қатламнинг бўш кўндаланг кесими $FH\varepsilon/\alpha_3$, $H = F\varepsilon/\alpha_3$ (бу ерда α_3 - каналларнинг эгрилик коэффиценти).

Бўш кўндаланг кесимнинг ҳўлланган периметри каналлар умумий юзасини уларнинг ўртача узунлигига бўлиш йўли билан топилади, яъни $\Pi = FHa/\alpha_K H = Fa/\alpha_K$.

Агар, қатламнинг бўш кўндаланг кесими ва ҳўлланган периметри маълум бўлса, эквивалент диаметрни ушбу тенгламадан аниқласа бўлади:

$$d_3 = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 \left(\frac{F\varepsilon}{\alpha_K} \right)}{Fa} = \frac{4\varepsilon}{a} \quad (3.78)$$

Эквивалент диаметр d_3 қатлам заррачалари ўлчамлари орқали ҳам ифодаланиши мумкин. Агар, қатлам ҳажми 1 м^3 , заррачалари сони n та бўлса, уларнинг ҳажми $(1-\varepsilon)$ ва юзаси a га тенг деб ҳисоблаймиз. Унда, битта заррачанинг ўртача ҳажми:

$$V_3 = \frac{1 - \varepsilon}{n} = \frac{\pi d^3}{6}$$

юзаси эса:

$$F_3 = \frac{a}{n} = \frac{\pi d^2}{f}$$

бу ерда d - заррача ҳажмига тенг эквивалент шарнинг диаметри; f - шакл коэффициент (шар учун $f = 1$).

Унда, заррача юзасининг ҳажмига нисбати ушбу қўринишдан топилади:

$$\frac{a}{1 - \varepsilon} = \frac{6}{df}$$

бундан

$$a = \frac{6 (1 - \varepsilon)}{fd} \quad (3.79)$$

Агар, (3.79) ни (3.78) тенгламага қўйсак, қуйидаги формулани оламиз:

$$d_3 = \frac{2f\epsilon d}{3 (1 - \varepsilon)} \quad (3.80)$$

Полидисперс заррачалардан таркиб топган қатлам учун диаметр d ушбу нисбатдан ҳисоблаб топилади:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \quad (3.81)$$

бу ерда x_i - d_i диаметрли заррачаларининг ҳажмий ёки массавий улуши.

Донасимон қатлам заррачалари орасидаги каналларда ҳаракатланаётган оқимнинг ҳақиқий тезлиги w ни аниқлаш жуда қийин. Шунинг учун, аввал суюқликнинг мавҳум тезлиги w_0 топилади. Ҳақиқий ва мавҳум тезликлар орасида қуйидаги боғлиқлик бор:

$$w = \frac{w_0}{\varepsilon} \quad (3.82)$$

Суюқлик донасимон қатламга ҳаракат қилганда, (ишқаланиш қаршилиги) гидравлик қаршилиқни, босим йўқотилишини ҳисоблаш формуласи (2.48) дан топиш мумкин:

$$\Delta P_{\text{ук}} = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho w^2}{2} = \lambda \left[\frac{H}{3 \frac{2fed}{(1-\varepsilon)}} \right] \frac{\rho \left(\frac{w_0}{\varepsilon} \right)^2}{2}$$

ёки

$$\Delta P = \frac{3}{2\varepsilon^3 f} \lambda \frac{H}{d} \frac{\rho w_0^2}{2} \quad (3.83)$$

Маълумки, гидравлик қаршилик коэффициенти λ гидродинамик режим-га боғлиқ бўлиб, Рейнольдс критерийси қиймати билан белгиланади.

Агар (3.82) дан w ва (3.80) дан d_s ларнинг қийматларини Re қўйсак, ушбу кўринишдаги Рейнольдс критерийсини оламиз:

$$Re = \frac{w d_s \rho}{\mu} = \frac{w_0 4 \varepsilon \rho}{\varepsilon a \mu}$$

ёки

$$Re = \frac{4 w_0 \rho}{a \mu} = \frac{4 W}{a \mu} \quad (3.84)$$

бу ерда W - қурилманинг 1 м² кўндаланг кесимига тўғри келадиган суюқликнинг массавий тезлиги, кг/(м²с).

Олинган формуладаги солиштирма юза a ўрнига (3.79) тенгламадаги қийматни ёки Re формуласига d_s нинг қийматини (3.80) дан тўғридан-тўғри қўйсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$Re = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1-\varepsilon} \cdot \frac{w_0 d \rho}{\mu} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1-\varepsilon} \cdot Re_0 \quad (3.85)$$

бу ерда:

$$Re_0 = \frac{w_0 d \rho}{\mu} \quad (3.86)$$

Гидравлик қаршилик коэффициенти λ ни ҳисоблаш учун бир қатор формулалар келтириб чиқарилган. Суюқликларнинг сочилувчан, донатор қатламларда ҳаракат қилишидаги ҳамма режимлар умумий гидравлик қаршилик коэффициенти ҳисоблаш қуйидаги формула ёрдамида амалга оширилади:

$$\lambda = \frac{133}{Re} + 2,34 \quad (3.87)$$

Ушбу формуладаги Re критерийси (3.86) формула орқали аниқланган.

Шуни алоҳида қайд этиш керакки, газ донатор қатлам орқали ҳаракат қилганда турбулент режим, суюқлик труба ичида ҳаракат пайтидагидан, аввалроқ бошланади. Лекин, ламинар ва турбулент режимлар орасида кескин ўтиш ҳолати йўқ. Ламинар режим $Re < 50$ дан қийматларда амалга ошади. Ушбу режимда донатор қатлам учун $\lambda = A/Re$.

Агар, $Re < 1$ бўлганда (3.87) формуладаги қўшилувчи ҳисобга олинмайди, яъни λ қуйидаги формуладан топилади:

$$\lambda = \frac{133}{Re} \quad (3.88)$$

Агар, $Re > 700$ бўлганда, донатор қатламда турбулент режимнинг автотомодель соҳаси бошланади, яъни жараён тезликга боғлиқ бўлмайди. Унда, (3.87) формуладаги биринчи қўшилувчини тушириб қолдириш мумкин, яъни:

$$\lambda \approx 2,34 = const \quad (3.88a)$$

Донадор қатлам бўш ҳажми ёки ғоваклилиги ε қурилмага материални юклаш услубига боғлиқ. Масалан, шарсимон материаллар эркин тўкиб юкланганда қатламнинг ғоваклилиги ўртача $\varepsilon \approx 0,4$ га тенг. Лекин, амалиётда ε нинг қиймати 0,35 дан 0,45 гача бўлади.

Ундан ташқари, донатор қатламнинг ε катталиги заррача диаметри d ва қурилма диаметри D орасидаги нисбатга боғлиқдир. Бунга сабабчи девор олди эффектидир, яъни девор яқинида заррачалар зичланиши ҳар доим кам бўлади. Шунинг учун, девор олдида қатламнинг ғоваклилиги қурилма маркази ғоваклигидан ҳар доим юқоридир. Ушбу фарқ d/D ортиши билан кўпайиб боради.

Саноат донатор қатламли қурилмаларини моделлаштиришда модел қурилма диаметри материал заррачалари диаметридан энг камида 8...10 марта катта бўлиши шарт.

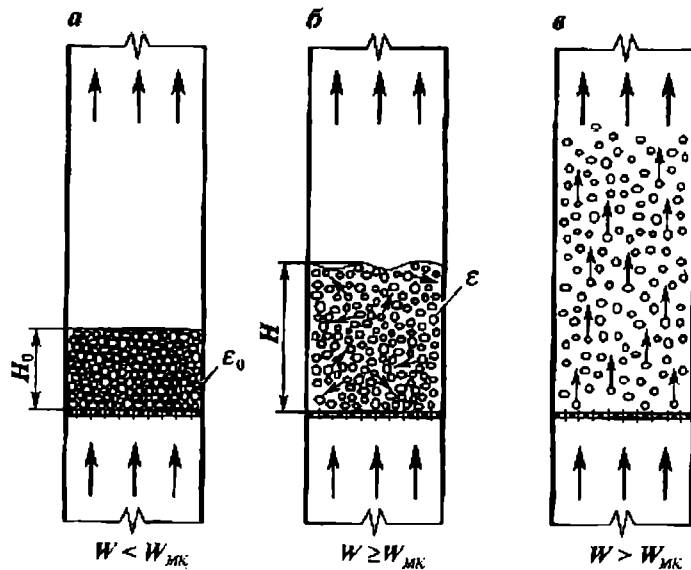
3.24. Мавҳум қайнаш жараёни асослари ва гидродинамикаси

Суюқлик оқими исталган тезликларда, фақат пастдан юқорига ҳаракат қилгандагина, донатор қатлам орқали суюқлик ҳаракати қонуниятлари ушбу жараён учун тааллуқлидир. Суюқлик оқимининг юқори чегараси қатлам қўзғалмас ҳолати билан белгиланади.

3.37-расмда қаттиқ заррачалар қатламининг пастдан юқорига кўтарилувчи оқим тезлигига боғлиқлик 3 ҳолати тасвирланган.

Газ тақсимлаш тўри орқали пастдан юқорига қараб кичик тезлик билан газ ёки суюқлик оқими юборилса, донатор қатлам қўзғалмас ҳолатида қолади (3.37а-расм). Бунда оқим тезлиги ўзгариши билан қатлам (солиштирма юза, ғоваклилик ва ҳоказо) нинг характеристикалари ўзгармайди. Қатлам орқали ўтаётган газ (ёки суюқлик) оддий, филтрланиб ҳаракатланади.

Лекин, газ (ёки суюқлик) оқимининг тезлиги аста секин ошириб борилса, тезликнинг маълум бир критик қийматида қатламдаги заррачалар оғирлиги билан оқимнинг гидродинамик босим кучи тенглашади. Бунда қатламнинг қўзғалмас ҳолати бузилади ва унинг ғоваклилиги, баландлиги кўпайиб боради. Шу вақтда қатлам заррачалари силжиб бошлайди ва қатлам оқувчанликка эга бўлиб бошлайди. Агар газ оқими тезлиги янада оширилса, қатлам кенгаяди, заррачалар ҳаракати фаоллашади, лекин гидродинамик мувозанат ҳали ҳам бузилмайди. Бу ҳол қатламнинг мавҳум қайнаш жараёнига ўтганлигини кўрсатади, яъни бутун қатлам худди қайнаётгандек бўлиб кўринади (3.37б-расм). Қатламнинг бундай ҳолатида қаттиқ заррачалар интенсив, тартибсиз, турли йўналишларда ҳаракат қилади.



3.37-расм. Қаттиқ заррачалар қатлами орқали газ (суюқлик) ҳаракати.
а-қўзғалмас қатлам; б-мавҳум қайнаш қатлами;
в - қаттиқ заррачаларнинг оқим билан чиқиб кетиши.

Агар газ оқимининг тезлиги янада оширилса, қатлам ғовақилилиги ва баландлиги кескин кўпайиб боради. Газ тезлиги маълум бир критик қийматга етганда мавҳум қайнаш қатлами бузилади. Бунда гидродинамик босим кучлари қатлам заррачалари оғирлик кучидан ошиб кетади ва қаттиқ заррачалар газ оқими билан бирга учиб чиқа бошлайди (3.37в-расм). Газ оқими билан қаттиқ заррачаларнинг ёппасига учиб чиқа бошлаш ҳодисаси **пневмотранспорт** деб номланади ва саноатда сочилувчан материалларни уза-тиш учун ишлатилади.

3.38-расмда донатор қатлам баландлиги ва гидравлик қаршилигининг оқим **соҳта** (қурилма кўндаланг кесим юзасига нисбатан ҳисобланган тезлик) **тезлигидан** боғлиқлик графиклари келтирилган.

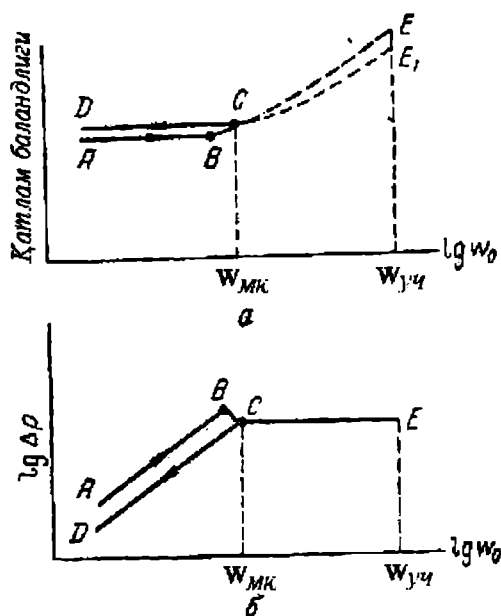
Қатлам қўзғалмаслиги бузилиб, мавҳум қайнаш ҳолатига ўтиш пайтидаги тезлик **мавҳум қайнашнинг бошланиш тезлиги** ёки **биринчи критик тезлик** деб номланади ва w_{mk} ҳарфи билан белгиланади.

Агар, газ оқими тезлигини w_{mk} гача ошириб борилса донатор қатлам гидравлик қаршилиги ортиб боради (3.38б-расм). Лекин, w_0 қиймати ошиши билан қатламнинг баландлиги умуман ўзгармайди (3.38а-расм ABC чизик).

Оқимнинг гидродинамик босим кучи қаттиқ заррачалар қатлами оғирлик кучига тенг бўлганда мавҳум қайнаш жараёни бошланади. Лекин, амалда **B** нуқтадаги тегишли босимлар фарқи бевосита мавҳум қайнаш бошланишига (**C** нуқта) оид ΔP дан, яъни қатламни мавҳум қайнаш ҳолатида ушлаб туриш учун зарур гидродинамик босим кучидан кўпроқ бўлади.

Бунга сабаб, қўзғалмас қатлам ҳолатидаги заррачалар орасидаги тортишиш кучидир. Газ оқими тезлиги w_{mk} бўлганда, заррачалар орасидаги тортишиш кучларини енгади ва гидродинамик босим кучи (ΔP) қатлам заррачалари оғирлигига тенглашади.

3.38б-расмдан кўриниб турибдики, юқорида айтилган шартлар мавҳум қайнаш жараёнининг ҳамма оралигида (**CE** чизик) бажарилмоқда. Мавҳум қайнаш бошланиши билан оқимнинг гидродинамик босим кучлари қатламдаги қаттиқ заррачалар оғирлигини мувозанатда ушлайди.



3.38- расм. Донадор заррачалар қатлами баландлиги (а) ва гидравлик қаршилигининг (б) оқим тезлигига боғлиқлиги.

эмас, балки CD чизиғи билан ифодаланади (3.38б-расм). Ушбу ҳодиса **гистерезис** деб номланади. Гистерезис ҳодисасининг пайдо бўлишига сабаб, заррачалар ўртасидаги ўзаро тортишиш кучи, яъни ушбу кучни енгишга қўшимча энергия сарф бўлишидир. Ундан ташқари, мавҳум қайнаш жараёни тугагандан сўнг, қўзғалмас қатлам ғоваклилиги ёки баландлиги мавҳум қайнаш жараёни бошланишдан аввалги қатламникидан бир оз кўп бўлади (3.38-расм). Бунинг исботи расмдаги CD чизиқнинг AB дан тепада жойлашганлигидир.

Агарда жараён яна қайтадан бошланса, яъни газ оқими тезлиги ортиши билан қатламнинг гидравлик қаршилиги AB чизиғи эмас, балки CD чизиғи билан ифодаланади. Хулоса қилиб айтганда, гистерезис ҳодисаси намоён бўлмайди.

Мавҳум қайнаш жараёни эгри чизигининг шакли қатлам ҳолатини ифодалайди. Мавҳум қайнаш жараёни $w_{МК}$ ва $w_{уч}$ тезликлар оралиги билан чегараланади.

Ишчи тезлик w нинг мавҳум қайнаш бошланиши тезлиги $w_{МК}$ га нисбати **мавҳум қайнаш сони** K_w деб аталади ва у қуйидаги кўринишга эга:

$$K_w = \frac{w_0}{w_{МК}} \quad (3.89)$$

Мавҳум қайнаш сони заррачаларнинг аралашиш интенсивлиги ва қатлам ҳолатини ифодалайди.

Кўпчилик ҳолатларда заррачаларнинг интенсив аралашиши $K_w \approx 2$ да бўлиши тажриба йўли билан аниқланган. Аниқ технологик жараён учун K_w нинг оптимал қиймати кенг ораликда ўзгаради ва у тажриба йўли билан топилади.

Газ оқими тезлиги ортиши билан қатлам заррачалари оғирлиги ўзгармайди. Демак, қатламни мавҳум қайнаш ҳолатида ушлаб туриш учун зарур бўлган ΔP ҳам бир хил бўлади. Бу ҳолат 3.38б-расмда CE чизиғи билан ифодаланади. Агар тезлик яна оширилса, мавҳум қайнаш мувозанати бузилиб, қурилмадан газ оқими билан заррачалар ёппасига учиб чиқа бошлайди. Ушбу ҳолатга оид тезлик **учиб чиқиш тезлиги** ёки **иккинчи критик тезлик** деб юритилади ва $w_{уч}$ белги билан ифодаланади.

Бу ҳолатда қатламнинг ғоваклилиги жуда катта бўлади, яъни ε ни қиймати 1 яқинлашиб боради. Агар, ишчи тезлик w_0 қиймати $w_{уч}$ дан озгина ортса, заррачаларнинг қурилмадан ёппасига учиб чиқиши бошланади.

Агар, газ оқими тезлиги аста секин камайтириб борилса, жараён эгри чизиғи ABC чизиқ

Шарсимон шакли ($f \approx 1$), ғоваклилиги $\varepsilon \approx 0,4$ бўлган қатлам мавҳум қайнашининг бошланиш тезлиги проф. О.М.Тодес формуласи ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (3.90)$$

бу ерда

$$Re_{mk} = \frac{w_{mk} d}{\mu}$$

Мавҳум қайнаш бошланиш тезлиги:

$$w_{mk} = \frac{Re_{mk} \mu}{d\rho}$$

(3.90) формуладаги Архимед (Ar) критерийси ушбу формуладан топилади:

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\rho_k - \rho}{\rho}$$

бу ерда: d - заррача эквивалент диаметри, м; ν - муҳит кинематик қовушоқлиги, м²/с; ρ ва ρ_k - муҳит ва заррача зичликлари, кг/м³.

$w_0 > w_{mk}$ бўлган ҳолатда тезлик ортиши билан қатлам кенгаяди ва ғоваклилиги (бўш ҳажми) кўпаяди.

Мавҳум қатлам мувозанати бузилиши ва заррачаларнинг ёппасига учиб чиқиш тезлигини ифодаловчи иккинчи критик тезлик ҳам проф. О.М.Тодес томонидан келтириб чиқарилган формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$Re_{yc} = \frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \quad (3.91)$$

бунда

$$Re_{yc} = \frac{w_{yc} d\rho}{\mu}$$

Учиб чиқиш тезлиги эса:

$$w_{yc} = \frac{Re_{yc} \mu}{d\rho}$$

Қатлам ғоваклилиги $0,4 < \varepsilon < 1$ ораликда бўлганида Re ни ҳисоблаш учун қуйидаги умумлаштирилган формула таклиф этилади:

$$Re_0 = \frac{Ar \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (3.92)$$

Агар, w маълум бўлса ε ни (3.92) формулада топиш мумкин:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 Re_0 + 0,36 Re_0^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (3.93)$$

Ўзгармас қатлам H_K ва мавҳум қайнаш қатлами баландликлари H_{MK} ўртасида қуйидаги боғлиқлик бор.

$$H_{MK}(1 - \varepsilon_{MK}) = H_K(1 - \varepsilon_K) \quad (3.94)$$

бу ерда ε_K ва ε_{MK} - қўзғалмас ва мавҳум қайнаш қатламларининг ғоваклилиги.

Қатламдаги босимлар фарқи ушбу тенгламадан аниқланади:

$$\Delta p = g\rho(1 - \varepsilon)H \quad (3.95)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_K}{\rho_3} \quad (3.96)$$

бу ерда ρ_K - қатлам зичлиги, кг/м^3 ; ρ_3 - қаттиқ заррачалар зичлиги, кг/м^3 .

Қўзғалмас қатлам ғоваклилиги эса:

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_3}$$

бу ерда ρ_T материалнинг «тўқма» зичлиги, кг/м^3 .

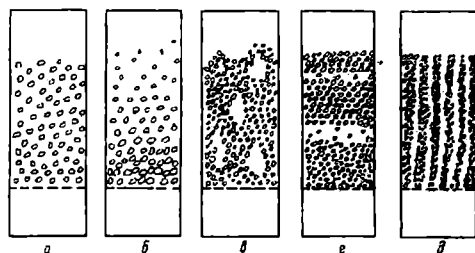
Қаттиқ заррачалар қатламидаги босимлар фарқини ҳисоблаш учун Эрган формуласини қўллаш мумкин:

$$\Delta P = 150 \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} \frac{\mu w}{d_s^2} H + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \cdot \frac{\rho_n w^2}{d_s} H \quad (3.97)$$

Мавҳум қайнаш қатлами бир ва турли жинсли бўлиши мумкин.

Бир жинсли мавҳум қайнаш амалда фақат томчили суюқлик оқимида қаттиқ заррачалар мавҳум қайнаш жараёниди содир бўлади.

Бунда оқим тезлиги w_{MK} дан кўпайиб кетганда қатлам баландлиги ортса ҳам уни тепа чегараси сезиларли даражада тсбранмайди (3.39а-расм).



3.39-расм. Мавҳум қайнаш қатламининг турлари.

а - бир жинсли; б - турли жинсли;
в - барботажли; г - поршенли;
д - каналли.

келади (3.38а-расм). CE ва CE_I нуқтали чизиқлар мавҳум қайнаш қатлами тебраниш оралиғини билдиради.

Турли жинсли қатламнинг мавҳум қайнаш жараёни учун қатламда ҳар хил ўлчамли пуфакчалар мавжудлиги характерлидир. Агар, мавҳум қайнаш со-

Аммо, саноат корхоналарида асосан «қаттиқ жисм газ» системасида мавҳум қайнаш жараёни ишлатилади (3.39б-расм). Одатда, бу система кўпинча, турли жинсли бўлади. Баъзи ҳолларда газ пуфакчаларига эга бўлган мавҳум қайнаш жараёни содир бўлади. Бу пуфакчалар қатлам тепа қисмига етганда ёрилади ва натижада қатлам баландлигининг тебранишига олиб

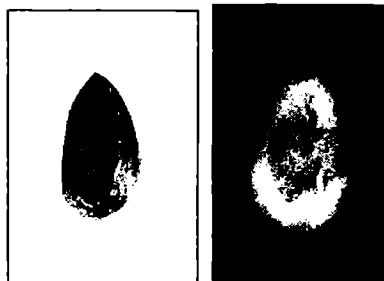
ни кичик бўлса, қатламнинг турли жинсли эканлиги унинг характеристикаларига таъсир этмайди. Аксинча, ҳаракатланувчи пуфакчалар қатламдаги заррачалар аралашинини жадаллаштиради. Лекин, K_w ўсиши билан қатламнинг турли жинслилиги ортади, яъни пуфакчалар ўлчами катталашади ва қатлам тепа чегарасидан қаттиқ заррачалар интенсив равишда улоқтирилади. Пуфакчалар кўндаланг ўлчами қурилма ўлчамигача йириклашиб боради. Натижада **поршенли режим** ҳосил бўлади (3.39-расм). Бу режимда қаттиқ жисм ва газ ўртасидаги ўзаро таъсир ёмонлашади.

Агар, нам ёки жуда майда, ҳамда ёпишқоқ заррачалар мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда **каналли** мавҳум қайнаш жараёни пайдо бўлади (3.39-расм). Канал ҳосил қилувчи қатламнинг энг сўнгги ҳолати бўлиб фаввора қатлам ҳисобланади. Бунда, қурилма ўқи атрофидаги канал орқали газ оқими қатламдан отилиб чиқади.

Донадор-толали материалларнинг мавҳум қайнаши. Маълумки, Ватанизмнинг энг асосий техник хом — ашёси пахта чигитидир. Пахта чигити кўп қатламли, нотўғри шаклли, гетероген система бўлиб, унинг ядроси — коллоид - капилляр ғовакли гель, қобиғи-ёғочсимон тузилишли ва ташқи юзаси куюк пахта толалари билан қоплангандир.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ҳар бир қатлам ўзаро физик механик ва диффузион — иссиқлик хоссалари билан бир биридан кескин фарқ қилади. Умуман олганда эса, пахта чигитини донадор сочилувчан материаллар гуруҳига қўшиб бўлмайди, чунки заррачалар орасидаги тортишиш кучи донадор материалларникидан анча катта ва бу гуруҳга келтириб чиқарилган асосий қонуниятларга бўйсунмайди.

Шунинг учун, кўпинча илмий тадқиқотлар ва назарий таҳлил асосида, пахта чигити алоҳида донадор - толали материаллар гуруҳига ажратиб олинди.



3.40-расм. Туксизланган (а) ва тукли (б) пахта чигити.

Ундан ташқари, пахта чигитининг яна бир неча ўзига хос хусусиятлари борлиги ҳам унга алоҳида ёндошиш кераклигини тақозо этади. 3.40-расмдан кўриниб турибдики, чигитнинг туклилиги ортиши билан унинг эквивалент диаметри ортади ва келтирилган зичлиги камаяди.

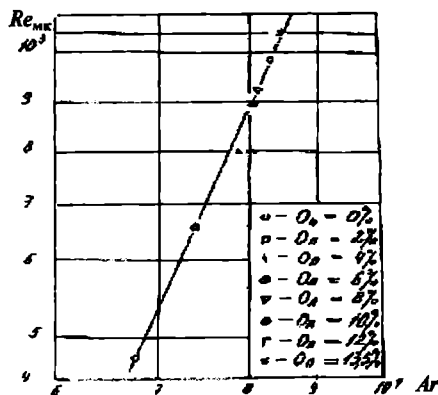
Бундай мураккаб тузилиш ва шакли пахта чигитининг шакл коэффициенти ушбу эмпирик тенгламадан аниқланади [5,6,13]:

$$f = 1,063 + 5,5 \cdot 10^{-2} O_n$$

бу ерда O_n - пахта чигити туклилиги, %.

Чигитнинг физик механик хоссаларини ўрганиш шуни кўрсатадики, унинг туклилиги ортиши билан қатламдаги заррачалар орасида тортишиш кучи кўпаяди. Бунинг яққол исботи мавҳум қайнаш бошланишнинг материал туклилигига боғлиқлик графигида кўриш мумкин (3.41-расм). Агар чигит туклилиги $O_n = 0$ дан $O_n = 13\%$ гача ортса, унда мавҳум қайнаш бошланиш тезлиги 1,2 м/с дан 2,16 м/с гача кўпаяди. Бу албатта чигитнинг туклилиги ва улар орасидаги тортишиш кучлари, ҳамда материалнинг ноксимон, нотўғри шакли билан боғлиқдир.

Донадор-толали материаллар учун мавҳум қайнаш тезлиги бўйича маълумотлар умумлаштириш натижасида ушбу кўринишдаги критериял формула келтириб чиқарилди.



3.41-расм. Донадор-толали материаллар учун Re сонининг Ar критерийсига боғлиқлиги.

$$Re_{mk} = 0,456 \cdot \left(\frac{Ar}{10^6} \right)^{3,63} \quad (3.98)$$

ёки

$$Re_{mk} = \frac{\eta Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

бу ерда η - пахта чигитининг туклилик коэффициенти.

Ушбу коэффициент эса қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\eta = \frac{Re_{mk}}{Re_{mk}^0} \quad (3.99)$$

ёки

$$\eta = 1 + 0,43 \cdot O_n^{0,44}$$

бу ерда Re_{mk}^0 - туклиги $O_n = 0\%$ бўлган чигитнинг мавҳум қайнаш бошланиш тезлиги.

Донадор-толали материал қўзғалмас қатламининг ғоваклилигини ушбу формуладан фойдаланиб топса бўлади:

$$\varepsilon_0 = 0,355 + 0,059\eta \quad (3.100)$$

Қатламнинг гидравлик қаршилиги аномал ўзгарганлиги сабабли ва юқори аниқликдаги ҳисоблаш формуласини келтириб чиқариш учун $\lambda = f(Re)$ функция 3 та зонага бўлинган.

Донадор толали қатламнинг гидравлик қаршилиқ коэффициенти қуйидаги формулалардан топилади:

1 — зона учун ($Re < 350$):

$$\lambda_1 = \frac{312 \cdot p^{-0,57} \exp(0,46 \eta)}{(1,8 \lg Re_m - 1,64)^2} \quad (3.101)$$

2 — зона $Re > 350$ да бошланади ва унинг юқори чегараси Re_{kp} ни ушбу тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$Re_{kp}' = 184,3 \cdot \exp(0,53 \cdot \eta - 0,0248 p_0) \quad (3.102)$$

$$\lambda_2 = 0,86 \cdot p_0^{-0,34} Re_m^{0,516 \cdot \exp(0,082 \cdot \eta)} \quad (3.103)$$

3 — зона учун эса ($Re_{kp} < Re < 4000$):

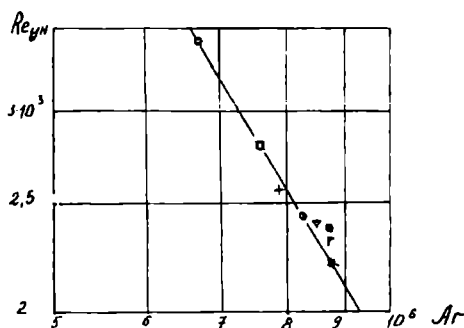
$$\lambda_3 = 6185 Re_m^{-0,9} p_0^{-0,6} \cdot \exp(0,77\eta) \quad (3.104)$$

бу ерда $p_0 = p/p_{атм}$ - нисбий солиштира массавий юклама; Re_m — Рейнольдснинг модификациялашган критерийси, қатлам каналлари эквивалент диаметри d_s орқали ҳисобланади.

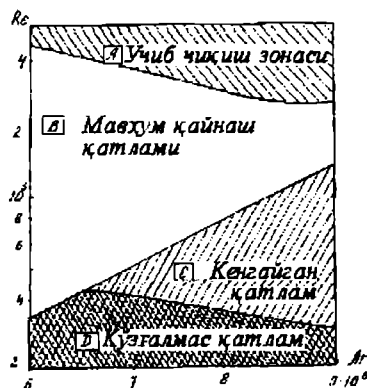
Дастлабки тажрибалардан маълумки, чигитнинг толалиги ортиши билан заррачанинг эквивалент диаметри ортади, зичлиги эса камаяди. Шунинг учун, донатор толали қатлам заррачаларининг учиб чиқиш тезлиги ҳам классик қонуниятларга бўйсунмайди. Тажриба натижаларини умумлаштириш орқали донатор-толали материалларнинг учиб чиқиши тезлигига аниқлаш учун қуйидаги кўринишда формула олинди:

$$Re_{уч} = \frac{\eta^{-0,4} \cdot Ar}{20,16 + 0,683\sqrt{Ar}} \quad (3.105)$$

$Re_{мк}$ ва $Re_{уч}$ қийматлари маълум бўлган донатор-толали материаллар учун қатлам ҳолатларининг мавжуд бўлиш чегараларини топиш осон (3.43-расм).



3.42-расм. Донатор - толали материаллар учун Re сонининг Ar критерийсига боғлиқлиги.



3.43-расм. Донатор - толали материалларнинг кўзгалмас, кенгайган ва мавҳум қайнаш қатлам ҳолатларининг мавжуд бўлиш чегаралари.

Донатор толали кенгайган қатламнинг юқори чегараси мавҳум қайнаш бошланиш тезлиги $Re_{мк}$ билан аниқланса, пастки чегараси эса қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$Re_{гп} = 111(3,9 - \eta) \cdot p_0^{0,18} \quad (3.106)$$

Юқорида келтирилган маълумотлар таҳлили шуни кўрсатадики, донатор-толали материаллар гидродинамикаси чигит туқлилик коэффиценти η га боғлиқдир. Ундан ташқари, η ушбу материаллар қатлам ҳолатларининг мавжуд бўлиш чегараларига ҳам таъсир кўрсатади. Донатор, сочиловчан материаллар учун мавҳум қайнаш қатлами чегаралари Ar критерийси ортиши билан кўпайса, донатор - толали материаллар қатламини эса камаяди.

3.25. Оқимчали мавҳум қайнаш

Ҳозирги кунда кўпгина долзарб муҳандислик муаммоларни ҳал этиш турли муҳитларда газ оқимчалари (тизиллаган оқимлар) нинг тарқалиши билан узвий боғлиқдир.

Оқимчали мавҳум қайнаш жараёни қўзғалмас, мавҳум ва фавворасимон қайнаш қатламли қурилмаларда газ тақсимловчи тешикли панжара мосламаларининг устида қаттиқ ва газ фазали системаларида амалга ошадди. Ушбу жараён мавҳум қайнаш қатламли гранулятор ва қуритгичларда, пневматик аралаштиргичларда, ҳамда қатламга турли - туман пуфлаб ҳаво йўналтирадиган мосламали қурилмаларда ишлатилади.

Оқимчали мавҳум қайнаш жараёни қатламни ташкил қилиш усули бўйича классик (анъанавий) мавҳум қайнашдан оқимчали ҳаракат потенциали имкониятларидан фойдаланишга системали ёндашиши билан фарқланади.

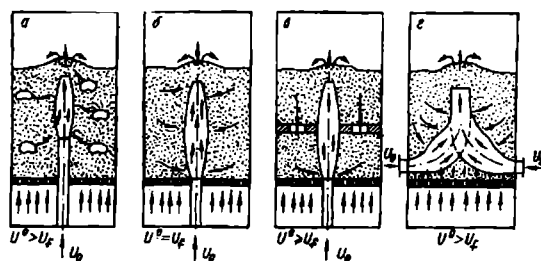
Оқимчали мавҳум қайнаш қатламларида иссиқлик ва масса алмашининг жараёнларини салмоқли интенсивлашга эришиш ва классик мавҳум қайнаш жараёнига характерли камчиликларни бартараф қилиш мумкин. Ундан ташқари, саноат қурилмаларига масштабни ўтиш, газ оқимларини тақсимлаш ва қатлам тузилишини бошқариш масалалари осонлашади. Айрим жараёнлар (колчеданни флотация қилиш, оҳактошни куйдириш ва бошқалар) да айнан оқимчали мавҳум қайнаш қатламли қурилмалардан ишончли фойдаланишни таъминлайди.

Оқимчали мавҳум қайнаш жараёни «газ қаттиқ заррача» системасида фазалар ўзаро таъсирини ташкил этишнинг янги усулларини яратиш имкониятини туғдиради. Бу усуллардан энг асосий ва самаралиси-қурилма реакцион зонасини параллел – оқимчали секциялашдир.

Қатламга киритилаётган оқимчалар сони ва шакли турлича бўлиши мумкин: думалоқ ва ясси, сони эса бир ва ундан ортиқ.

Оқимчаларни қўллашдан асосий мақсад, мавҳум қайнаш сифатини яхшилаш ва бир жинсли қатлам ҳосил қилиш. Ушбу усулни тадбиқ этишда техник қийинчиликлар йўқ. Одатда оқимчаларда ҳаво сарфи мавҳум қайнаш жараёнидаги умумий сарфнинг 6..15% ни ташкил этади. Оқимчаларнинг минимал тезлиги заррачалар учиб чиқиш тезлигидан 10 ва ундан ортиқ марта кўп бўлади.

3.44-расмда «газ - қаттиқ заррача» системасида фазалар ўзаро таъсирини ташкил этиш усуллар схемаси келтирилган:



3.44-расм. «Газ - қаттиқ заррачалар» системасида фазалар ўзаро таъсирини ташкил этишнинг принципиал схемалари.

а-турли жинсли мавҳум қайнаш қатламининг ўрта ва юқори қисмига оқимча узатиш; б-минимал мавҳум қайнаш тезлигида қатламга оқимча узатиш; в-перфорацияли диск тешиги орқали оқимча узатиш; г-бир-бирига йўналган оқимчалар мавҳум қайнаш қатламида.

Гидродинамик фаол оқимча қатламнинг турли жинсли юқори қисмини яхши аралаштирилган қатлам ҳолатига олиб келиши мумкин (3.44а-расм). Агарда, минимал мавҳум қайнаш ҳолатидаги қатламга оқимча (3.44б-расм) киритилса, жараён интенсивлашади. Лекин, шуни алоҳида таъкидлаш керакки, иккала ҳолатда ҳам қурилманинг гидравлик қаршилиги пасаяди. Агар оқимча

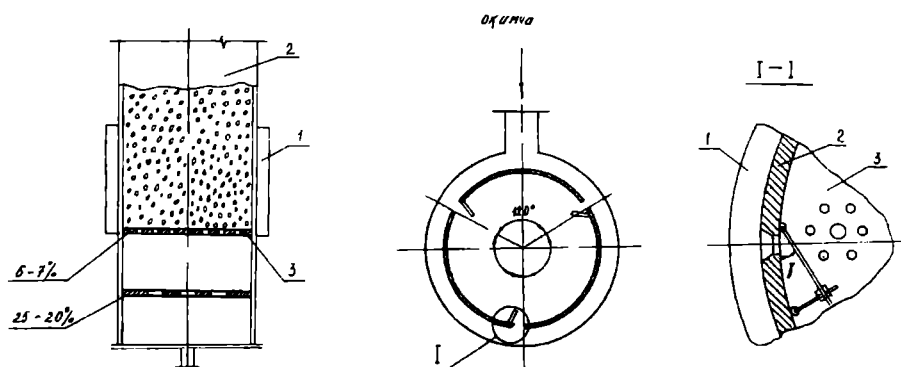
3.44в расмда кўрсатилгандек, яъни қатламда жойлаштирилган тешикли панжара ўқидаги катта тешик орқали узатилса, қаттиқ заррача циркуляция тезлиги ортади. Ушбу ҳолатда қаттиқ заррачалар тартибли, циркуляцияли қатлам ҳосил қилади. 3.44г - расмда бир - бирига йўналган горизонтал оқимчалар ёрдамида мавҳум қайнаш жараёнини барпо этиш мумкин. Бунда иккала оқимча бир - бири билан тўқнашиб, тартибли қатлам ташкил қилинади. Саноат миқёсида бундай системалар микробиологик синтез маҳсулотларини грануллаш учун қўлланилади.

Икки оқим (асосий ва оқимча) ёрдамида мавҳум қайнаш қатламини ташкил этиш, донатор қатламни қурилмаларни лойиҳалашда янги йўналиш очиб берди. Бундай қурилмалар гидродинамик фаол оқимчалар ҳаракати натижасида интенсив циркуляцияли бўлади ва сульфат аммоний, хамир - туруш ишлаб чиқариш саноати қолдиқлари, кунжара ва бошқа материалларни грануллаш учун ишлатилади. Яна шуни алоҳида айтиб ўтиш керакки, классик мавҳум қайнаш қатламни қурилмаларга қараганда оқимчали мавҳум қайнаш қатламни қурилмаларда иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнлар тезлиги 3-6 марта интенсив бўлади.

Шуни айтиш керакки, юқорида келтирилган ҳамма усул ва қурилмалар донатор, сочилувчан материаллар учун тўғри келади.

Лекин, донатор толали материаллар (масалан, пахта чигити ва унинг натижасида ҳосил бўлган иккиламчи маҳсулотлар) учун кўриб чиқилган усуллар яхши натижа бермайди [5,6]. Бунга сабаб, пахта чигитининг момиқлигидир. Маълумки, чигит ташқи юзасидаги пахта толалари (~8...12%) заррачалар ўртасида тортишиш кучларини ҳақдан ташқари қўпайишига олиб келади. Ундан ташқари, пахта чигитининг томчисимон, нотўғри шаклга эгаллиги уни мавҳум қайнаш ҳолатига қийин ўтишининг сабабчисидир.

Юқорида таклиф этилган усулларнинг бирортаси ҳам пахта чигитини мавҳум қайнаш ҳолатига ўтказиш бўйича ижобий натижалар бермади. Шунинг учун ушбу дарслик муаллифлари томонидан пахта чигитини турғун, сифатли мавҳум қайнаш ҳолатига ўтказиш учун ясси оқимчалардан фойдаланиш тавсия этилди (3.45-расм).



3.45-расм. Донатор - толали материаллар учун оқимчали мавҳум қайнаш қатламни қурилма.

1 - қобик; 2 — оқимча узатиш ҳалқаси; 3 - тешикли панжара;
4 - оқимча кириш штуцери; 5 - умумий оқим кириш штуцери.

Донатор - толали материалларни мавҳум қайнаш ҳолатига ўтказиш учун қўзғалмас, кенгайган қатламга ясси оқимча киритилди. Натижада, мавҳум қайнаш сони $K_w < 1,4$ да мавҳум қайнашга эришилди. Бу эса, ҳаво оқими сар-

фини 30...40% гача тежаш имконини яратади. Кенгайган ($H/H_0 > 1$ бўлган) қатламга гидродинамик фаол ясси оқимча юбориш натижасида қуйидаги масалаларни ҳал этса бўлади:

- энергия сарфи кам режимларда донатор - толали қатламларни мавҳум қайнаш ҳолатига ўтказиш мумкин;

- ясси оқимчани девор яқинидаги зонага йўналтириш натижасида классик мавҳум қайнаш қатламининг асосий камчиликлари бартараф қилинади;

материалнинг толалик коэффициентига қараб, $K_p \leq 1,4$ гача бўлган ораликда мавҳум қайнаш жараёнини ташкил этиш мумкин.

Оқимчали мавҳум қайнаш жараёнида донатор толали қатламнинг говаклилиги ушбу формула ёрдамида аниқланади:

$$\varepsilon = A \cdot Re^x \cdot \exp(0,122 \cdot \eta) \quad (3.107)$$

бу ерда A ва x нинг қийматлари газ оқимининг тезлигига боғлиқ. Бунда коэффициент $A = 0,127...0,265$ ва даража кўрсаткичи $x = 0,103...0,212$ га тенг.

3.26. Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар

Технологик жараёнлар бориш шароитларини, ишлаб чиқарилаётган маҳсулот сифатига қўйиладиган талабларни ўзаро таъсирда бўлган моддаларнинг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олувчи жуда кўп мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар конструкциялари яратилган. 3.46-расмда мавҳум қайнаш қатламли қурилмаларнинг айрим конструкциялари кўрсатилган.

Ишлаш принципитига қараб даврий ва узлуксиз ишлайдиган қурилмалар бўлади. Узлуксиз қурилмаларда газ оқими ва донатор материал ўзаро таъсир қилиб, унга узлуксиз равишда юкланади ва қурилмадан тўкилади.

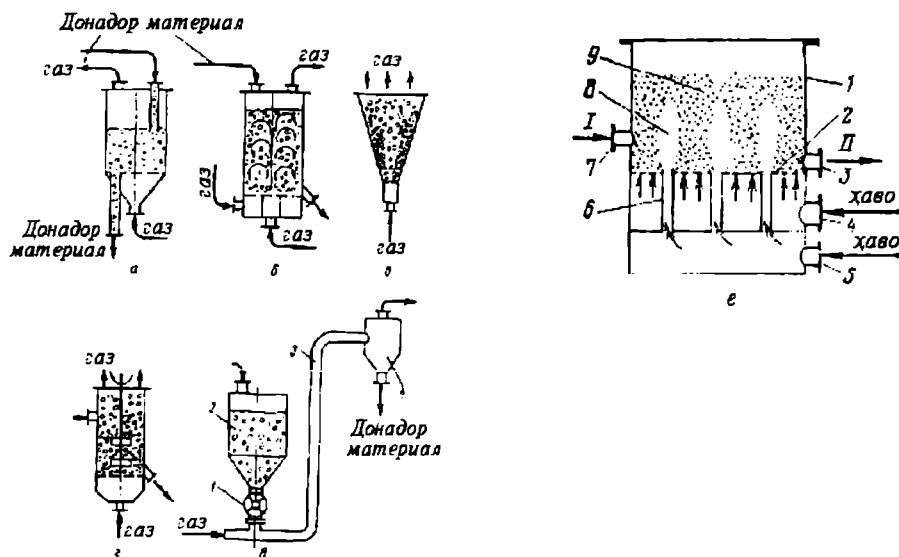
Жараёнда қатнашувчи қаттиқ материал ва газ оқимининг ҳаракат йўналиши бир хил, қарама - қарши ва кесишган йўлли бўлиши мумкин.

Узлуксиз ишлайдиган, қарама - қарши йўлли цилиндрик қурилмаларда газ оқими тақсимловчи тешикли панжара остига узатилса, материал эса қурилманинг тепа қисмидан юкланади (3.46а-расм). Газ тақсимловчи тешикли панжара устида донатор материалнинг бир хил сатҳини таъминлаш ва қурилмадан чиқариш учун оқиб ўтувчи патрубклар хизмат қилади.

Вертикал цилиндрсимон қурилмалар катта миқдордаги дон-дунларни йиғиб қўйиш учун ишлатилади (3.46б-расм). Газ тақсимлаш камераси ясси тўб ва тешикли панжаралар орасида жойлашган иккита цилиндрдан иборат. Бу конструкцияли камераларда концентрик тўсиқ уни иккита, яъни ички ва ташқи ҳалқаларга бўлади. Ташқи ҳалқа бўшлиғига, ичкарисинга қараганда 2 марта кўп газ юборилади. Турли миқдорда газ узатилгани сабабли, қурилмада дон маҳсулотининг йўналтирилган циркуляцияли ҳаракати пайдо бўлади. Натижада материал интенсив аралашади ва заррачалар ҳаракати қурилма ўқидан цилиндрик девор томонга йўналган бўлади.

Конуссимон қурилмаларда пастдан юқорига қараб тезликнинг пасайиши полидисперс материалларни мавҳум қайнатиш имконини яратади (3.46в-расм). Газ оқими катта тезликда қурилма тубидаги штуцер орқали юборилади. Ушбу ҳолатда қурилмага газ тақсимловчи тешикли панжара ҳам ўрнатилмаса бўлади. Тешикли панжарасиз қурилмаларда ёпишқоқ материалларни ҳам мавҳум қайнаш жараёнидан фойдаланиб қуритса бўлади. Агар, конуслик бурчаги катта бўлса, газ оқимининг қурилма девори яқинида фаоллиги камаяди ва конус ўқи бўйлаб узлуксиз канал барпо бўлиши мумкин. Ушбу канал орқали катта тезликда «газ қаттиқ заррача» аралашмаси ҳаракат қилиб, қатламдан отилиб чиқиб, қаттиқ заррачалар фаввораларини ҳосил қилади. Бундай қатлам **фавворасимон қатлам** деб аталади. Диаметри 25...40 мкм ўлчамли ёпишқоқ ва элек-

тролизацияга мойил майда заррачалар мавҳум қайнаш жараёнида яхши аралашини таъминлаш ва ҳаракатсиз зоналарни бартараф қилиш мақсадида, ҳамда иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнларини интенсивлаш учун газомеханик мавҳум қайнаш усулидан фойдаланилади (3.46г,д-расм). Қатламга қўшимча энергия узатиш турли хил аралаштиргич ва тсбратгичлар ёрдамида амалга оширилади (3.46 г-расм).

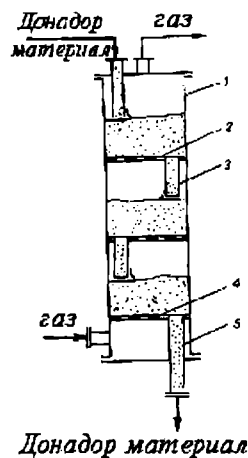


3.46-расм. Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар схемалари.

а — цилиндрик узлуксиз ишлайдиган, қарама қарши йўлли; б -йўналтирилган циркуляцияли; в - конуссимон; г - аралаштиргич мосламали; д пневмотранспорт мосламали: 1 шлюзли тамба; 2 - бункер; 3 - паст босимни ҳаво қувури; 4 - циклон; е — фаол оқимчали: 1- қобиқ; 2- тўр парда; 3,5,7- штуцерлар; 6- соплло; 8- фаол оқимча; 9- мавҳум қайнаш қатлами.

Пневмотранспорт усули ва мосламаси
донадор материалларни труба қувурлари орқали маълум масофага ёки баландликка узатиш учун мўлжалланган (3.46д-расм). Донадор материал шлюзли тамба ёрдамида ҳаво узатиш қувурига қадокланиб тушурилади. Мавҳум қайнаш қатлами газ ва қаттиқ фазаларга циклонда амалга оширилади.

Узлуксиз ишлайдиган секцияли қурилма. Жараённинг ҳаракатга келтирувчи кучини камайтишга олиб келувчи тескари аралашини камайтириш ва жараён температурасини бир хил қилиш мақсадида қарама қарши йўлли қурилмаларда секциялаш қўлланилади (3.47-расм). Бунинг учун қурилма баландлиги бўйлаб тешикли панжалар ёрдамида донадор материал қатлами бўлинади. Донадор материалнинг юқори секциялардан пастга қараб ҳаракатланиши, оғирлик кучи таъсирида амалга ошади.



3.47-расм. Узлуксиз ишлайдиган секцияли қурилма.

1 - қобиқ; 2 - газ тақсимловчи тешикли панжара; 3 - оқиб ўтиш мосламаси; 4 - донадор қатлам; 5 - ишлатилган адсорбентни тўкиш трубаси.

3.27. Умумий тушунчалар

Суспензия ва эмульсиялар ҳосил қилиш учун суюқлик муҳитларида аралаштириш жараёни қўлланилади. Пластик ва сочилувчан материалларни қориштиришдан мақсад, таркибида қаттиқ, суюқ ва пластик қўшимча моддали, бир жинсли асосий масса олишдир.

Аралаштириш пайтида иссиқлик, масса ва биокимёвий жараёнлар интенсивлашади. Аралаштириш жараёнини амалга ошириш учун турли усуллар ва аралаштиргич конструкциялари қўлланилади.

Аралаштириш сифати фазаларни қориштириш даражаси билан характерланади.

Аралаштириш қурилмасининг бутун ҳажмидаги фазаларни қориштириш даражаси I қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$I = 1 - \frac{\sum_1^m \frac{\Delta x'}{100 - x_{ap}} + \sum_1^n \frac{\Delta x''}{x_{ap}}}{m + n} \quad (3.108)$$

бу ерда m – таҳлил учун олинган намуна, $\Delta x > 0$; $\Delta x'$ – аралаштиргичдаги мусбат концентрациялар фарқи ва у ушбу формуладан топилади $\Delta x' = x - x_{ap}$; x_{ap} идеал қориштиришда аралашмадаги заррачалар концентрацияси бўлиб, у қуйидаги формуладан аниқланади:

$$x_{ap} = \frac{100V_k \rho_k}{V_c \rho_c + V_k \rho_k}$$

бу ерда V_k – асосий массада (суюқликда) тақсимланган қаттиқ заррачалар ҳажми; ρ_k, ρ_c аралашмадаги қаттиқ заррача ва суюқлик зичликлари; V_c – суюқлик ҳажми; n – таҳлил учун олинган намуналар сони, $\Delta x'' < 0$; $\Delta x''$ – манфий концентрациялар фарқи, $\Delta x'' = x - x_0$ формуладан ҳисоблаб топилади.

Фазаларни қориштириш даражаси 0 дан 1 гача ўзгариши мумкин. Агар, компонентлар идеал қориштирилса, $I = 1$ га тенг бўлади.

3.28. Суюқликни аралаштириш усуллари

Суюқликларни аралаштириш пневматик, циркуляцияли, статик ва механик усулларда олиб борилади.

Пневматик аралаштириш учун сиқилган газ (кўпинча сиқилган ҳаво) суюқлик қатлами орқали ўтказиш йўли билан амалга оширилади. Суюқлик қатламида газни бир текисда тақсимлаш учун барботер ишлатилади. Барботернинг тешикчали трубалари аралаштиргич тубига ўрнатилади. Бу усул ўртача қовушоқликка (~200 Па·с) эга суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Жараён тезлиги паст ва энергия сарфи кўп бўлади.

Айрим ҳолларда аралаштиришни инжекторлар ёрдамида ҳам амалга оширилади. Сиқилган ҳаво ёрдамида аралаштириш учун эрлифт принципини ҳам қўлласа бўлади.

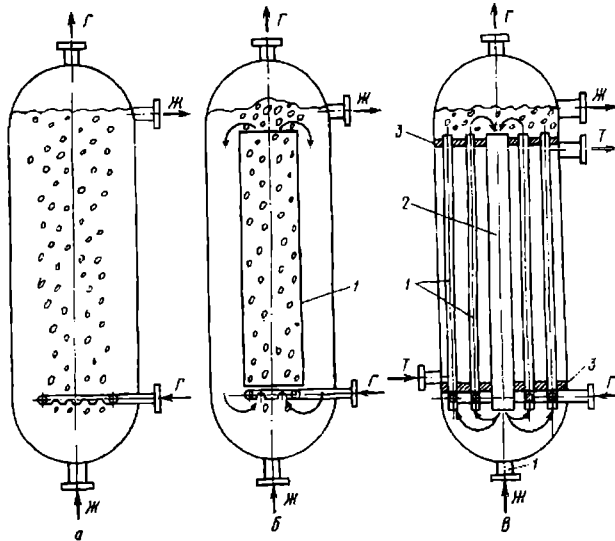
Аралаштиргичда суюқлик эркин юзаси бирлигидан вақт бирлигида ўтаётган газ миқдорига аралаштириш интенсивлиги деб аталади.

Саноатда қуйидаги газ сарфлари ишлатилади:

т/р	Аралаштириш интенсивлиги	Газ сарфи, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$
1.	Паст	0,4
2.	Уртгача	0,8
3.	Юқори	1,2

Пневматик аралаштириш усулининг қўлланиши чекланган бўлади, чунки айрим ҳолларда зарарли жараёнлар, яъни оксидланиш ёки маҳсулотнинг бугланиши юз бериши мумкин. Шунинг учун, ушбу усул газ ва суюқ фазалар ўзаро тўқнашуви рухсат этилган ҳолларда ишлатилиши мақсадга мувофиқдир.

3.48-расмда пневматик аралаштиргичларнинг айрим конструкциялари келтирилган.



3.48-расм. Сиқилган ҳаво ёрдамида аралаштириш.

- а - марказий барботерли; б - газлифт (эрлифт) трубали; в - газлифт ва марказий циркуляция труба-ли қобиқ - трубали қурилма.
 1 - газлифт трубалари; 2 - циркуляция труба-си;
 3 - тешикли труба панжалари; с - суюқлик; г - газ;
 из - иссиқлик элткич

Агар, сиқилган ҳаво қурилманинг пастки қисмига юборилса, унда эрлифт ҳосил бўлади (3.48а-расм). Ҳаво қурилманинг қанчалик юқори қисмига узатилса, шунчалик сиқилган ҳаво энергия сарфи кам бўлади. Шунинг учун, ҳавони баландлиги кам қатламларга юбориш керак, яъни пневматик аралаштириш учун диаметри катта, баландлиги кичик бўлган қурилмаларни қўллаш мақсадга мувофиқдир.

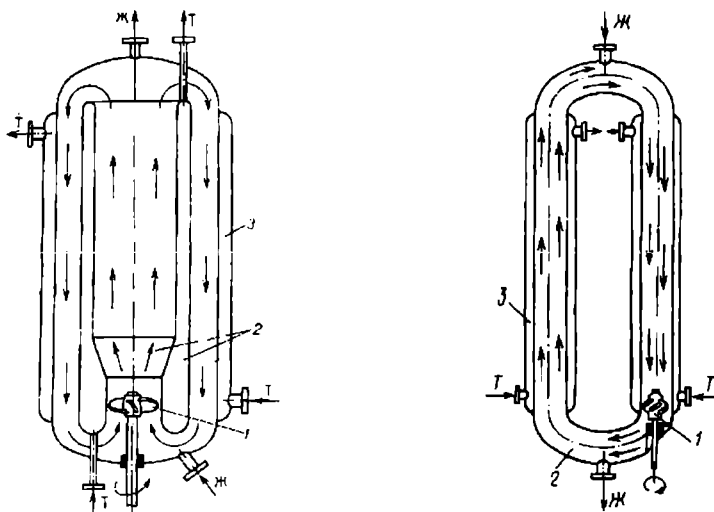
Пневматик аралаштириш жараёнини интенсивлаш учун қурилмаларда газлифт (эрлифт) трубалари ўрнатилади. Ушбу трубалар суюқликни кўп марта циркуляция қилишини таъминлайди (3.48б-расм). Бунинг учун, икки томони очиқ газлифт труба қурилма марказига жойлаштирилади. Сиқилган ҳаво газлифт труба-си ичига узатилади ва кўтарилувчи оқим қанчалик катта бўлса, аралашиш шунчалик самарали бўлади.

Иссиқликни узатиш ва ажратиш олиш учун газлифт ва марказий циркуляция трубали қурилмалар яратилган (3.48в-расм).

Циркуляцияли аралаштириш, насос ёрдамида амалга оширилади. Бунда, «аралаштиргич — насос — аралаштиргич» ёпиқ системасида суюқлик узлуксиз айланиб юради.

Аралаштириш жараёнининг интенсивлиги, циркуляция карралигига, яъни вақт бирлигига насос иш унумдорлигининг, қурилма ичидаги суюқлик ҳажми нисбатига боғлиқ. Айрим ҳолларда насослар ўрнига буг инжекторлари қўлланиши ҳам мумкин.

Ундан ташқари, турли соҳаларда йўналтирувчи труба (диффузор)ли винтсимон аралаштиргичлар ҳам ишлатилади (3.49-расм).



3.49-расм. Диффузорли ва винтсимон аралаштиргичли қурилма.

1 — винтсимон аралаштиргич; 2 — иссиқлик алма-
шиниш камерали диффузор; 3 — гилоф; из — ис-
сиқлик элткич; с — аралаштирилаётган суюқлик.

Бу турдаги қурилмаларда ёпиқ циркуляцион контур ҳосил қилинади. На-
сос вазифасини одатда уч парракли винтсимон аралаштиргич бажаради. Шу-
нинг учун, бундай аралаштиргичлар ҳисоби ўқли насослар ҳисобига ўхшашдир.

Статик аралаштириш. Қовушоқлиги ўртача суюқлик, ҳамда газ суюқлик
билан аралаштириш бирорта фазанинг кинетик энергияси ҳисобига статик
аралаштиргичларда олиб борилади (3.50-расм).

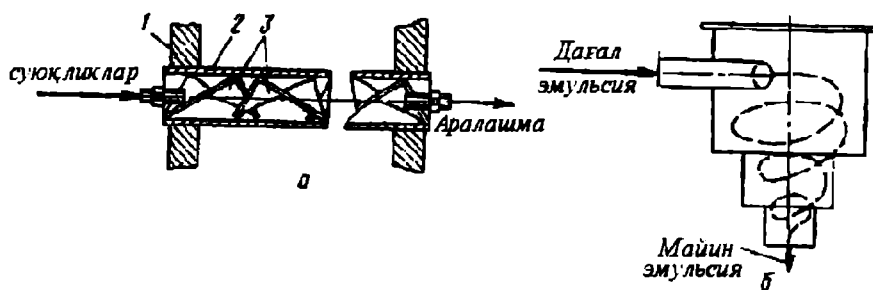
Одатда, статик аралаштиргичлар реакторгача бўлган труба қувурига ёки
бевосита реакторнинг ўзига ўрнатилади.

3.50а-расмда газ ва суюқликларни аралаштириш учун мўлжалланган но-
симметрик, легирланган пўлат пластиналарни бураш йўли билан олинган яса-
ма элементли аралаштиргич тасвирланган.

Ҳар бир элементнинг геометрик характеристикалари бураш бургачи ва
йўналиши, ҳамда элемент диаметрининг узунлигига нисбати билан ифодала-
нади. Ўрнатилиши зарур бўлган элементлар сони суюқлик қовушоқлигига,
ҳамда аралаштирилаётган суюқликлар қовушоқлиги нисбатига боғлиқдир.
Агар, суюқлик ва фазалар ўртасидаги қовушоқликлар фарқи қанча катта бўлса,
шунчалик кўп элементлар ўрнатилиши зарур.

3.50б-расмда ёғ фосфатидли эмульсиясини ишлаб чиқариш учун
мўлжалланган уюрмали эмульсор кўрсатилган. Босим 0,3...0,36 МПа бўлганда,
уюрмали эмульсор юқори самарали эмульгация қилишни таъминлайди. Бу
турдаги қурилмалар содда, тайёрланиши осон ва фойдаланишда қулай. Ишлаш

принципи - марказдан қочма пуркагич эффектига асосланган. Олинган 3 мкм ўлчамли заррачалардан таркиб топган эмульсия 24 соат давомида ҳам қатламларга ажрмайди.



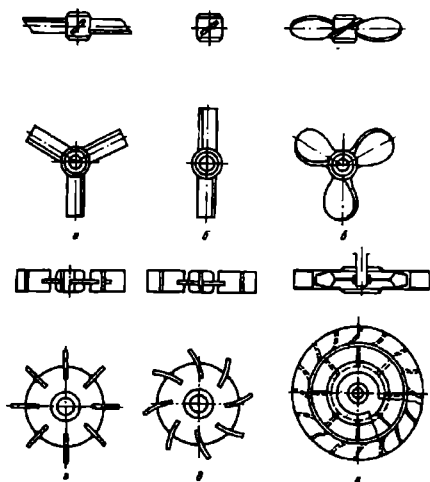
3.50-расм. Статик аралаштиргичлар.

а - цилиндрик, ясама элементи; б - эмульсор.

1 - фланец; 2 - қобик; 3 - аралаштирувчи элемент

Механик аралаштириш «суюқлик суюқлик», «газ суюқлик» ва «газ-суюқлик қаттиқ жисм» системали гидромеханик, иссиқлик ва масса, ҳамда биокимёвий жараёнларни интенсивлаш турли хил аралаштириш мослама (аралаштиргич) лар ёрдамида амалга оширилади. Аралаштиргич, айланувчи ўқга ўрнатилган, турли хил парраклардан таркиб топган мослама.

Кимё ва бошқа саноатларда қўлланиладиган ҳамма аралаштириш мосламаларини 2 гуруҳга ажратса бўлади: биринчи гуруҳга парракли, турбинали ва пропеллерли; иккинчи гуруҳга махсус винтли, шнекли, лентали, ромли, якорли, пичоқли ва бошқа мосламалар киради. Биринчи гуруҳ суюқликлар учун бўлса, иккинчиси эса - пластик ва сочилувчан материалларни аралаштириш учун хизмат қилади.



3.51-расм. Аралаштиргичлар турлари.

а - уч парракли; б - икки парракли;
в - пропеллерли; г - турбинали очик;
д - қия парракли, турбинали, очик;
е - турбинали ёпиқ.

Ишчи органининг айланиш частотасига қараб аралаштириш мосламалари секин ва тез юрар гуруҳларга бўлинади.

Парракли, лентали, якорли ва шнекли аралаштиргичлар секин юрар мосламалар қаторига киради (3.51а,б-расм). Уларнинг айланма частотаси 30...90 мин⁻¹, қовушоқ муҳитларда паррак учигаги айланма тезлиги - 2...3 м/с.

Парракли аралаштиргичлар афзалликлари: мослама содда ва нархи қиммат эмас.

Камчиликлари айланиш ўқи бўйлаб суюқлик оқими кичик бўлади, натижада аралаштиргич ҳажмида

суюқлик тўлиқ аралашмайди. Ўқ бўйлаб суюқлик оқими ҳаракатини жадаллаштириш учун парраклар оғиш бурчаги 30° га тенг бўлиши керак.

Якорли аралаштиргичлар қурилма тубининг шаклига мос бўлади. Бу турдаги мосламалар қовушоқ ва ўта қовушоқ суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Якорли мосламалар ишлаш даврида қурилма девори ва тубини ёпишиб қолган ифлосликлардан тозалаш қобилиятига эга.

Шнекли аралаштиргичлар винтсимон шаклли бўлиб, қовушоқ суюқликларни қориштириш учун мўлжалланган.

Пропеллер ва турбинали аралаштиргичлар тез юрар мосламалар қаторига киради. Уларнинг айланиш частотаси $100\ldots 3000 \text{ мин}^{-1}$, айланма тезлиги $3\ldots 20 \text{ м/с}$.

Пропеллерли аралаштиргичлар 2 ёки 3 парракли қилиб ясалади (3.51в-расм). Ушбу мосламаларга насос эффекти хос бўлади ва суюқликнинг интенсив циркуляциясини ҳосил қилиш учун ишлатилади. Қовушоқлиги 2 Пас бўлган суюқликларни аралаштириш учун қўллаш мумкин.

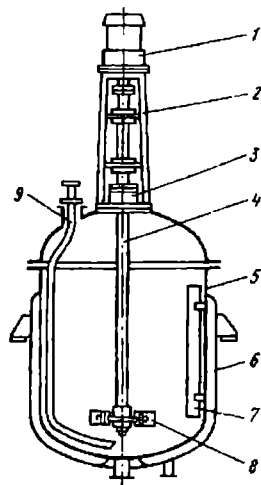
Турбинали аралаштиргичлар турбина ғилдираклари шаклида бўлиб, парраклари ясси, қия ва эгри чизикли бўлиши мумкин (3.51г,д,е-расм). Улар очик ва ёпиқ турли бўлади. Турбина ғилдирагининг ишлаш принципи марказдан қочма кучлар таъсирига асосланган. Ёпиқ аралаштиргич иккита дискдан иборат бўлиб, суюқлик ўтиши учун тешиги бор. Ҳам радиал, ҳам турбина ўқи бўйлаб оқимлар ҳосил қилиш учун қия парракли, турбинали аралаштиргичлардан фойдаланилади. Турбинали мосламалар қурилманинг бутун ҳажмида суюқликни интенсив аралаштиради. Суюқликнинг айлана бўйлаб ҳаракатини камайтириш ва қурилмада ўрама ҳосил бўлишини бартараф қилиш учун цилиндрсимон қайтарувчи тўсиқлар ўрнатилади.

Турбинали аралаштиргичлар қовушоқлиги 500 Пас гача бўлган суюқликларни ва дағал суспензияларни аралаштириш учун қўлланилади.

Қопқоқли қобиқ, узатма ва аралаштиргичлардан ташкил топган типик қориштиргич 3.52-расмда кўрсатилган.

Ишчи ғилдирак $200\ldots 2000 \text{ айл/мин}$ частота билан айланма ҳаракатланади. Турбина ғилдираги марказдан қочма куч таъсирида суюқликка тегишли энергия беради. Суюқлик аралаштиргич марказий тешигидан кириб, у ерда марказдан қочма куч таъсирида тезланиш олган ҳолда радиал йўналишида чиқиб кетади. Турбинада суюқлик вертикал йўналишдан горизонталга ўтади ва ундан катта тезликда чиқиб кетади. Бу турдаги қурилманинг самарадорлиги юқори.

Турбинали аралаштиргич диаметри қурилма қобиғи диаметрининг $0,15\ldots 0,35$ улушини ташкил этади. Бу қурилмалар қовушоқлиги $1\ldots 700 \text{ Пас}$ га тенг суюқликларни аралаштириш учун мўлжалланган.



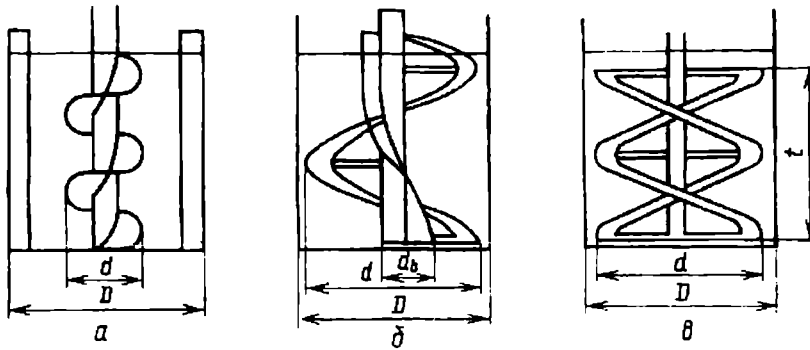
3.52-расм. Аралаштиргичли қориштиргич.

1 - узатма; 2 - узатма та-янчи; 3 - зичлагич; 4 - ўқ; 5 - қобиқ; 6 - ғилоф; 7 - қайтарувчи тўсиқ; 8 - аралаштиргич; 9 - труба.

3.29. Пластмассаларни аралаштириш

Кимё саноатида пластик массаларни аралаштиришда, озиқ-овқат саноатида нон ёпиш, макарон ва қандолат маҳсулотларини ишлаб чиқаришда қўлланилади. Бу жараёнда на фақат турли компонентлар қориштирилади, балки, хамир эзиб қориштирилади, ҳаво билан тўйинтирилади ва маълум бир хоссаларга эга бўлади.

Аралаштириш жараёни даврий ва узлуксиз қориштиргичларда олиб борилиши мумкин. Бу турдаги қурилмалар ичида ромли, шнекли ёки лентали аралаштиргичлар вертикал ёки горизонтал ўқда ўрнатилади (3.53-расм).



3.53-расм. Шнекли (а) ва лентали (б, в) аралаштиргичлар схемаси.

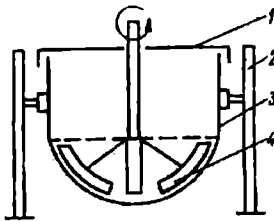
Шнекли аралаштиргич истеъмол қилаётган қувватни аниқлаш учун ушбу тенглама қўлланиши мумкин:

$$Eu_m = \frac{71}{Re_m}$$

ёки

$$N = Ad_m \cdot n^2 \mu \quad (3.109)$$

бу ерда d_m - аралаштиргич диаметри; A - аралаштиргич мосламасининг геометрик нисбатлари функцияси сифатида топиладиган коэффициент.



3.54-расм. Хамир тайёрлаш қурилмаси.

1 - қопқоқ; 2 - таянч; 3 - қобик; 4 - қориштириш мосламаси.

Кам ва юқори қовушоқли қандолат маҳсулотлар (вафли, би-сквит ва бошқа хамирлар) ни, ҳамда қандолат массаларини сочилувчан компонентлар (кекс хамирларини майиз, оксил массасини ёнғоқ) билан қориштириш учун иккита спиралсимон ишчи органи тоғарасимон шакли аралаштиргичлар қўлланилади.

Аралаштириш жараёни юпқа қатламда олиб борилгани сабабли, юқори даражада интенсивлашга эришиш мумкин.

Қурилма туби шаклида ясалган, 90° бурчак остида ўрнатилган 4 парракли қориштириш мосламали аралаштиргичда ширинликлар хамири тайёрланади (3.54-расм).

Аралаштиргичнинг айланиш частотаси 12 мин^{-1} Қорингириш жараёни тугагандан сўнг, қобиқ 3 ағдарилади, яъни қопқоқ 1 очилади ва хамир тўкилади.

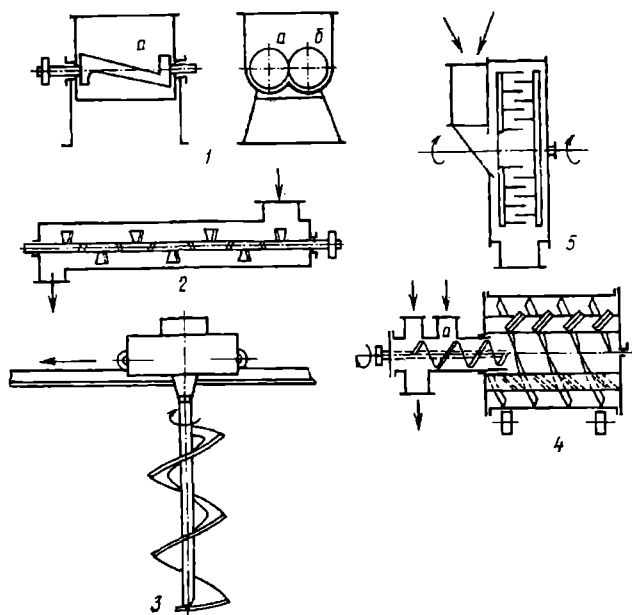
3.30. Сочилувчан материалларни аралаштириш

Одатда сочилувчан материалларни аралаштириш учун мўлжалланган қурилмалар ишлаш принципи, тезлик характеристикалари ва конструктив белгиларига қараб гуруҳларга ажратилади.

Ишлаш принципига қараб даврий ва узлуксиз ишлайдиган аралаштириш қурилмалари бўлади. Даврий ишлайдиган қурилмаларга барабанли, лентали, марказдан қочма, айланувчи роторли, червяк парракли ва мавҳум қайнаш қатламли аралаштиргичлар киради. Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларга эса — барабанли, червяк - парракли, роторли ва бошқа турдаги аралаштиргичлар киради.

Тезлик характеристикаларига қараб тез ва секин юрар қурилмалар бўлади. Тез юрар аралаштиргичлар бир ва икки поғонали бўлиши мумкин. Биринчи поғона иситиладиган, иккинчиси эса - совутиладиган бўлиши мумкин.

3.55-расмда аралаштиргичларнинг асосий турлари келтирилган.



3.55-расм. Сочилувчан материаллар аралаштиргичларнинг асосий турлари.

1 - парракли; 2, 3 - шнекли; 4 - барабанли;
5 - зарбали.

Парракли аралаштиргич қарама қарши йўналишда айланадиган z симон m ва n парраклардан таркиб топган.

Қурилмага узатилган материал парракларнинг айланиши туфайли самарали қориштирилади. Шнекли қурилмаларда бир вақтнинг ўзида материаллар ҳам қориштирилади, ҳам маълум масофага узатилади (3.55 б-расм).

3.55 в-расм шнекли аралаштиргичнинг яна бир тури келтирилган бўлиб, унда бир қатор вертикал шнеklar ҳаракатчан ромларга ўрнатилган бўлади.

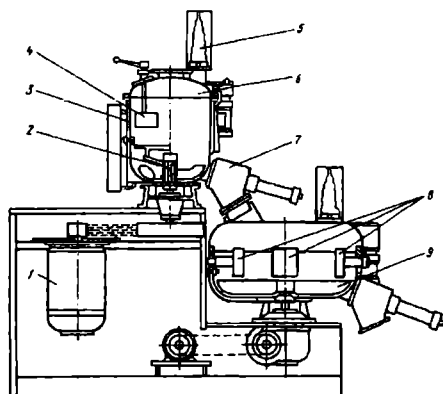
Бундай қурилмаларда айлантирувчи шнск ромлар аралаштириладиган материал билан бирга силжийди.

Барабанли қурилмаларда аралаштириш жараёни барабанда амалга оширилади (3.55-расм).

Зарбали қурилмаларда жараёнинг интенсивлиги аралаштириладиган материалга билаларнинг кўпдан — кўп уриниши натижасида ҳосил бўлади (3.55д-расм).

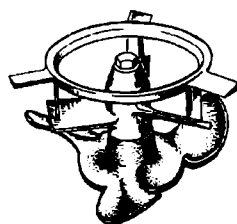
Икки поғонали, марказдан қочма турбоқориштиргичнинг умумий кўриниши 3.56-расмда тасвирланган.

Бундай аралаштиргичлар кукунсимон, қовушоқ ва суюқ материалларни қориштириш учун қўлланилади. Қурилманинг биринчи поғонаси аралашмани гомогенлаш учун, иккинчиси эса уни совитиш учун хизмат қилади. Қориштиргич ичида уч парракли аралаштиргич ва пичоқлар комбинациясидан таркиб топган тез юрар ротор айланади (3.57-расм).



3.56-расм. Комбинацияланган турбоқориштиргич.

1 — электр юриткич; 2 — ротор; 3 — иситиладиган ғилоф; 4 — дефлектор; 5 — фильтр; 6 — бурилувчи қопқоқ; 7 — оқиб ўтиш мосламаси; 8 — совутиладиган сегментлар; 9 — аралаштирувчи мослама.



3.57-расм. Турбоқориш-тиргич ишчи органи.

Ротор айланиши пайтида сочилувчан материал қурилма деворига улоқтирилади ва юқорига қараб кўтарилади. Натижада заррачаларнинг циркуляцияли ҳаракат оқими барпо бўлади. Қурилма девори бўйлаб ҳосил бўлган кўтарилувчи оқим нам материални деворга ёпишишига ҳалақит беради. Қориштиргич конструкцияси ротор парракларини ўзини ўзи тозалашини таъминлайди.

Сочилувчан ва нам материалларни аралаштириш учун мўлжалланган секин юрар қориштиргичлар цилиндр ёки тоғорасимон шаклли бўлиб, ён ва тепа қопқоқлар билан беркитилади.

Қориштиргич қобиғи ичида ясси лентали спиралсимон парракли ўқ жойлаштирилади. Материални интенсив аралаштириш учун парраклар чап ва ўнг томонга қараб ўралади. Лентали қурилмаларда қориштириш элементи 4 та лентадан таркиб топган бўлади. Ташқи лентанинг айланма тезлиги 1,2 м/с га тенгдир.

3.31. Аралаштириш мосламаларини ҳисоблаш

Аралаштиргич парраклари айланиши пайтида энергия асосан ишқаланиш қаршилигини енгишга, ҳамда уюрмалар ҳосил қилиш ва узилишига сарфланади. Муҳитнинг қаршилиқ кучи қаршилиқ коэффиценти ψ га боғлиқ.

Исталган шаклдаги паррак учи учун ўртача ва айланма тезликлари орасида қуйидаги боғлиқлик бор ва у ушбу ифодадан топилади:

$$w_{yp} = a \cdot \omega$$

бу ерда: w - паррак учига тўғри келадиган айланма тезлик; a - пропорционаллик коэффиценти.

Агар, $R = P$ эканлигини инобатга олсак, қаршилиқ коэффицентини қуйидаги тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$\psi = \frac{P}{\rho d^2 \cdot a^2 \cdot \omega^2}$$

бу ерда: P - аралаштиргич паррагига таъсир этувчи куч.

Муҳит қаршилигини енгиш учун аралаштиргич ўқиға маълум миқдорда энергия бериш зарур.

Паррак айланиши учун керакки қувват миқдорини қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$N = P \cdot w_{yp} = P \cdot a \cdot \omega$$

Паррак учидаги айланма тезлик $\omega = \pi d n$ (бу ерда n - аралаштиргичнинг 1 с ичидаги айланиш сони). Агар, охириги тенгламага P ва w_{yp} ларни қўйсак, ушбу ифодани оламир:

$$N = \psi \rho d^2 a^3 \omega^3 = \psi \rho d^2 a^3 (\pi d n)^3$$

ёки

$$N = \psi \pi^3 \cdot a^3 \cdot \rho \cdot d^5 \cdot n^3$$

Агар, $\psi \pi^3 a^3 = c$ деб белгилаб олсак, унда:

$$N = c d^5 \cdot n^3 \rho$$

Коэффицент c нинг қиймати, тажрибадан олинади. Одатда у идиш ва паррак шаклига, ҳамда Re критерийсига боғлиқ, яъни:

$$c = f(Re)$$

Аралаштиргичлар учун Re катталиги қуйидаги ифодадан топилади:

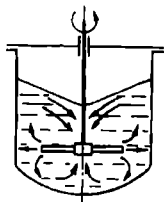
$$Re_{..} = \frac{w_{yp} \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{(a\omega) \cdot d \rho}{\mu} = \frac{(a\pi d n) d \rho}{\mu} = a\pi \frac{\pi d^2 \rho}{\mu}$$

Ўзгармас қўпайтма $a\pi$ ни формуладан тушириб қолдирса бўлади. Унда:

$$Re_{\mu} = \frac{nd^2 \rho}{\mu}$$

Қориштириш учун сарфланадиган қувватни аниқлашга олиб келади. Қориштиришни жадал бориши тажриба натижасига асосланган ҳолда белгилади.

Қориштиргич турини, ўлчамларини ва айлантириш частотаси танлангандан сўнг истеъмол қувватини ҳисоблашга киришилади. Қориштиргич ишлаганда қурилмада маълум ҳолатда суюқликнинг йўналган оқимлари пайдо бўлади. Суюқликнинг жадал аралашishi иккиламчи оқимлар билан ўрама ҳаракати ҳосил бўлиши билан амалга ошади. Суюқлик марказдан қочма куч таъсирида, марказдан девор томонга ҳаракатланади. Бундай ҳаракат натижасида қориштиргич марказида паст босим, зонаси ва ўрама ҳосил бўлиб, суюқлик куракнинг пастки ва юқори қисмларидан сўрилади. Суюқлик иккиламчи оқими ва айланма ҳаракати, мураккаб тасвири 3.58-расмда келтирилган.



3.58-расм. Қориштиргичда суюқлик циркуляциясининг схемаси.

Суюқликни араштиргичдаги циркуляциясини мураккаб шаклдаги ёпиқ қувурдаги ҳаракат деб тасаввур қилиб, истеъмол қувватини ҳисоблаш учун критериял тенгламани $Eu = f(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$ кўринишда олиш мумкин. Суюқлик ҳаракатига оғирлик кучининг таъсири сезиларсиз бўлгани учун, уни ҳисобга олмаймиз. Бунда $Eu = f(Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$ бўлади, $Eu = \Delta p / (\rho \omega^2 r)$; Γ_1, Γ_2 - параметрик критерий бўлиб, араштиргич ва қориштиргичнинг геометрик ўлчамларини характерлайди. Аниқланадиган чизиқли

ўлчам сифатида араштиргичнинг d_m диаметри олинса, суюқликнинг чизиқли тезлиги ўрнига, ўхшашлик критерийсида араштирувчи кураклар четларидаги айланма тезлик қўйилади:

$$v_{\text{айл}} = \frac{\pi d_{\text{ар}} \cdot n}{60}$$

бу ерда n - айланишлар сони, с^{-1} .

Куракнинг олди ва орқа текисликларидаги босимлар фарқи, араштиргичнинг фойдали қуввати N билан ифодаланади. Насос қувватига мос бўлган ва суюқликни узатиш учун керак бўладиган босим:

$$\Delta p = \frac{N}{V_{\text{сек}}} \quad (3.110)$$

бу ерда $V_{\text{сек}}$ - араштирилаётган суюқликнинг ҳажми, у суюқлик ҳажмини циркуляция карралиги қўпайтирилганига тенг, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$V_{\text{сек}} = F H m \quad (3.111)$$

бу ерда F - қурилманинг қўндаланг кесим юзаси; H - қурилмадаги суюқлик сатҳи баландлиги, м ; m - циркуляция карралиги, с^{-1} .

Қурилма ўлчамларини араштиргич диаметрига боғлаб ёзамиз, чунки улар ўзаро боғлиқ.

$$F = C_2 d_{ap}^2 \quad H = C_3 d_{ap} \quad (3.112)$$

Циркуляция карралигини аралаштиргич айланиш частотасига пропорционал деб қабул қилса бўлади:

$$m = C_4 \cdot n \quad (3.113)$$

$\omega = C_1 \cdot \omega_{aйл} = C_1 \cdot \pi \cdot d_M \cdot n = C_5 \cdot d_M \cdot n$ - эканлигини ҳисобга олиб, модификациялашган Эйлер критерийсини оламир:

$$Eu_{ap} = \frac{N}{(C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot \rho \cdot n^3 d_{ap}^5)} \quad (3.114)$$

C_2, C_3, C_4, C_5 - коэффициентларни ҳисобга олмасак, Эйлер ва Рейнольдсларнинг модификациялашган критерийсини олиш мумкин:

$$Eu_{ap} = \frac{N}{(\rho \cdot n^3 d_{ap}^5)}$$

$$Re_{ap} = \frac{nd^2 \rho}{\mu} \quad (3.115)$$

бу ерда: ρ - суюқлик зичлиги, кг/м³; μ - қовушоқлик, Пас.

Модификациялашган критерийлар орасидаги боғлиқлик тенгламаси ушбу кўринишга эга бўлади:

$$Eu_{ap} = f(Re_{ap}, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

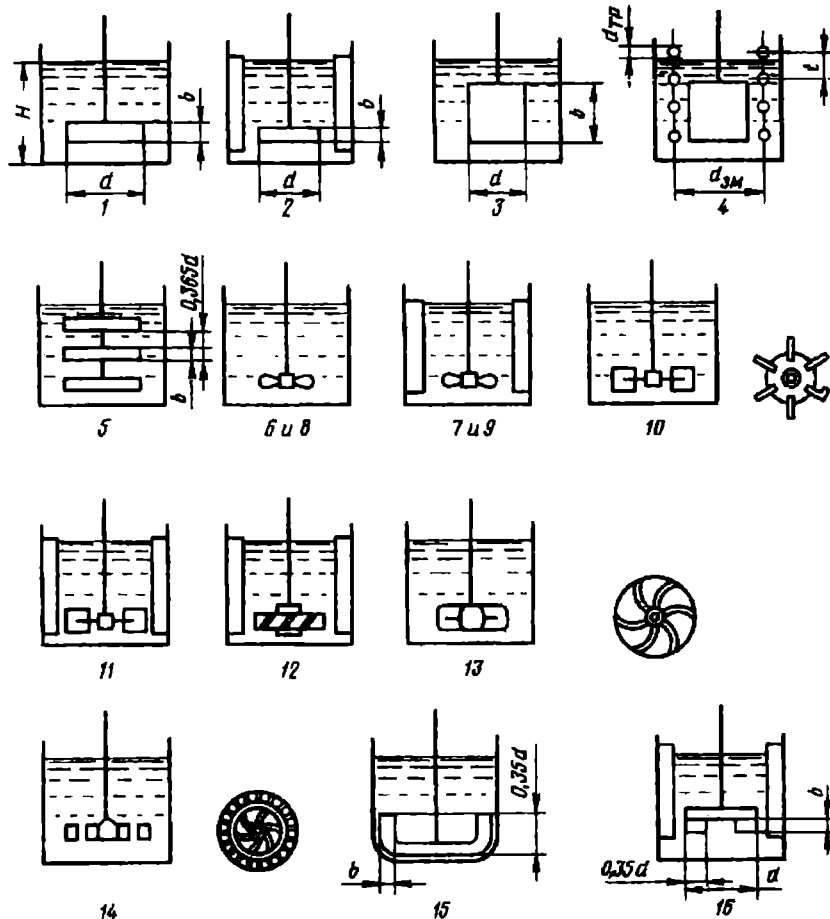
Қайта ишландан сўнг критериял тенглама қуйидаги $Eu_{ap} = A Re_{ap}^n \Gamma_1^a \cdot \Gamma_2^b$ соддалашган ҳолатга келади. Коэффициент A нинг қиймати даражалар кўрсаткичи, аралаштирувчининг тури, конструкцияси ва аралаштириш режимига боғлиқ бўлиб, улар тажрибадан аниқланади. Ҳисобни осонлаштириш учун тажриба натижалари суюқликни реакторга кириш ва чиқишини ҳисобга олиб, Эйлер ва Рейнольдс критерийлар ўртасида боғлиқлик графиги кўринишида берилади.

Нормаллашган типдаги аралаштиргичли қурилмаларнинг $Eu_{ap} = f(Re_{ap})$ боғлиқлиги 3.60-расмда; 3-4 жадвалда ва 3.59-расмда аралаштиргичларнинг характеристикалари келтирилган.

Аниқланган қонуний боғлиқликлардан хулоса қилиш мумкинки, аралаштирувчининг истеъмол қуввати унинг кубдаги айланишлар частотасига ва бешинчи даражали диаметрига боғлиқ бўлади.

Аралаштиргичнинг истеъмол қувватига, қурилманинг шакли, тузилиши ва мосламанинг жойлашиши ҳам таъсир қилади. Шакли цилиндрик бўлмаган ва аралаштиргичга тўсиқлар ўрнатилган ҳолларда (змеевиклар ва бошқа мосламалар) аралаштириш жараёни учун кўп қувват талаб этилади.

Механик аралаштиргичларда аралаштириш жараёни ламинар ёки турбулент режимларда олиб бориш мумкин. $Re_{ap} < 20$ да ламинар режим, $Re_{ap} > 100$ бўлганда аралаштириш турбулент режимда бўлади.



3.59-расм. Аралаштиргичлар конструкциялари.

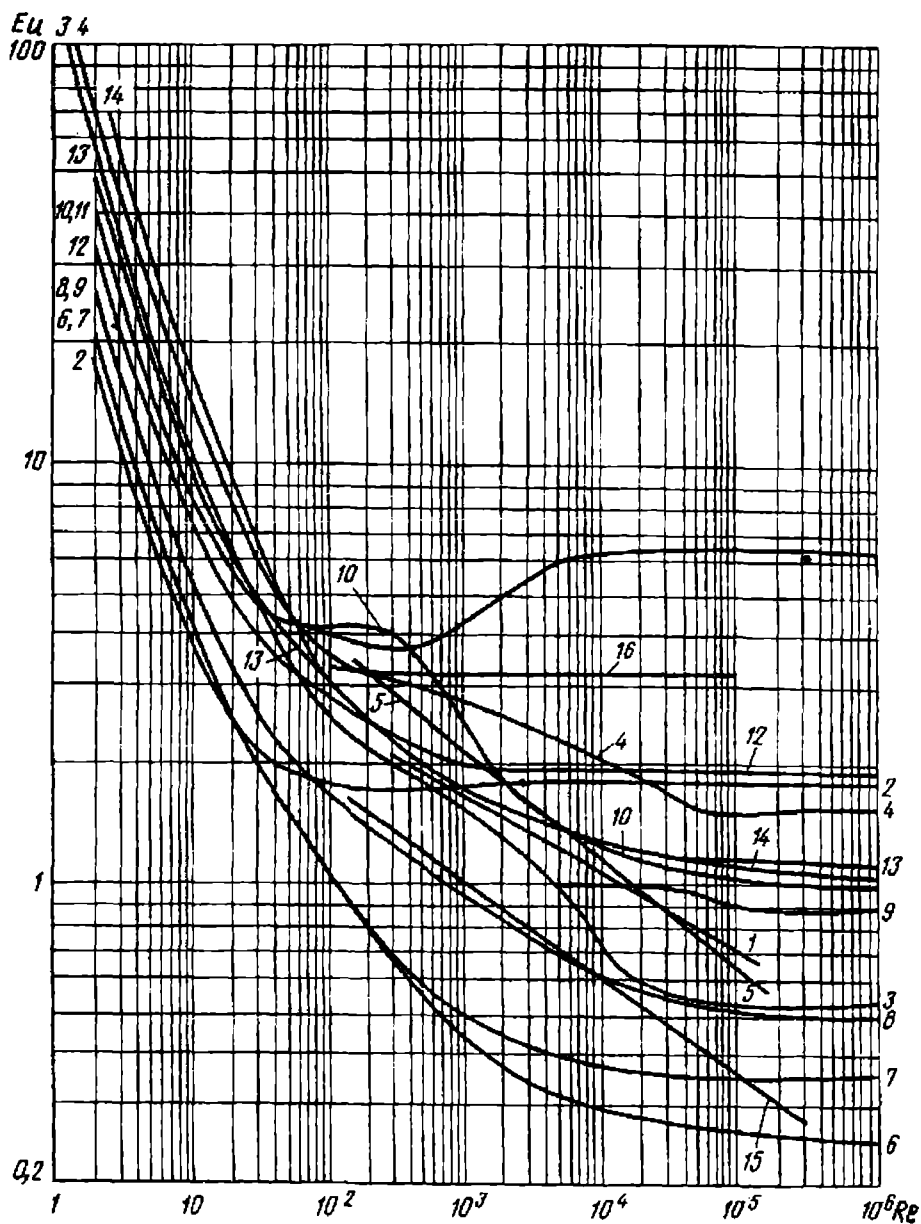
Кучли турбулентлик оралиғида, ($Re_{ap} > 10^5$), Эйлер сони Рейнольдс критерийсига боғлиқ бўлмай қолади. Маълумки, ушбу автомодел соҳада аралаштиргичнинг айланиш тезлигини ошириш қувват сарфининг кўпайишига олиб келади.

Агар, аралаштириш жадаллиги берилган бўлса, 3.60-расмда келтирилган боғлиқликлар ёрдамида кетма-кет яқинлашиш услубида аралаштиргич тури, унинг ўлчамлари ва айланишлар частотасини танлаш, ҳамда аралаштирувчи электр юриткичининг қувватини ҳисоблаш мумкин.

Қурилма ишчи ҳажми бўйича $V_{иш}$ ва талаб этилаётган аралашлаштириш жадаллиги j (тезкорлиги) бўйича керакли қувват миқдори аниқланади [$H \cdot m / (m^3 \cdot c)$]:

$$N = j \cdot V_{иш} \quad (3.116)$$

Ундан сўнг аралаштирувчининг тури, ўлчамлари ва айланишлар сони танланади.



3.60-расм. Турли турдаги аралаштиргичлар учун $Eu = f(Re)$ график боғлиқлиги (графикдаги эгри чизиқлар тартиб рақамлари 3-4 жадвал ва 3.59-расмлардаги аралаштиргич рақами ва турига мос келадди).

Нормаллашган аралаштиргичларнинг характеристикалари

Аралаштиргичнинг 3.59-расмда, 3.60-расмда эгри чизиқ рақамлари	Аралаштиргич тури	Аралаштиргич характеристикаси				Идиш характеристи- каси
		D/d	H/D	b/d _{ар}	S/d _{ар}	
1	Икки парракли	3	1	0,25	-	тўсиқсиз
2	Икки парракли	3	1	0,167		4 та тўсиқли, эни 0,1·D
3	Икки парракли	2	1	0,885	-	тўсиқсиз
4	Икки парракли	2	1	0,885		Змеевикли (d _{зм} =1,9d; d _{тр} =0,066d; t=0,12d)
5	Олти куракли	1,11	1	0,066	-	тўсиқсиз
6	Пропеллерли	3	1	-	1	тўсиқсиз
7	Пропеллерли	3	1		1	4 та тўсиқли, эни 0,1·D
8	Пропеллерли	3	1	-	2	тўсиқсиз
9	Пропеллерли	3	1		2	4 та тўсиқли, эни 0,1·D
10	Очиқ турбинали 6 та тўғри куракли	3	1	0,25		тўсиқсиз
11	Очиқ турбинали 6 та тўғри куракли	3	1	0,2		4 та тўсиқли, эни 0,1·D
12	Очиқ турбинали 8 та текис эгил- ган куракли	3	1	0,125		4 та тўсиқли, эни 0,1·D
13	Ёпиқ турбинали 6 та куракли	3	1			тўсиқсиз
14	Ёпиқ турбинали 6 та куракли ва йўналтирувчи мосламали	3	1			тўсиқсиз
15	Якорли	1,11	1	0,066	-	тўсиқсиз
16	Дискли, 6 та куракли	2,5	1	0,1		4 та тўсиқли, эни 0,1·D

Эслатма: D – қурилма диаметри; H – қурилмадаги суюқлик қатламининг баландлиги; b – аралаштиргич паррагининг эни; S – винт қадами; d, d_{тр}, d_{зм} – аралаштиргич, труба ва змеевик диаметрлари; t – змеевик қадами.

Аралаштирувчининг дастлабки танланган параметрлари бўйича Эйлер критерийси ҳисобланади, 3.60-расмдан мос равишда Re_{ap} критерийси аниқланади. Re_{ap} қиймати ёрдамида эса аралаштиргичнинг айланиш сони аниқланади:

$$n = \frac{Re_{ap} \cdot \mu_c}{(d_{ap}^2 \cdot \rho)} \quad (3.117)$$

Агар, дастлаб аниқланган ушбу нисбатдан айланишлар сонининг қиймати кўп ёки кам бўлиб қолса, бошқа қийматлар олинади ва ҳисоблаш қайтарилади.

Ҳисоблар, (3.117) формулада ёрдамида топилган айланиш частотаси, аралаштиргичнинг дастлаб қабул қилинган айланиш частотаси билан тенг бўлгунга қадар олиб борилади.

Юқоридаги ҳисоблардан сўнг аралаштиргичнинг айланишлар сони ёки камайтиради ёки кўпайтиради. Бунинг учун эса аралаштиргичнинг диаметри ҳам мос равишда ўзгартирилади.

Электр юритгич қуввати (Вт) ни қуйидаги тенглама ёрдамида аниқласа бўлади:

$$N_{ю} = \frac{N}{\eta} \quad (3.118)$$

бу ерда η - узатманинг ф.и.к.

Аралаштиргичга сарфланадиган энергия (кВт·соат) аралаштириш давомийлигига боғлиқ бўлади:

$$E = N_{юp} \cdot \tau \quad (3.119)$$

Ишга тушириш вақтида энергия фақат ишқаланиш кучини енгиш учунгина эмас, аралаштиргични, суюқликни ҳаракатга келтириш ва инерция кучларини енгиш учун сарфланади. Бунинг натижасида қурилманинг истеъмол қуввати ортади.

Аралаштиргичларни ишлатиш тажрибасидан шу нарса маълум бўлдики, ишга тушириш вақтида аралаштириш мосламасининг куракларига суюқлик кўрсатадиган қаршилиқ иш пайтидагига нисбатан 2 дан 4,5 баробаргача ортиб кетади. Қисқа вақт ичида ортиқча юклама 200...300% га ортиб кетиши муносабати билан, асинхрон электр юриткичлар қўлланилади.

3.32. Умумий тушунчалар

Суюқ ва газ аралашмаларни ажратиш жараёнлари халқ хўжалигининг кўп соҳаларида муҳим аҳамиятга эга. Бундай аралашмаларни ажратишда ҳайдаш, ректификация, экстракция, адсорбция жараёнлари кенг ишлатилади. Лекин, газ ва суюқ аралашмаларни ажратишнинг энг универсал усули, ярим ўтказувчан тўсиқ мембраналар ёрдамида ажратишдир (3.61-расм).

Кимё ва нефтни қайта ишлаш саноатларида мембрана усуллари азеотроп аралашмаларни ажратишда, эритмаларни тозалаш ва концентрациясини орттиришда, юқори молекулали бирикмаларни эритмаларидан ажратиб олишда; биотехнология ва медицина саноатида вакцина, ферментларни ажратиш ва тозалашда; озиқ - овқат саноатида сабзавот ва мевалар шарбатлари концентрациясини ошириш учун, сувни ва сувли эритмаларни қайта ишлашда, оқава сувларни тозалашда мембрана жараёнлари кенг қўламда қўлланилади.

Охирги йилларда газ аралашмаларни ушбу усулда ажратиш жадал равишда ривожланмоқда. Ҳозирги кунда ҳаводан кислородни, гелийни ва SO_2 ни табиий газдан ажратиб олишда ишлатилмоқда.

Ҳисоботлар ва йиғилган тажриба натижалари шуни кўрсатадики, мембраналарни қўллаш мавжуд технологияларда катта иқтисодий самара бериши мумкин ва янги, содда энергетик тежамли ва экологик жиҳатдан тоза технологиялар яратишда кенг имкониятлар туғдириши мумкин.

Саноатнинг турли технологияларида кенг қўлланилаётган мембрана усулларига тескари осмос, ультрафилтратлаш, микрофилтратлаш, диализ, электродиализ, мембрана орқали буғлатиш ва газларни ажратишларни келтириш мумкин.

Янги мембрана усуллари, яъни мембранали дистилляция, электр осмос, филтратлаш ва бошқалар устида жадал изланишлар олиб борилмоқда.

Юқоридан қайд этилган усуллардан ҳар бирида ажратиладиган аралашма ярим ўтказувчан мембрана ёрдамида амалга оширилади.

Ярим ўтказувчан тўсиқ мембраналарни хусусий хоссаларига кўра, у орқали ўтган модда бир ёки бир неча компонент билан тўйинади ёки шу компонентлар миқдорига моддада камаяди. Қатор ҳолларда жараён шунчалик тўлиқ ўтадики, моддада деярли дисперс фаза қолмайди, чунки улар мембранада ушланиб қолади.

Мембранали жараёнлар асосий ҳаракатлантирувчи куч турига қараб классификацияланади. Одатда ушбу жараёнларнинг ҳаракатлантирувчи кучи бўлиб кимёвий ёки электрокимёвий потенциал градиенти ҳисобланади. Лекин техник ҳисобларда, ушбу жараёнларнинг тезлигини характерлайдиган босим, температура ва ҳ. градиенти қабул қилиниши мумкин.

Шундай қилиб, мембранали жараённинг ҳаракатга келтирувчи кучи сифатида босимлар градиенти - баромембранали жараёнлар (тескари осмос, нано-, ультра- ва микрофилтратлаш), концентрациялар градиенти - диффузион мембранали жараёнлар (диализ, мембрана орқали буғланиш, мембрана ёрдамида газларни ажратиш ва ҳоказо), электр потенциал градиенти - электромембранали жараёнлар (электродиализ, электроосмос ва ҳоказо), температура градиенти - термомембранали жараёнлар (мембранали дистилляция ва ҳоказо) бўлиши мумкин.

Мембрана орқали ўтган модда **пермеат** деб номланади, мембранада қолган аралашма эса - **ретант** (ёки концентрат) деб аталади.

Мембрана ёрдамида ажратиш жараёнининг селективлиги ϕ (%) куйидагича аниқланади:

$$\phi = \left(\frac{c_1 - c_2}{c_2} \right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{c_2}{c_1} \right) \cdot 100\% \quad (3.120)$$

бу ерда c_1 ва c_2 - эриган модданинг аралашмадаги ва пермеатдаги концентрациялари.

Мембрананинг солиштирма унумдорлиги (ўтказувчанлиги) G , маълум бир ҳаракатлантирувчи куч таъсирида, вақт бирлиги τ ичида, иш юзаси F бирлигидан олинган пермеатнинг ҳажми V (ёки массаси) орқали аниқланади [$\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$]:

$$G = \frac{V}{F \cdot \tau} \quad (3.121)$$

Мембрана - бу суюқ ёки газ аралашмадан бир ёки бир неча компонент-ни бир томонлама ўтказиш қобилиятига эга бўлган ярим ўтказувчан тўсиқдир.

Мембраналар куйидаги талабларни қондириши ва хусусиятларга эга бўлиши керак:

- 1) яхши ажратиш қобилияти (селективлик);
- 2) катта солиштирма унумдорлик;
- 3) ажратилаётган кимёвий моддаларга чидамли;
- 4) монтаж қилиш, сақлаш ва транспортировка даврига етарли мустаҳкамлик;
- 5) ишлатиш даврида хоссалари ўзгармаслиги керак.

Мембраналар турли полимер (целлюлоза, ацетат, полиамид, полисульфон), керамика, шиша, металл фольга ва бошқа материаллардан ясалади.

Механик мустаҳкамлигига қараб мембраналар зичланувчи (полимерли) ва қаттиқ структурали, ҳамда ғовакли ва ғоваксиз (диффузияли) бўлиши мумкин.

Ғовакли мембраналар тескари осмос, микро- ва ультрафилтрлаш жараёнларини амалга ошириш учун қўлланилади, газларни ажратишда эса, камроқ ишлатилади. Бу мембраналар хизмат муддати мембрана материали кимёвий чидамлилиги билан белгиланади.

Диффузияли мембраналар ёрдамида газ ва суюқлик аралашмаларни тозалаш мембрана орқали буғланиш ва диализ усулларида амалга оширилади. Одатда диффузияли мембраналар ғоваксиз бўлади.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, гель қатламидаги айрим бўлақлар полимер занжири ўзаро қанчалик суст боғланган бўлса, диффузия тезлиги шунчалик юқори бўлади. Демак, диффузияли мембраналарни тайёрлашда лиофил полимер материалларни қўллаш мақсадга мувофиқ.

Молекулаларни диффузияли мембраналар орқали ўтиш тезлиги диффузия коэффициентига тўғри пропорционал ва у эса ўз навбати молекулаларнинг ўлчами, шаклига қаттиқ боғлиқ.

Бу турдаги мембраналарнинг яхши хусусиятларидан бири шундаки, уларнинг ўтказувчанлиги вақт ўтиши билан умуман камаймайди. Диффузияли мембраналар гидравлик қаршилиги катта, шунинг учун улар юпқа қатламли ҳолатда қўлланилади.

Кўпинча мембраналар лист ёки труба шаклида, ёки ичи бўш толалар кўринишида ясалади. Бу каналлар ички диаметри 20...100 мкм, деворининг қалинлиги 10...50 мкм бўлади. Бундан ташқари, мембраналар турли шаклдаги

говакли ташувчилар устида ҳам ишлатилиши мумкин. Бу мембраналар **композит мембраналар** деб аталади.

3.33. Тескари осмос ва ультрафилтрлаш жараёнларининг физик-кимёвий асослари

Турли мембранали жараёнлар учун умумий бўлган механизм шу пайтгача ишлаб чиқилмаган ва ҳар бир жараёни алоҳида кўриб чиқиш керак. Лекин ҳар бир мембранали жараён таҳлил қилинаётганда куйидаги уч асосий омил ва уларнинг ўзаро боғлиқлиги кўзда тутилиши керак:

1) Мембрананинг қалинлиги бўйича таркиби (говакли, говаксиз, изотропли);

2) Ажратилаётган системанинг физик кимёвий (газлар учун яна термодинамик) хоссалари;

3) Ажратилаётган аралашманинг мембрана билан ўзаро таъсири.

Агар, юқорида қайд этилган омиллар инобатга олинмасдан қолса, модель механизмини яратиш ва таҳлил қилиш пайтида принципиал хатоликка олиб келиши мумкин.

Мембрана орқали ажратилаётган моддаларнинг ўтишига эритувчини ташкил этувчи компонентлар хоссалари (масалан, сувнинг) ва уларнинг мембрана билан ўзаро таъсири катта аҳамиятга эга. Маълумки, суюқлик ва қаттиқ жисм тўқнашиш зонасида сиртий кучлар (адгезия, сиртий таранглик, молекуллар тортишиш) мавжуддир. Шунинг учун, мембрана устидаги суюқликнинг чегаравий қатламининг физик-кимёвий хоссалари қурилма ҳажмини тўлдириб турган суюқлик хоссаларидан катта фарқ қилади.

Агар, эритма таркибидаги сувнинг диэлектрик ўтказувчанлиги кескин равишда камайса, унинг молекулалари ҳаракатчанлиги сусаяди. Бу ҳол ўз навбатида сувнинг эритиш қобилиятини пасайтиради. Полярмас суюқликлар учун чегаравий қатлам ва катта ҳажмдаги суюқликнинг хоссалари сезиларли даражада фарқ қилмайди.

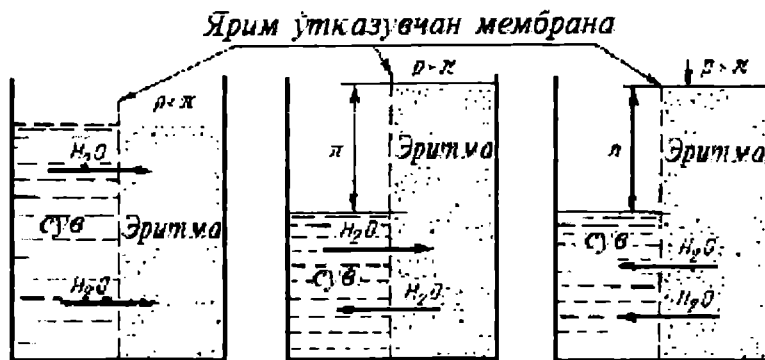
Баромембран жараёнлар

Тескари осмос бу эритманинг эритувчисини ўтказадиган ва дисперс фаза молекула (ёки ионлар) ларини ушлаб қоладиган ярим ўтказувчан мембраналар ёрдамида босим остида филтрлаш жараёни. Тескари осмос усули осмос ҳодисасига асосланган, яъни бунда система мувозанат ҳолатига чиқмагунча ($p = \pi$), эритувчи ярим ўтказувчан мембрана орқали эритмага ўз-ўзидан ўтадиган жараён (3.61-расм).

Мувозанат ҳолатига ўрнатилиш пайтидаги босимга **осмотик босим** (π) дейилади. Агар, эритмага осмотик босимдан кўпроқ босим таъсир эттирилса ($p > \pi$), масса ўтиш жараёни тескари йўналишда боради (3.61в-расм). Шунинг учун ҳам, жараён номи "тескари осмос" деб номланган. Мембрана орқали ўтган эритувчи **филтрат** деб аталади.

Тескари осмос жараёнини ҳаракатга келтирувчи кучи деб босимлар фарқи $\Delta p = p - \pi$ ҳисобланади, бу ерда p - эритма остидаги ортиқча босим, π - эритманинг осмотик босими. Агар, тескари осмос жараёнида мембрана орқали озгина дисперс фаза ўтиб қолса, унда Δp ни ҳисоблаш пайтида филтратнинг осмотик босими π ни ҳам инобатга олиш зарур, яъни:

$$\Delta p = p - (\pi_1 - \pi_2) = p - \Delta \pi \quad (3.122)$$



3.61-раем. Тескари осмос усулда эритмаларни ажратиш схемаси.
а - осмос; б - мувозанат; в - тескари осмос.

Осмотик босимни тахминий ҳисоблаш учун Вант Гофф формуласидан фойдаланса бўлади.

$$\pi = xRT \quad (3.123)$$

бу ерда x - эрувчи модданинг моль улуши; R - ўзгармас газ доимийси; T - эритманинг абсолют температураси, К.

Эритмаларнинг осмотик босими 10 ва ундан ортқ мегапаскаль бўлиши мумкин. Тескари осмос қурилмаларидаги босим осмотик босимдан анча кўп бўлиши керак, чунки жараёни ҳаракатга келтирувчи куч босимлар фарқи. Масалан, 35% тузлар бор денгиз сувининг осмотик босими 2,45 МПа бўлса, тузсизлантирадиган қурилманинг ишчи босими тахминан 7,85 МПа бўлиши керак.

Селектив ўтказувчанликнинг капилляр филтрлашли моделига биноан электролитга чўктирилган лиофил мембрананинг юзаси ва ғоваклар ичида t_c қалинликда боғланган сувдан иборат сиртий қатлам ҳосил бўлади. Маълумки, боғланган сувнинг бўлиши, ион (ёки молекула) ларнинг мембрана орқали ўтишига тўсқинлик қилади. Ушбу модель проф. Ю. И. Дитнерский томонидан яратилган.

Агар, мембрана ғоваклари диаметри $d \leq 2t_c + d_{ион}$ (бу ерда $d_{ион}$ - гидратацияланган ион диаметри) бўлса, ғоваклар орқали асосан сув ўтади. Бу ҳол бундай мембраналарнинг селективлик хоссасини ифодалайди.

Одатда, мембрана ғоваклар диаметри турлича бўлади, жумладан, йирик ва катта диаметрли ҳам бўлади, яъни $d > 2t_c + d_{ион}$, бундай ҳолда боғланган сув оз миқдорда бўлса ҳам ноорганик тузларни эритади. Шунинг учун, қанчалик боғланган сув қатлами қалинлиги ва ионнинг гидратациялаш қобиляти катта бўлса, мембрананинг селективлиги шунчалик юқори бўлади.

Кўриб чиқилган модель таҳлилидан қуйидаги хулосаларга келиш мумкин:
мембрана материали лиофил бўлиши керак, яъни ўтказиладиган компонентга нисбатан мембрана селектив сорбция хусусиятли бўлиши керак;

- ғоваклар диаметри боғланган сув қатлами қалинлиги ва гидратацияланган ион диаметрлар йиғиндисининг иккига кўпайтмасидан кичик бўлиши зарур;

мембраналар гидравлик қаршилигини камайтириш учун улар анизотроп тузилишли ёки композит (фаол қатлам қаланлиги минимал) қилиб ясалиши мақсадга мувофиқ.

Ультра- ва микрофилтрлаш. Ультрафилтрлаш - бу юқори ва паст молекулали бирикмали эритмаларни ажратиш жараёни, ҳамда юқори молекулали бирикмаларни қуюқлаштириш ва фракциялашдир. Ушбу жараён босимлар фарқи ёрдамида амалга оширилади.

Ультрафилтрлаш жараёни эриган компонент молекуляр массаси эритувчи молекуляр массасидан анча катта бўлган системаларни ажратиш учун қўлланилади.

Юқори молекулали бирикмалар осмотик босими жуда кичик бўлгани учун ультрафилтрлаш жараёнининг ҳаракатга келтирувчи кучини ҳисоблашда инобатга олмаса бўлади. Шунинг учун ҳам, ультрафилтрлаш жараёни нисбатан паст босимлар (0,2...1,0 МПа) да олиб борилади.

Агар, мембранали жараён эритма таркибидаги йирик коллоид заррачалар (0,1...10 мкм)ни ажратиш учун ишлатилса, унда у **микрофилтрлаш** деб аталади. Бу жараённинг ҳам ҳаракатга келтирувчи кучи - босимлар фарқи.

Микрофилтрлаш жараёни ўта паст босимларда ўтказилади (0,01...0,5 МПа). Ушбу жараён ультрафилтрлаш ва оддий филтрлаш жараёнлари ўртасидаги оралиқ ҳолатни эгаллайди. Микрофилтрлаш электроника, медицина, кимё, микробиология, озик овқат ва бошқа саноатларда кенг қўлланилмоқда. Тескари осмос, нано- ва ультрафилтрлаш жараёнларида эритмаларни ажратишдан аввал микрофилтрлаш жараёнини амалга ошириш юқори самара беради.

Баромембран жараёнларни шартли қўллаш чегаралари 3-5 жадвалда келтирилган.

3-5 жадвал

Параметр \ Жараён	Тескари осмос	Нано-филтрлаш	Ультра-Филтрлаш	Микро-филтрлаш
Заррача диаметри, мкм	0,0001 0,003	0,001 0,005	0,005 0,05	0,05 10,0

Шундай қилиб, нанофилтрлаш тескари осмос ва ультрафилтрлаш ўртасидаги оралиқ жараён.

Ушбу жараён ёрдамида молекуляр массаси 300...3000 бўлган моддаларни ажратиш ва қуюқлаштириш (концентрлаш), ҳамда оғир металллар ионларини ажратиш олиш мумкин.

Кўпинча саноатда хоссалари бир бирига яқин бўлган электролитлар, ионли суюлтирилган эритмаларини ажратишга тўғри келади. Кўп компонентли эритмалар таркибидан керакли электролитни ажратиш олиш учун комбинацияланган усулдан фойдаланиш зарур. Ушбу усул ўз ичига комплекс ҳосил қилиш ва ультрафилтрлаш (КОУФ)ни олади. Усулнинг асоси шундаки, электролит ионлари ажратувчи эритма билан полимер комплексларини ҳосил қилади. Полимер комплексларнинг ўлчами боғланмаган ионларникидан катта бўлади. Шунинг учун ҳам, ультрафилтрлаш жараёнида полимер комплекс ретантда чўкиб қолади, боғланмаган ионлар эса, мембранадан ўтиб пермеат ҳосил қилади.

3.34. Диффузион - мембранали жараёнлар

Диффузион - мембранали жараёнлар мембраналарнинг қалинлиги бўйича концентрация ёки босим градиентига асосланган бўлиб, газ ёки суюқ аралашмаларни ажратишда қўлланилади. Бунда газларни мембрана ёрдамида компонентларга ажратиш ёки бирор компонентга тўйиниши юз беради.

Фоваксиз мембрана ёрдамида газларни ажратиш, компонентларнинг мембрана орқали диффузияси турли тезликда ўтишига асосланган. Бу жараён уч асосий босқичда ўтади: 1) газ мембрана юзасида ажратилаётган аралашма томонида адсорбцияланади; 2) газ мембрана орқали диффузия ҳисобига ўтади; 3) мембрананинг бошқа томонида десорбция юз беради. Одатда, иккинчи босқич жараёнинг тезлигига асосий хисса қўшади ва ўтаётган диффузия жараёни Фикнинг биринчи қонуни билан ифодаланади:

$$G = -DF \frac{dc}{dx} \quad (3.124)$$

Агар, (3.124) тенгламани интегралласак ва тегишли ўзгартиришлар киритилса:

$$G = D \frac{c_1 - c_2}{\delta} F \quad (3.125)$$

бу ерда G - мембрана орқали ўтган газ миқдори; D - диффузия коэффиценти; c_1 ва c_2 мембрананинг икки томонларидаги концентрациялар; x мембрана қалинлиги бўйича масофа; F - мембрана юзаси; δ - мембрана қалинлиги.

Мембрана юзасидаги концентрациялар c_1 ва c_2 ни аниқлаш ёки ўлчаш қийин. Шунинг учун газни мембрана материалида эриши деб ҳисоблаб, c_1 ва c_2 ларни Генри қонуни бўйича аниқлаш мумкин:

$$c_1 = SP_1 \quad c_2 = SP_2 \quad (3.126)$$

бу ерда S эриш коэффиценти; P_1 ва P_2 - мембрананинг икки томон юзаларидаги босимлар.

(3.126) ва (3.125) тенгламаларни (3.124) тенгламага қўйсак:

$$G = -DS \frac{P_1 - P_2}{\delta} F \quad (3.127)$$

бу ерда $A = DS$ - мембрананинг газ ўтказувчанлиги (ёки ўтказувчанлик коэффиценти).

$$G = A \frac{P_1 - P_2}{\delta} F \quad (3.128)$$

яъни, газ ёки буғнинг мембрана орқали ўтиш тезлиги мембрананинг юзаси, босимлар фарқи ва мембрананинг ўтказувчанлик коэффицентига тўғри пропорционал ва қалинлигига тескари пропорционал.

Мембрана орқали буғланиш усулида суяқ аралашмалар ажратилади. Ушбу усул аралашма компонентларининг диффузия коэффицентлари турлилиги туфайли компонентларнинг мембрана орқали ўтиш тезлиги ҳар хиллигига асосланган.

Аралашмадан мембрана орқали инерт газ оқими билан ёки вакуум таъсирида буғ ўтади ва кейин конденсаторда конденсацияланади.

Бу жараён ҳам уч босқичда ўтади: 1) молда мембрана юзасида адсорбцияланади; 2) мембрана орқали диффузия ёрдамида ўтади; 3) мембрананинг бошқа томонида десорбция юз беради. Мембрана орқали массанинг ўтиши Фикнинг иккинчи қонуни билан ифодаланади. Буғнинг таркиби температура,

мембрана материали ва аралашма таркибига боғлиқ. Жараён тезлигини ошириш учун аралашмани 30...60°C гача иситилади ва буг зонасида эса, вакуум ҳосил қилинади.

Ноорганик моддалар (масалан, керамика)дан ғовакли мембраналар тайёрланади. Бу жараён полимер асосли, ғовакли ёки ғоваксиз мембраналар (масалан, полипропилен, полиэтилен ва ҳ.)да олиб борилиши мумкин ва азеотроп аралашмаларни (изопропанол - сув, этанол-сув) ажратишда кенг қўлланилади. Бу турдаги аралашмаларни ректификация усули билан ажратиш бўлмайди, лекин ректификация ва мембранали ажратиш усуллари бирга қўллаш катта иқтисодий фойда бериши мумкин.

Турли синфдаги углеводородларни, органик кислоталарнинг сувли эритмаларини, кетонларни мембрана орқали буғланиш усулида ажратиш юқори иқтисодий самара беради.

Бундан ташқари, бу усул оқава сувларни тозалашда қўлланилиши мумкин.

Диализ — бу концентрланган ва суюлтирилган эритмаларни диффузия тезликлари турли бўлган моддаларни ярим ўтказувчан мембраналар орқали ўтказиб ажратиш усулидир. Агар концентрацияси юқори ва паст бўлган эритмалар орасига мембрана жойлаштирилса, эритмалар орасида концентрация градиенти ҳосил бўлади. Бу градиент таъсирида эритилган модда мембрана орқали концентрацияси кам бўлган эритма томон диффузия орқали ўта бошлайди.

Эритувчи (сув) эса, тескари томон ҳаракат қила бошлайди. Диализ тезлиги Фикнинг биринчи қонуни ёрдамида топилади. Диализ орқали ўтган модда миқдори эса, масса ўтказиш тенгламаси орқали аниқланади. Диализ асосан, тузилиши ромли фильтр - прессга ўхшаш бўлган, текис камерали ва ичи бўш толали мембрана қурилмаларда амалга оширилади.

Термомембрана жараёнлари. Бу жараён ғовакли мембрана қалинлиги бўйича температура градиенти ҳосил бўлишига асосланган ва мембранали дистилляция бунга мисол бўлиши мумкин.

Жараённинг моҳиятини кўриб чиқамиз. Бошлангич концентрацияли бирорта бир эритма иситилиб (30-70°C) микроғовакли сув ўтмайдиган мембрананинг бир томонида узатилади. Мембрананинг бошқа томонида эса, совуқ эритувчи (сув) ҳаракат қилади. Мембрана ғовакларининг диаметри жуда кичик ва у сув ўтказмайдиган бўлгани учун, сув молекулалари мембрана орқали ўтмайди. Иссиқ эритмадан ажраб чиққан буг мембрана ғовакларига кириб мембрананинг совуқ томонида конденсацияланади. Унда, ғовакларда вакуум ҳосил бўлади ва буғлатиш жараёни тезлашади. Берилган эритманинг температураси унча юқори бўлмагани учун мембранали дистилляцияни ўтказишда чиқинди сувлар ёки газлар (иссиқлик алмашилиш қурилмалардан чиққан) ва қуёш энергиясидан фойдаланиш мумкин. Шунинг учун иқтисодий жиҳатдан бошқа жараёнларга қараганда, термомембрана жараёнлар яхши натижа беради. Ундан ташқари, бу жараён атмосфера босимида олиб борилгани учун қурилмалар арзон ва қулай материаллардан (полимер) ясалиши мумкин.

Бу жараён электролит эритмалар концентрациясини оширишда, денгиз сувларини тозалашда, юқори даражадаги тоза сув олишда қўлланилиши мақсадга мувофиқ.

3.35. Мембраналарни тозалаш усуллари

Мембраналарнинг самарали хизмат муддати, қурилманинг гидродинамик шароити ва уни йиғишдан аввал мембрана элементлари, махсус эритма билан

қанчалик яхши ишлов бсрилганига боғлиқ. Лскин, мембраналар қўрилган чора ва тадбирларга қарамасдан, ифлосланади ва қурилманинг технологик кўрсаткичларини пасайтиради. Шунинг учун мембраналар характеристикаларини дастлабки ҳолатига келтириш учун механик, гидродинамик, физик ва кимёвий тозалаш усуллари қўлланилади.

Механик тозалаш усули самарали бўлиб, фақат цилиндрик мембрана элементли қурилмаларда қўллаш мумкин. Бунинг учун ифлосланган мембрана юзаси кўпикли материал ёки бошқа мослама ёрдамида артилади.

Гидродинамик тозалаш усулининг моҳияти шундаки, мембранага пульсацияли эритма ёки сув оқими, турбулент оқим таъсир эттирилади ёки у сиқилган ҳаво ёрдамида тескари йўналишда пуфланади. Ундан ташқари, баромембран жараёнларда босимнинг кескин равишда пасайтириш йўли билан мембранани тозалаш мумкин.

Бу усуллар энг содда ва арзон. Лекин, бу усулда фақат юзаки, енгил боғланган чўкмаларгина тозаланади.

Физик тозалаш мембранага электр, магнит ва акустик майдонлар таъсир эттириш орқали амалга оширилади. Бу усулнинг энг асосий афзаллиги шундаки, мембраналарни тозалаш қурилмани тўхтатмасдан амалга ошириш мумкин.

Кимёвий тозалаш мембраналарни реактив (масалан, лимон, шавель кислоталари, сода, хлор водородли суюқ эритма ва ҳ.) лар ёрдамида ювишдир. Ушбу усул жуда қиммат, чунки реактивлар сарфи катта ва кимёвий зарарли оқава суюқликлар ҳосил бўлади. Агар, мембрана материалининг кимёвий чидамлилиги паст бўлса, ушбу тозалаш усулини умуман қўллаш мумкин эмас.

3.36. Мембранали қурилмалар тузилиши ва ишлаш принципи

Тескари осмос ва ультрафилтрлаш жараёнлари учун ишлатиладиган қурилмалар даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлади. Даврий қурилмалар, одатда лаборатория шароитларида тажрибалар ўтказиш учун қўлланилади. Саноатда эса, асосан узлуксиз ишлайдиган қурилмалар ишлатилади.

Мембранали қурилмалар афзалликлари: жуда катта солиштирма ажратиш юзали, йиғилиши содда, ишончлилиги юқори ва монтажи осон

Тескари осмос қурилмаларининг энг катта камчилиги шундаки, қурилмада ишчи босим юқори бўлиши керак. Бу ҳол ўз навбатида юқори босимга ҳисобланган ва қувурларни уланиш жойида фланецли бирикмалар ва махсус, чидамли қистирмалар қўллашни талаб қилади.

Филтрловчи мембрана жойлашиш усулига қараб ясси, цилиндр ва ўрам шакли, ҳамда ичи бўш толали мембранали қурилмалар бўлади.

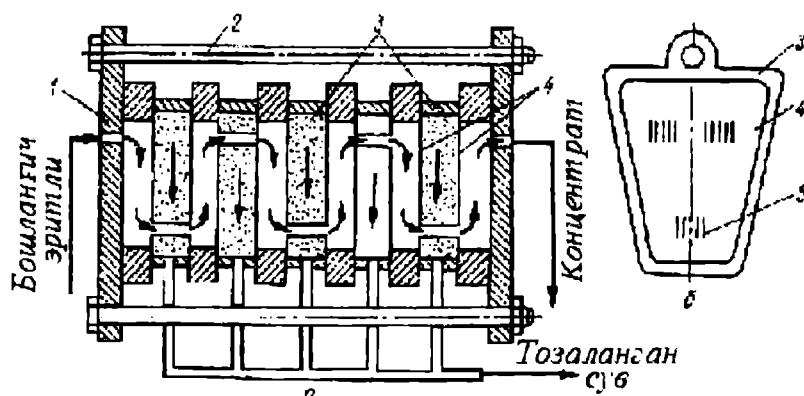
Ушбу қурилмалар алоҳида секция ва модуллардан таркиб топган. Шунинг учун исталган юзали қурилмалар йиғиш осон.

Мембранали қурилмаларга қўйиладиган талаблар: ишчи юзаси катта, тузилиши содда ва ихчам, суюқлик оқимининг тезлиги юқори ва мембрана бўйлаб бир текисда тақсимланиши, гидравлик қаршилиги кичик, мустаҳкамлиги юқори ва герметик бўлиши керак.

Ясси юза, мембрана элементли қурилмалар. Одатда бундай мембранали қурилмалар оддий филтр қурилмасига ўхшаш бўлиб, энг содда қурилма деб ҳисобланади. Бу қурилма икки мембранадан таркиб топган филтрловчи элемент конструкция асосини ташкил этади (3.62-расм). Филтрловчи элементлар говакли материал (масалан, полимер)дан тайёрланади.

Суюқлик ўтиши учун металл "патак" листларида тешиклар қилинган. Ушбу листлар 0,5...5 мм ораликда ўрнатилиб, эритмани ажратувчи мембрана-

лараро бўшлиқ ҳосил қилади. Фильтрловчи элементлар дастаси иккита плита орасида жойлаштирилади ва тортувчи болтлар билан сиқиб қўйилади.



3.62-расм. Ясси юза мембрана элементли қурилма.

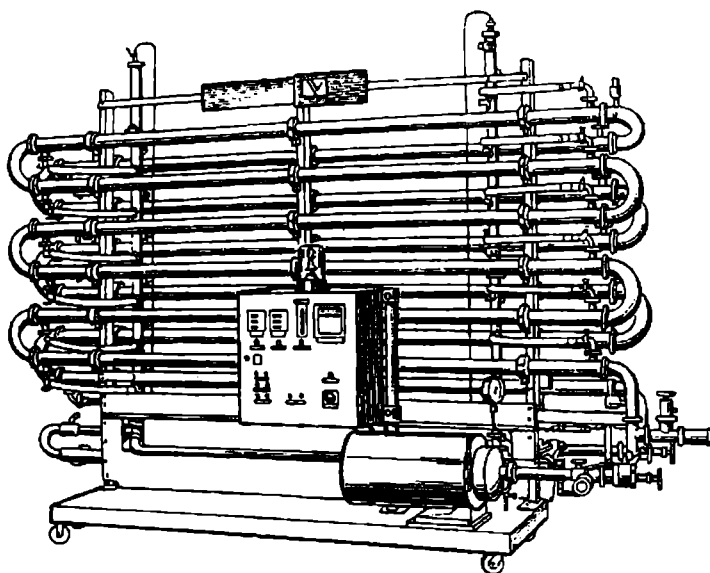
1-плита; 2-тортувчи болт; 3-металл "патак"; 4-мембрана; 5-тешик.

Эритма фильтрловчи элементлардан кетма-кет ўтади ва концентрланади. Ҳосил бўлаётган концентрат ва фильтрат қурилмадан узлуксиз равишда чиқариб турилади.

Бу турдаги қурилмалар оқсилларни ажратиб олиш, ҳамда ёғсизлантирилган сут ва твороғларни ультрафильтрлаш учун қўлланилади.

Ясси юза, мембрана элементли қурилмалар камчиликлари: мембраналар солиштирма юзаси кичик 60...300 м²; мембраналарни алмаштириш ва йиғиш қўлда амалга оширилади.

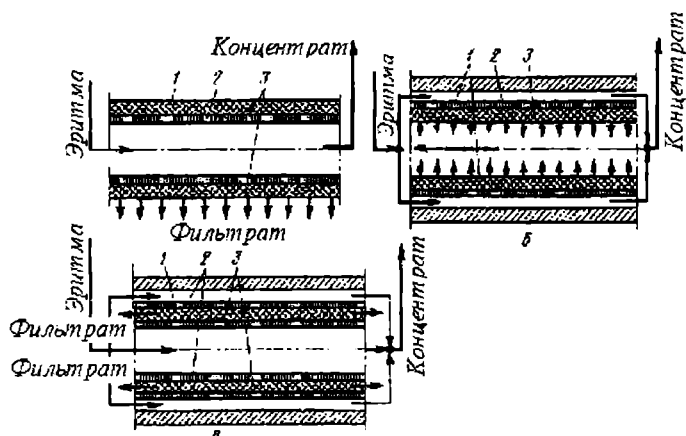
Цилиндрик мембрана элементли қурилмалар алоҳида цилиндрик фильтрловчи модуллардан йиғилади (3.63-расм).



3.63-расм. Цилиндрик мембрана элементли қурилма.

Цилиндрик филтрловчи элементлар 3 хилда: мембрана дренаж қобирғанинг ички ва ташқи юзасида, ҳамда комбинацияли жойлаштирилиб тайёрланади.

Дренаж қобирғанинг ички юзасида ўрнатилган мембранали қурилмалар афзалликлари (3.64а-расм): металл сарфи кам; гидравлик қаршилиги кичик; филтрловчи элементларни бузмасдан туриб чўкмадан тозалаш осон; конструкция ишончилиги юқори.



3.64-расм. Мембранаси турлича жойлаштирилган цилиндрик филтрловчи элементлар.

а-дренаж қобирғанинг ички юзасида; б-дренаж қобирғанинг ташқи юзасида; в-комбинациялашган; 1-труба; 2-мембрана; 3-металл "патак"

Камчиликлари: филтрловчи мембрананинг солиштира ишчи юзаси кичик; элементларни йиғиш юқори талабларга жавоб бериши керак.

Одатда, дренаж қобирғанинг ташқи юзасида ўрнатилган мембранали қурилмалар катта филтрлаш солиштира юзали бўлади (3.64б-расм). Лекин, бу филтр элементларга металл сарфи кўп бўлади ва уларни механик тозалаш мумкин эмас.

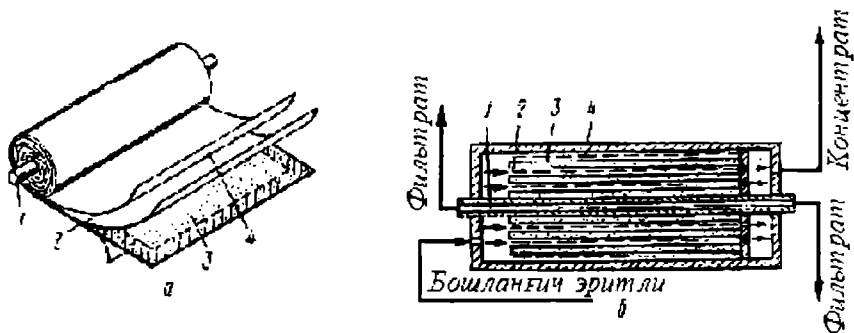
Мембраналари комбинацияли жойлаштирилган цилиндрик филтр элементларнинг солиштира ишчи юзаси юқорида кўриб чиқилган қурилмаларникидан 2 марта кўп бўлади (3.64в-расм). Лекин, филтрат чиқариш каналларининг узунлиги катталиги учун, гидравлик қаршилик нисбатан катта бўлади.

Цилиндрик филтр элементли ультрафилтрлаш қурилмалари мева ва мева-резаворлар шарбатларини тинитиб тозалаш учун кенг қўлланади. Шарбатларни хира қилиб турувчи протеин, крахмал, пектин, целлюлоза заррачаларидан ажратиш олиш мумкин. Тозаланган шарбатда фақат табиий таркибли моддалар қолади.

Ўрам шаклдаги мембрана элементли қурилмалар труба шаклида ясаиб, унинг ичига бир нечта ўрамли филтр элемент тикилади.

Мембранани ўраш зичлиги $300 \dots 800 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Бошлангич эритма мембраналараро бўшлиқда бўйлама йуналишда ҳаракат қилса (3.65б-расм), филтрат эса, спиралсимон дренаж қатламдан ўтиб, трубага тушади ва қурилмадан чиқарилади.

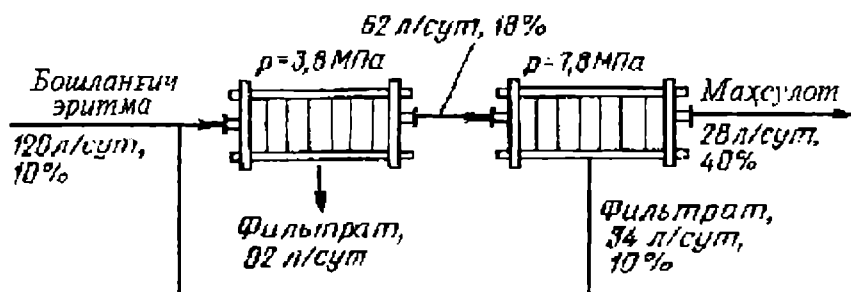
Мембрананинг ишчи юзасини ошириш учун ўраш зичлиги кўпайтирилади.



3.65-рasm. Ұрамлы фильтр элемент (а) ва шундай элементли қурилма (б)
1-труба; 2-мембрана; 3-металл "патак"; 4-түр-сепаратор.

Мембрананинг ўраш зичлиги оширилса, унинг ишчи юзаси ортади ва ясаиш нархи пасаяди. Ўраш дастасининг энг максимал эни 900 мм гача бўлади. Дасталарнинг узунлиги дренаж қатламининг фильтрат ҳаракатига гидравлик қаршилиги билан чегараланади ва одатда 2 метрдан ошмайди.

3.66-рasmда сут маҳсулотларини ишлаб чиқариш учун, уни қайта ишлаш технологик схемаси келтирилган.



3.66-рasm. Сутни қайта ишлаш схемаси.

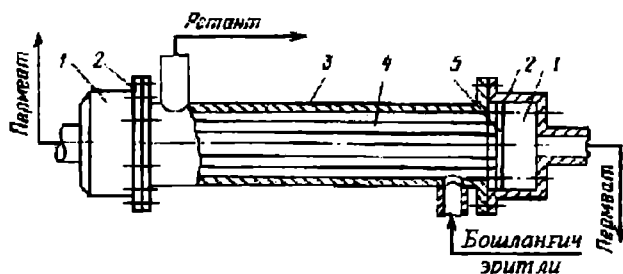
Ушбу схемадан кўриниб турибдики, сутни сепарация қилиб ёғ олиш, ёғсизлантирилган сутни ультрафилтрлаш ва тескари осмослар технологиянинг асосий босқичларидир. Ёғсизлантирилган сут концентратидан турли хил сут маҳсулотларини олиш мумкин. Сутни қайта ишлаш технологиясида мембрана-ли қурилмаларни қўллаш оқова сувларни тозалаш муоммосини ҳал этиш имконини беради.

Ичи бўш толали қурилмалар ультрафилтрлаш ва тескари осмос ёрдамида эритмаларни ажратиш учун кенг миқёсда қўлланилади. Ичи бўш толаларнинг ташқи диаметри 45...200 мкм ва деворининг қалинлиги эса 10...50 мкм, ультрафилтрлаш учун диаметри - 200...1000 мкм, девори қалинлиги - 50...200 мкм. Ушбу ўлчамли толалар суюқлик ёки газ аралашмасининг 10 МПа гача бўлган босимга чидамли ва ўз мустақамлигини йўқотмайди.

Бу турдаги қурилмаларни қуйидаги гуруҳларга бўлиш мумкин: а - ичи бўш, толалари параллел жойлаштирилган; б - цилиндрик мембрана элементли; в - ичи бўш, толалари U-симон қилиб жойлаштирилган.

Ичи бўш толали қурилмалар таянчсиз ва таянч тақсимловчи трубкали бўлиши мумкин. Таянчсиз қурилмалар тузилиши содда, лекин суюқликнинг тақсимланиши, яъни гидродинамик шароити ёмон. Шунинг учун, ушбу қурилмаларда гидродинамик шароитларни яхшилаш мақсадида тақсимловчи мослама ва турбулизаторлар ўрнатилади.

3.67-расмда ичи бўш, толалари параллел ўрнатилган мембрана қурилма келтирилган.

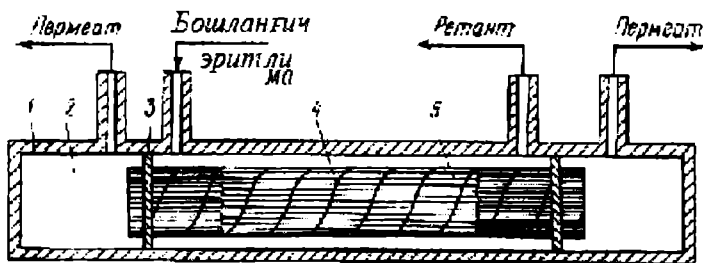


3.67-расм. Ичи бўш, толалари параллел жойлаштирилган, таянчсиз мембрана қурилма.
1-пермеат йиғич; 2-фланецлар; 3-қобик; 4-ичи бўш толалар; 5-тешикли панжара.

Қурилма, эритма кириш ва чиқиш штуцерлари ўрнатилган қобик 3 дан, ҳамда пермеат йиғич 1 ва тешикли панжара 5 ларни маҳкамлаш учун фланец 2 лардан таркиб толган. Ичи бўш толалар дастаси 4 қобик 3 ўқиға параллел ҳолда жойлаштирилади ва эпоксид елими ёрдамида тешикли панжара 5 га маҳкамланади. Ажратиладиган эритма ичи бўш толалар дастаси 4 нинг ташқи юзаси бўйлаб ҳаракат қилади ва босим таъсирида толалар девори орқали ўтади ва пермеат капилляр каналлардан йиғичга тушади. Концентрланган эритма ва ретант-узлуксиз равишда қурилмадан чиқарилиб туради.

Ушбу турдаги қурилма энг асосий камчилиги шундаки, толалар дастасини тешикли панжарага маҳкамлаш ва зичлаш жуда қийин. Ундан ташқари, эритма оқимини толалар дастаси бўйлаб бир текисда тақсимлаш ҳам осон эмас.

Қайд этилган камчиликлар бир дастали, мембрана элементли қурилмаларда бартараф қилинган (3.68-расм).



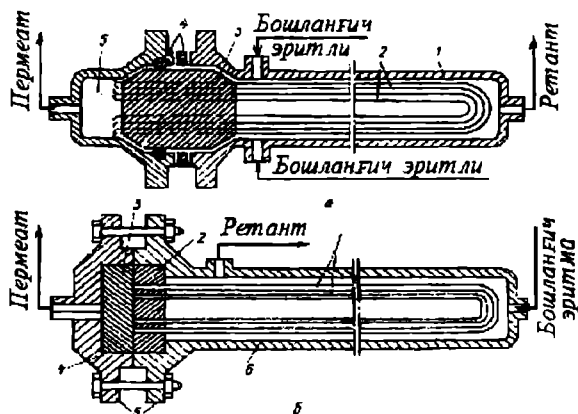
3.68-расм. Ичи бўш, бир даста толалар қурилма схемаси.
1-қобик; 2-пермеат йиғич; 3-суяқлик тўсгич; 4-спиралсимон чизимча; 5-толалар дастаси.

Бу турдаги қурилмаларда эритмани аралаштириш жараёнини жадаллаштириш учун тақсимловчи труба ўрнатилади. Ушбу трубанинг марказий қисмида эритмани толалар дастасининг ичига узатиш учун тешиклар қилинган бўлади.

Бундай қурилмаларни ясаш учун металл кам сарфланади. Лекин, эритманинг аралаштириш жадаллиги паст бўлганлиги ва ичи бўш толаларнинг

сууюқлик тўсгичда қаттиқ маҳкамланиши сабабли, таркибида қаттиқ заррачалар бор эритмаларни ажратиб бўлмайди.

Ичи бўш, толалари U-симон қилиб жойлаштирилган қурилмалар тузилиши солда, яшаш, йиғиш ва монтаж қилиш осон ва металл сарфи кам. Шунинг учун бу турдаги қурилмалардан саноатда кўп фойдаланилади (3.69-расм).



3.69-расм. Ичи бўш, U-симон толали мембранали қурилма.

а-конуссимон таянч фланецли: 1-қобик; 2-ичи бўш толалар дастаси; 3-шайба; 4-ҳалқасимон қистирмалар; 5-пермеат йиғгич; б-ғовакли таянч «патак»ли:
1-ичи бўш толалар дастаси; 2-шайба; 3-ғовакли «патак»; 4-қопқоқ; 5-фланецли бирикма; 6-қобик.

Бу турдаги қурилмалар қобик 1, пермеат йиғгич 5 ва ҳалқасимон қистирмалар 4 дан таркиб топган бўлади (3.69а-расм). U-симон ичи бўш толалар дастасининг узунлиги 1,5...2 метр бўлиб, уларнинг очиқ учлари шайба 3 га эпоксид елими ёрдамида ёпиштирилган.

Қурилманинг асосий камчилиги: ичи бўш толаларни шайба 3 га маҳкамлаш қийин ва мураккаб; шайба 3 қалин бўлганлиги учун ичи бўш толаларнинг юзаси 5-10 % га камаяди.

Юқорида қайд этилган камчиликлар 3.69б-расмда кўрсатилган қурилмада бартараф қилинган, чунки шайба 3 қалинлиги анча камайтирилган, яъни 10...20 мм.

3.37 Мембранали жараён ва қурилмаларни ҳисоблаш

Мембранали қурилмаларнинг ҳисоби технологик, гидравлик ва механик ҳисоблардан иборат. Эритма иситилса ёки совутилса, жараён иссиқлик ҳисоби ҳам ўтказилиши керак.

Технологик ҳисоблашларда мембрананинг ишчи юзаси, сууюқликлар сарфи ва таркиби аниқланади.

Гидравлик ҳисоблашдан мақсад - қурилма ва арматураларнинг гидравлик қаршиликларини аниқлашдир.

Механик ҳисоб эса, қурилма қисмларининг ўлчамларини аниқлаш ва ишчи босим учун тўғри келадиган арматура танлашдан иборат.

Иссиқлик ҳисоблашга эса, иссиқлик алмашиниш юзасини ва иссиқлик элткичлар сарфини аниқлаш киради.

Моддий баланс. Одатда мембранали жараёнлар ўзгармас температура ва босимда олиб борилади. Бошланғич эритманинг сарфи L_0 (кг/соат) ва унинг таркиби c_0 (кг/кг) пермеатнинг концентрацияси c_2 (кг/кг), ва қурилмадан чиқаётган пермеат миқдори a :

$$a = \frac{W}{L_0} \quad (3.129)$$

бу ерда W - пермеат сарфи, кг/соат.

Пермеат a чиқиши бўйича унинг миқдори аниқланади:

$$W = a \cdot L_0 \quad (3.130)$$

Оқимлар бўйича моддий баланс:

$$L_0 = L - W \quad (3.131)$$

L - ретант (концентрат) сарфи:

$$L = L_0 - W \quad (3.132)$$

Компонент бўйича моддий баланс:

$$L_0 c_0 = L c_1 - W c_2 \quad (3.133)$$

(3.132) тенгламани инобатга олганда, ретант таркибини ушбу формуладан топилади:

$$c_1 = \frac{L_0 c_0 - W c_2}{L_0 - W} \quad (3.134)$$

$$c_1 = \frac{c_0 \left(\frac{W}{L_0} \right)}{1 - \frac{W}{L_0}} c_2 \quad (3.135)$$

Келтириб чиқарилган (3.134) ва (3.135) тенгламалар бошқа турдаги мембраналарни ҳисоблаш учун ҳам қўллаш мумкин.

Агар, (3.129) тенгликни инобатга олсак, ҳисоблаш формуласи қуйидагича бўлади:

$$c_1 = (c_0 - a c_2) (1 - a) \quad (3.136)$$

Мембрана устидаги ажратилаётган эритманинг таркибига қараб мембрананинг солиштирма унумдорлиги ушбу функция орқали аниқланади:

$$G = f(c_1) \quad (3.137)$$

Агар, G ва c_1 катталиклар маълум бўлса ва (3.130) тенгламани ҳисобга олсак (3.121) формуладан ярим ўтказувчан мембрананинг юзаси F ни топиш мумкин:

$$F = \frac{W}{G} = \frac{aL_0}{f(c_1)} \quad (3.138)$$

Мембрана юзасини ҳисоблаш – масса ўтказишнинг асосий тенгламаси ёрдамида олиб борилади. Мембрана орқали ўтаётган модданинг миқдорини, масса ўтказишнинг асосий кинетик тенгламасидан аниқлаш мумкин:

$$M = KF\Delta_{yp}\tau \quad (3.139)$$

бу ерда K – масса ўтказиш коэффициенти; F – мембрана ишчи юзаси; Δ_{yp} – мембранали ажратиш жараёнининг ҳаракатга келтирувчи кучи; τ – жараён давомийлиги.

(3.139) тенгламадан мембрананинг ишчи юзаси топилади:

$$F = \frac{M}{K\Delta_{yp}\tau} \quad (3.140)$$

бу ерда M – мембрана орқали ўтган компонент миқдори, моддий баланс орқали аниқланади.

Мембрана орқали модда ўтиш пайтида масса ўтказиш коэффициенти K ни ушбу формуладан топилади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_M} + \frac{1}{\beta_2}} \quad (3.141)$$

бу ерда β – ажратилаётган оқимдан мембрана юзасига масса бериш коэффициенти; δ – мембрана қалинлиги; λ_M – мембрананинг масса ўтказувчанлик коэффициенти; β_2 – мембранадан пермеат оқимига масса бериш коэффициенти.

Масса ўтказиш коэффициентининг тескари қиймати масса ўтказишга кўрсатилган қаршиликни кўрсатади:

$$\frac{1}{K} = R = r_1 + r_M + r_2 = \frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_M} + \frac{1}{\beta_2} \quad (3.142)$$

бу ерда $r_1=1/\beta_1$, $r_2=1/\beta_2$ масса беришга кўрсатилган қаршиликлар; $r_M=\delta/\lambda_M$ мембранадаги масса ўтиш жараёнига қаршилик ва $r \gg (r_1+r_2) \cdot r_M$ ни аниқлаш учун кўпинча тажриба ўтказиш керак бўлади.

Ундан ташқари Δ_{yp} ни аниқлаш ҳам осон эмас.

Иссиқлик ўтказиш

4.1. Умумий тушунчалар

Температураси юқори бўлган жисмдан температураси паст жисмга иссиқликнинг ўз - ўзидан, қайтмас ўтиш жараёнига *иссиқлик алмашилиш* дейилади.

Жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи, бу ҳар хил температурали бўлган жисмларнинг температуралар фарқидир. Термодинамиканинг 2-қонунига биноан, иссиқлик ҳар доим температураси юқори жисмдан температураси паст жисмга ўтади.

Иссиқлик (иссиқлик миқдори) — бу иссиқлик алмашилиш жараёнининг энергетик характеристикаси бўлиб, жараён мобайнида узатилган ёки олинган энергия миқдори билан белгиланади.

Иссиқлик алмашилиш жараёнида иштирок этувчи жисмлар иссиқлик ташувчи элткич ёки *иссиқлик элткич* деб номланади.

Иссиқлик ўтказиш — иссиқлик энергиясининг тарқалиш жараёнлари тўғрисидаги фан.

Иссиқлик алмашилиш жараёнларига иситиш, совитиш, конденсациялаш, буғланиш ва буғлатишлар киради. Ушбу жараёнларни амалга ошириш учун мўлжалланган қурилмалар *иссиқлик алмашилиш* қурилмалари деб аталади.

Маълумки, иссиқлик алмашилиш жараёнларида камида 2 та турли температурали муҳитлар иштирок этади. Ўз иссиқлик энергиясини узатувчи, юқори температурали муҳит - *иссиқлик элткич* деб аталса, иссиқлик энергиясини қабул қилувчи паст температурали муҳит эса-*совуқлик элткич* деб аталади.

Иссиқлик ва совуқлик элткичлар кимёвий бардошли бўлиши, қурилмаларини емирмаслиги ва унинг деворларида қаттиқ, ғовак, қуйқа ҳосил қилмаслиги керак. Шунинг учун, иссиқлик ёки совуқлик элткичларни танлашда жараён температураси, нархи ва уларни қўлланиш соҳалари каби кўрсаткичларга катга аҳамият бериш керак.

Температураси турли бўлган муҳитлар орасида иссиқлик ўтказиш турғун ва нотурғун шароитларда амалга ошиши мумкин.

Турғун жараёнларда қурилманинг температура майдони вақт ўтиши билан ўзгармайди. Нотурғун жараёнларда эса, вақт ўтиши билан температура ўзгаради. Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларда жараёнлар турғун боради, узлукли (даврий) ишлайдиган қурилмаларда эса — жараёнлар нотурғун бўлади. Ундан ташқари, даврий ишлайдиган қурилмаларни юргизиш ва тўхтатиш, ҳамда иш режимлари ўзгарган ҳолларда нотурғун жараёнлар содир бўлади.

Иссиқлик ўтказиш жараёнининг асосий кинетик характеристикалари бўлиб, ўртача температуралар фарқи, иссиқлик ўтказиш коэффициенти ва узатилаётган иссиқлик миқдорлари ҳисобланади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ҳисоблашда қуйидаги параметрлар топилади:

1. Иссиқлик оқими (қурилманинг иссиқлик юкмаси), яъни иссиқлик миқдори Q ҳисобланади. Иссиқлик оқимини аниқлаш учун иссиқлик баланси тузилади ва у Q га нисбатан ечиб топилади;

2. Берилган вақт ичида зарур иссиқлик миқдорини узатишни таъминловчи қурилманинг иссиқлик алмашилиш юзаси аниқланади.

4-1 жадвал

Иссиқлик (совуқлик) элткичларнинг энг кенг тарқалган турлари

т/р	Иссиқлик элткичнинг номи	Ишчи шароитлар	
		Температура, °С	Босим, МПа
1.	Гелий	≤ -272	≤ 0,1
2.	Водород	≤ -257	≤ 1,0
3.	Азот, кислород, ҳаво	≤ -210	≤ 20,0
4.	Метан	-100...-160	≤ 4,0
5.	Этан, этилен, фреонлар	-70...-150	≤ 4,0
6.	Аммиак, олтингугурт ва углерод диоксиди, фреон -12,22	0...-70	≤ 1,5
7.	Этиленгликоль	0...-65	≤ 0,1
8.	Кальций хлорид эритмаси	0...-50	≤ 0,1
9.	Фреон -11, 21, 113, 114	0...-10	≤ 0,3
10.	Сув	0...-100	0,1
11.	Тўйинган сув буғи	100...374	0,1...22,5
12.	Газойль	0...250	0,1...4,0
13.	Дифенил, дифенилоксид, дифенил аралашмалари (юқори температурали органик иссиқлик элткичлар)	200...300 260...350	0,1 0,1...0,6
14.	Силиконлар (юқори молекулали кремний органик бирикма)	320	0,1
15.	Қалай ва сурмаларнинг қўрғошин билан қотишмаси	400	0,1
16.	НТС қуюқ эритмаси (40% NaNO ₂ , 17% NaNO ₃ ва 53% KNO ₃)	150...530	0,1
17.	Тутун газлари	420...1000	0,1
18.	Қаттиқ иссиқлик элткичлар (шамот, алунд ва ҳоказо)	≤ 1500	0,1
19.	Газлардан электр разряди ўтганда ҳосил бўлган газлар	≤ 3500	0,1

Бунинг учун иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан фойдаланилади.

Иссиқлик асосан 3 усулда узатилиши мумкин. *Иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва иссиқлик нурланиши.*

4.1.1. Иссиқлик баланси

Температураси юқори иссиқлик элткичдан берилаётган иссиқлик миқдори Q_1 температураси паст элткични иситиш учун Q_2 ва маълум бир қисми қурилмадан атроф муҳитга йўқотилаётган иссиқлик ўрнини тўлдириш учун $Q_{\text{ўқ}}$ сарф бўлади. Одатда, иссиқлик қопламали қурилмалар учун $Q_{\text{ўқ}}$ миқдори фойдали иссиқлик миқдорининг 3...5% ни ташкил этади. Шунинг учун, бу турдаги қурилмаларни ҳисоблашда $Q_{\text{ўқ}}$ ни эътиборга олмаса ҳам бўлади. Унда, иссиқлик баланси қуйидаги тенглик билан ифодаланиши мумкин:

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (4.1)$$

бу ерда Q - қурилманинг иссиқлик юкламаси.

Агар, иссиқлик элткичининг массавий сарфи G_1 , унинг қурилмага кириш энthalпияси I_{16} ва чиқишдагиси эса I_{14} , совуқлик элткичининг сарфи G_2 қурилмага киришдаги энthalпияси I_{26} в чиқишдагиси I_4 бўлганда (4.1) тенгликни ушбу кўринишда ёзиш мумкин:

$$Q = G_1(I_{16} - I_{14}) = G_2(I_4 - I_{26}) \quad (4.2)$$

Агар, иссиқлик алмашиниш жараёнида иссиқлик элткичининг агрегат ҳолати ўзгармаса, унда унинг энthalпияси ушбу кўринишда ифодаланади:

$$\begin{aligned} I_{16} &= c_{16}t_{16} & I_{14} &= c_{14}t_{14} \\ I_{24} &= c_{24}t_{24} & I_{26} &= c_{26}t_{26} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Одатда, техник ҳисобларда маълум температура учун энthalпия қиймати жадвал ва диаграммалардан топилади.

Агар, иккала элткичининг солиштирма иссиқлик сифимлари (c_1 ва c_2) температурага боғлиқ эмас деб ҳисобланса, унда иссиқлик балансининг тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$Q = G_1c_1(t_{16} - t_{14}) = G_2c_2(t_{24} - t_{26}) \quad (4.4)$$

4.1.2. Температура майдони ва градиенти

Муҳитларда иссиқлик оқими ва температуранинг тақсимланиши ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш иссиқлик алмашиниш назариясининг асосий вазифаларидан биридир.

Текширилаётган муҳитнинг ҳамма нуқталари учун исталган бирор вақтдаги температура қийматлари мажмуига **температура майдони** дейилади.

Энг умумий ҳолатда маълум бир нуқтадаги температура t шу нуқтанинг координаталари (x, y, z)га боғлиқ бўлади ва вақт τ ўтиши билан ўзгаради. Демак, температура майдонини ушбу функция билан ифодалаш мумкин:

$$\tau = f(x, y, z, \tau) \quad (4.5)$$

Ушбу боғлиқлик турғун температура майдонини ифодаловчи тенгламадир.

Хусусий ҳолатда (4.5) тенглама фақат фазовий координаталар функцияси бўлади, яъни:

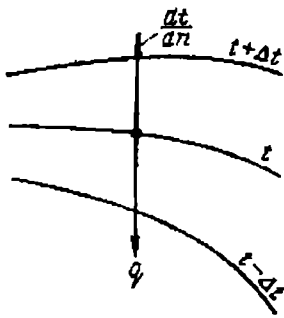
$$t = f(x, y, z) \quad (4.6)$$

ва унга тегишли турғун температура майдонини ифодалайди.

Агар, жисмда бирор текислик ўтказилса ва ушбу текисликдаги бир хил температурали нуқталарни бирлаштирсак, ўзгармас температурали чизиқ (изотерма) га эга бўламиз. Температураси бир хил нуқталардан ташкил топган жисмнинг юзаси **изотермик юза** деб номланади.

Иккита бир-бирига яқин жойлашган изотермик юзаларнинг температуралар фарқи Δt бўлса, улар орасидаги энг қисқа масофа Δn бўлади (4.1-рasm). Агар, иккала изотермик юзалар бир-бирига яқинлашиб борса $\frac{\Delta t}{\Delta n}$ нис-

бат ушбу чегарага интилади:



4.1-расм. Температура градиенти-
ни аниқлашга оид.

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad} t \quad (4.7)$$

Изотермик юзага нормал бўйича йўналган температура ҳосиласи **температура градиенти** деб номланади.

Температура градиенти вектор катталиқдир.

Температура градиенти нольга тенг бўлмаган ($\text{grad} t \neq 0$) шароитдагина иссиқлик оқими ҳосил бўлиши мумкин.

Маълумки, иссиқлик оқими ҳар доим температура градиенти чизиги бўйлаб ҳаракат қилади. Лекин, унинг ҳаракат йўналиши температура градиентига қарама-қарши бўлади.

4.2. Иссиқлик ўтказувчанлик

Фурье қонуни. Қаттиқ жисмларда иссиқлик тарқалиш жараёнини тажрибавий ўрганиш натижасида Фурье (1768-1830) иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонунини кашф этди. Ушбу қонунга биноан, иссиқлик ўтказувчанлик орқали узатилган иссиқлик миқдори dQ температура градиенти $\partial t / \partial n$, вақт $d\tau$ га ва иссиқлик оқими йўналишига перпендикуляр бўлган майдон юзаси dF га пропорционал бўлади, яъни:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau \quad (4.8)$$

(4.8) формуладаги пропорционаллик коэффиценти λ иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти деб аталади. Бу коэффицент жисмнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини характерлайди ва қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

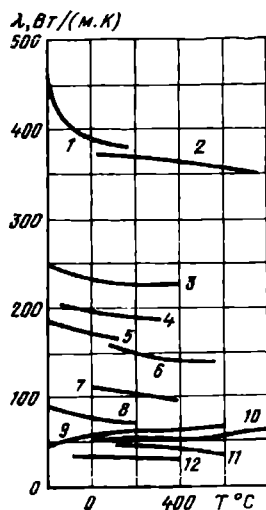
$$[\lambda] = \left[\frac{dQ \partial n}{\partial t dF d\tau} \right] = \left[\frac{\text{Ж}}{\text{К}} \frac{\text{м}}{\text{м}^2 \text{ с}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м К}} \right]$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти иссиқлик алмашиниш юза бирлигидан (1 м^2) вақт бирлиги давомида изотермик юзага нормал бўлган 1 м узунликка тўғри келган температураларнинг 1 К ($^{\circ}\text{С}$) га пасайиши вақтида узатилган иссиқлик миқдорини ифодалайди.

Жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти унинг таркиби, физик-кимёвий хоссалари, температура, босим ва бошқа катталикларга боғлиқ. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти турли материаллар учун қуйидаги ораликда бўлади:

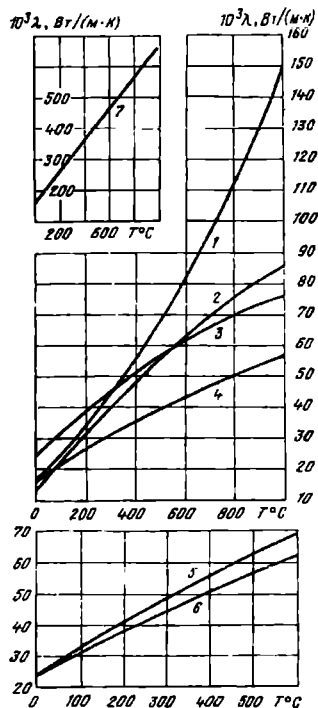
- газлар учун $0,005 \dots 0,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- суюқликлар учун $0,08 \dots 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- иссиқлик қоплама ва қурилиш материаллари учун $0,22 \dots 3,0 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- металллар учун $2,3 \dots 458,0 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Кимё ва бошқа саноатларда қўлланиладиган айрим металллар иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти қуйидаги қийматларга эга: легирланган пўлат - $14 \dots 23$; қўрғошин - 35 ; углеродли пўлат - 45 ; никель - 58 ; чўян - 63 ; алюминий - 204 ; мис - 384 ; кумуш - $458 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Саноатда энг кўп қўлланиладиган металллар ва суюқликлар иссиқлик ўтказувчанлик коэффицентлари 4.2 ва 4.3 -расмларда келтирилган.



4.2-расм. Айрим металлларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари.

1-тоза мис; 2-мис 99,9%; 3-алюминий 99,7%; 4-алюминий 99,0%; 5-тоза марганец; 6-марганец 99,6%; 7- рух 99,8%; 8-тоза платина; 9-никель 99%; 10-никель 99,2%; 11-темир 99,2%; 12 техник тоза қўрошин.

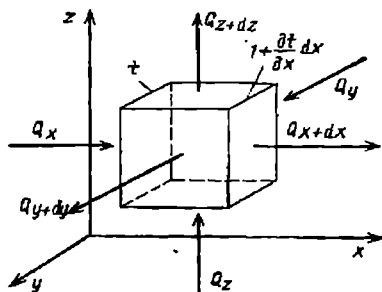


4.3-расм. Турли газларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари.

1-сув буғи; 2-углекислота; 3-ҳаво; 4-аргон; 5-кислород; 6- азот; 7- водород.

4.2.1. Иссиқлик ўтказувчанлиқнинг дифференциал тенгламаси

Иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқликнинг тарқалиши математик усулда дифференциал тенглама билан ифодаланиши мумкин. Ушбу тенглама энергиянинг сақланиш қонуни асосида келтириб чиқарилади ва иссиқлик тарқатаётган жисм ёки муҳитнинг физик хоссалари (зичлик ρ , иссиқлик сифим c , иссиқлик ўтказувчанлик λ) ҳамма йўналишларда ва вақт ўтиши билан ўзгармайди деб қабул қилинади.



4.4-расм. Фуръенинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

Иссиқлик ўтказувчанлиқнинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқариш учун қаттиқ жисмдан қирралари dx , dy ва dz бўлган элементар параллелепипед ажратиб олинади (4.4-расм).

Агар, параллелепипеднинг чап орқа ва остки томонларидан $d\tau$ вақт мобайнида Q_x , Q_y ва Q_z миқдорда иссиқлик кирса, қарама-қарши - ўнг, олд

ва устки — томонларидан эса ўз навбатида Q_{x+dx} , Q_{y+dy} ва Q_{z+dz} миқдорда ис-
сиқлик чиқади.

Бирор $d\tau$ вақт ичида параллелепипедга кирган ва ундан чиққан ис-
сиқликларнинг фарқи ушбу ифодадан топилади:

$$dQ = (Q_x - Q_{x+dx}) + (Q_y - Q_{y+dy}) + (Q_z - Q_{z+dz}) \quad (4.9)$$

Фурье қонунига биноан (4.9) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш
мумкин:

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau$$

$$Q_{x+dx} = -\lambda \frac{\partial \left(t + \frac{\partial t}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dydzd\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dydzd\tau$$

Демак,

$$Q_x - Q_{x+dx} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dydzd\tau \quad (4.10)$$

Юқоридаги усулдан фойдаланиб, қолган қирралар орқали ўтган ис-
сиқлик миқдорлари аниқланади:

$$Q_y - Q_{y+dy} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} dx dydzd\tau \quad (4.11)$$

$$Q_z - Q_{z+dz} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dx dydzd\tau \quad (4.12)$$

(4.11)...(4.13) тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини қўшиб, қуйидаги
кўринишга эга бўламиз:

$$dQ = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dx dydzd\tau \quad (4.13)$$

Энергия сақланиш қонунига биноан, dQ иссиқлик миқдорининг фарқи
 $d\tau$ вақт ичида параллелепипед энтальпиясининг ўзгаришига сарфланаётган ис-
сиқлик миқдorigа тенг бўлади, яъни:

$$dQ = c \rho dx dydz \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau \quad (4.14)$$

бу ерда c — материалнинг солиштирма иссиқлик сифими.

(4.13) ва (4.14) ифодаларни солиштириш натижасида Фурьенинг ис-
сиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини оламиз:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (4.15)$$

(4.15) тенгламадаги $\lambda/(c\rho)$ пропорционаллик кўпайтмасы температура ўтказувчанлик коэффициенти деб номланади ва у қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$[a] = \left[\frac{\lambda}{c\rho} \right] = \left[\frac{\frac{Bm}{m \cdot K}}{\frac{Ж}{кг \cdot K} \cdot \frac{кг}{м^3}} \right] = \left[\frac{\frac{Ж}{с \cdot м \cdot K}}{\frac{Ж}{кг \cdot K} \cdot \frac{кг}{м^3}} \right] = \left[\frac{м^2}{с} \right]$$

Ушбу коэффицент жисмнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини характерлайди.

Одатда, Фурьенинг иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини ушбу кўринишда ёзилади:

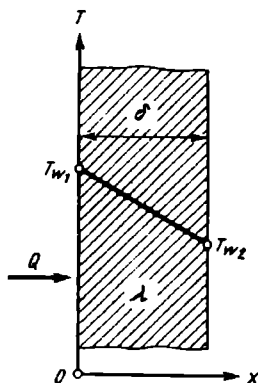
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad \text{ёки} \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t \quad (4.16)$$

Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг иситиш юзалари текис, цилиндрик ёки сферик шаклда бўлиши мумкин.

Шунинг учун, юқорида қайд этилган геометрик шаклли деворларда иссиқликнинг тарқалиши муҳим амалий аҳамиятга эга.

4.2.2. Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Бир жинсли, деворнинг қалинлиги δ ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти λ бўлган бир қатламли текис девордан иссиқлик ўтишини кўриб чиқамиз. Деворнинг ташқи юза температураси t_{w1} , ички юзасиники эса t_{w2} га тенг, лекин $t_{w1} > t_{w2}$ (4.5-расм).



4.5-расм. Текис бир қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

Бир қатламли, текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқариш учун Фурьенинг дифференциал тенгламаси (4.16) дан фойдаланамиз.

Маълумки, турғун иссиқлик режимда деворнинг турли нуқталаридаги температура, вақт ўтиши билан ўзгармайди, яъни $dt/d\tau=0$. Ундан ташқари, температура майдони бир ўлчамли бўлади.

Демак, температура фақат бир йўналиш (x ўқи) бўйлаб ўзгаради, яъни:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

Шундай қилиб, турғун жараёнда бир қатламли текис девор учун (4.16) тенгламани қуйидаги қўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad (4.17)$$

(4.17) тенгламани интегралласак, қуйидаги тенгликларни оламиз:

$$\frac{dt}{dx} = C_1; \quad t = C_1 x + C_2 \quad (4.18)$$

Интеграллаш константалари C_1 ва C_2 ларни чегаравий ($x=0$ ва $x=\delta$) шартлардан аниқлаймиз:

$$C_2 = t_{w1}; \quad C_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \quad (4.19)$$

Агар, (4.19) ни (4.18) га қўйсак, қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$t = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \cdot x + t_{w1} \quad (4.20)$$

Охирги (4.20) тенгламани таҳлил қилсак, ушбу хулосага келиш мумкин: турғун иссиқлик жараёнида текис деворнинг қалинлиги бўйлаб температура тўғри чизик қонунига биноан ўзгаради ва температура градиенти ўзгармас қийматини сақлайди.

Аниқланган температура градиенти қийматини (4.8) тенгламага қўйсак, иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонунини ифодаловчи тенгламани оламиз:

$$dQ = \lambda \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} dF d\tau$$

ёки

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) F \tau \quad (4.21)$$

бу ерда λ / δ - нисбат деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини, унга тескари катталиқ δ / λ - деворнинг термик ёки иссиқлик қаршилигини ифодалайди.

Агар, текис девор n та (бир-биридан фарқли) қатламдан иборат бўлса, турғун иссиқлик алмашилиш жараёнида ҳар бир қатлам орқали бир хил миқдорда иссиқлик ўтади (4.6-расм) ва у турли қатламлар учун қуйидаги қўринишда ёзилади:

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{w1} - t_a) F \tau \quad \text{ёки} \quad Q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = (t_{w1} - t_a) F \tau$$

$$Q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_a - t_b) F \tau \quad \text{ёки} \quad Q \frac{\delta_2}{\lambda_2} = (t_a - t_b) F \tau$$

$$Q = \frac{\lambda_n}{\delta_n} (t_n - t_{w2}) F \tau \quad \text{ёки} \quad Q \frac{\delta_n}{\lambda_n} = (t_n - t_{w2}) F \tau$$

Тенгламалар ўнг ва чап қисмларини қўшиш натижасида ушбу кўринишга эришамиз:

$$Q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) = (t_{w1} - t_2) F \tau$$

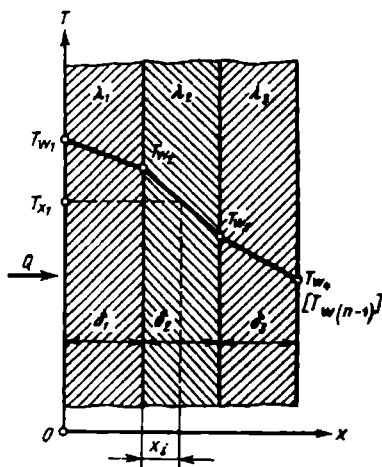
Бунда

$$Q = \frac{(t_{w1} - t_{w2}) F \tau}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (4.22)$$

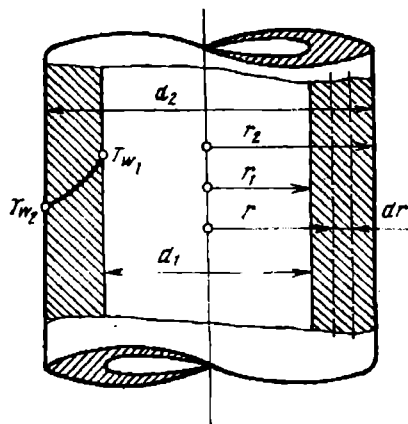
бу ерда i - девор қатламининг тартиб рақами; n - қатламлар сони.

4.2.3. Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Уzunлиги L , ички радиуси r_u ва ташқи радиуси r_T бўлган цилинрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз (4.7-расм). Иссиқлик ўтказиш турғун жараёнда амалга ошаётгани учун деворнинг ички ва ташқи юзларидаги температуралари ўзгармасдир, яъни $t_{w1} = t_{w2}$. Аммо, ички ва ташқи юзлар бир-бирига тенг бўлмагани учун (4.21) тенгламани қўллаш ўринли эмас.



4.6-расм. Текис, кўл қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.



4.7-расм. Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

Температура фақат радиус бўйлаб ўзгармоқда ва $t_{w1} > t_{w2}$ деб қабул қиламиз. Цилиндрик деворнинг бирор r радиусдаги юзаси $F = 2\pi r L$ бўлсин. Агар, F нинг қийматини (4.8) тенгламага қўйсак, бир ўлчовли майдон учун Q ни топиш мумкин:

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dt}{d\delta}$$

бу ерда $\delta = r_m - r_u$.

Агар $d\delta$ ўрнига dr ни қўйсак, унда

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dt}{dr}$$

ёки

$$\frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} dt$$

ушбу тенгламани r_u дан r_m ва t_{w1} дан t_{w2} ораликда интегралласак, қуйидаги кўринишга эришамиз:

$$\ln \frac{r_m}{r_u} = -\frac{2\pi L \tau}{Q} (t_{w2} - t_{w1})$$

ёки $r_m/r_u = d_m/d_u$ эканлиги ҳисобга олсак, ушбу формулани оламиз:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{w1} - t_{w2})}{\frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{d_m}{d_u}} \quad (4.23)$$

Келтирилиб чиқарилган (4.23) формуладан кўриниб турибдики, цилиндрик деворларнинг қалинлиги бўйича температура логарифмик (эгри чизик) қонуни асосида ўзгаради. Ушбу тенглама турғун иссиқлик ўтиш жараёни учун цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини ифодалайди.

Худди шу йўл билан n қатламли цилиндрик девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик усулида узатилган иссиқлик миқдорини аниқлаш мумкин:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{w1} - t_{w2})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} 2,3 \lg \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (4.24)$$

4.2.4. Шарсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Девор материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти λ , ички радиуси r_1 ва ташқи радиуси r_2 бўлган шарсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз (4.8-расм)

Бундай шаклдаги жисмларда температура тарқалиши бир ўлчовли бўлгани учун, температуранинг деворда тақсимланиши шарнинг фақат радиусига боғлиқ. Шунинг учун сферик координаталар системасида иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси ушбу кўринишда ёзилади:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dt}{dr} = 0 \quad (4.25)$$

Деворнинг исталган қалинлигидаги температура ушбу формуладан топилади:

$$t(r) = -\frac{C_1}{r} + C_2 \quad (4.26)$$

Агар, шарсимон деворда температура-нинг тақсимланиши гипербола эгри чизиғи шаклида, ташқи температураси t_{w1} ва ички температураси t_{w2} бўлганда интеграллаш кон-станталари C_1 ва C_2 ушбу тенгламалар систе-масидан топилади:

$$t_{w1} = -\frac{C_1}{r_1} + C_2; \quad t_{w2} = -\frac{C_1}{r_2} + C_2 \quad (4.27)$$

яъни

$$C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}}; \quad C_2 = \frac{r_2 t_{w2} - r_1 t_{w1}}{r_2 - r_1} \quad (4.28)$$

Олинган C_1 ва C_2 ларнинг қийматларини (4.26) га қўйсақ, ушбу ифодани оламиз:

$$t(r) = \frac{t_{w1} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_2} \right) + t_{w2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \quad (4.29)$$

Тургун жараёнда тўлиқ иссиқлик оқими ушбу формуладан аниқланади:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} 4\pi r^2 \quad (4.30)$$

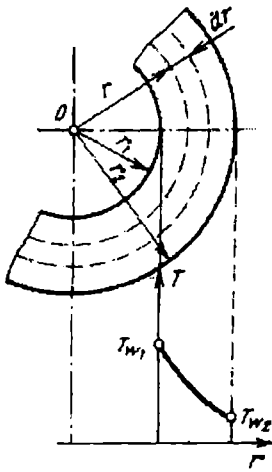
(4.28) ва $dt/dr = C_1/r^2$ лардан фойдаланиб, шарсимон девор орқали ис-сиқлик ўтказувчанлик йўли билан ўтган иссиқлик миқдорини топиш формула-сини келтириб чиқариш мумкин:

$$Q = \frac{4\pi\lambda}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} (t_{w1} - t_{w2}) \quad (4.31)$$

Кўп қатламли шарсимон девор учун эса, Q ни ҳисоблаш формуласи уш-бу кўринишда бўлади:

$$Q = \frac{4\pi(t_{w1} - t_{w(n+1)})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_{i+1}} \right)} \quad (4.32)$$

бу ерда λ_i ва r_i — i қатламнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти ва ички радиуси.



4.8-расм. Шарсимон деворда температуранинг тақсимланиши.

4.2.5. Мураккаб шакли жисмлар иссиқлик ўтказувчанлиги

Юқорида келтирилган параграфларда энг содда жисмларнинг турғун жараёнда иссиқлик ўтказувчанлиги кўриб чиқилди. Лекин, айрим ҳолларда мураккаб жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлигини билишга тўғри келади. Бунинг учун ушбу бобда келтириб чиқарилган формулаларнинг умумлаштирилган кўринишидан ҳам фойдаланиш мумкин, яъни:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) \cdot F_x \quad (4.33)$$

бу ерда F_x —жисмнинг бирор соҳта (ҳисобланган) иссиқлик бериш юзаси.

Текис деворлар учун

$$F_{тек} = \frac{2F}{2} = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (4.34)$$

бу ерда F_1 ва F_2 — иссиқ ва совуқ ҳолатлардаги юзалари (текис пластина учун $F_1=F_2$).

Цилиндрик деворлар учун

$$F_{цил} = \frac{2\pi r_2 - 2\pi r_1}{\ln\left(\frac{2\pi r_2}{2\pi r_1}\right)} = \frac{F_2 - F_1}{\ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right)} \quad (4.35)$$

Шарсимон деворлар учун

$$d_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}} \quad \text{ва} \quad d_2 = \sqrt{\frac{F_2}{\pi}}$$

яъни

$$F_{шар} = \sqrt{F_1 F_2} \quad (4.36)$$

Агарда, жисмлар ўта мураккаб бўлса, ҳар қайси ҳолатда алоҳида ёндашув зарур.

Куйида мамлакатимизнинг асосий техник хом - ашёси бўлмиш пахта чигитининг иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз. Маълумки, пахта чигити нотўғри, эллипс - шакли жисм бўлиб, ташқи юзаси пахта толалари билан қопланган гетероген мураккаб (4 қатламли) системадир. Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ҳар бир қатлам физик-механик ва диффузион-иссиқлик хоссалари билан бир-биридан кескин фарқ қилади [5,6,13].

Пахта чигитининг иссиқлик ўтказувчанлигини аниқлаш учун кўп қатламли сфера кўринишидаги соддалашган моделдан фойдаланамиз.

Кўпгина тажрибалар асосида, чигит марказида 0,1...0,15 мм ўлчамли бўшлиқ (эмбрион) борлиги аниқланди. Шунинг учун ҳам, пахта чигитини ичи бўш сфералар системаси деб ҳам ҳисобласа бўлади.

Сфера турли жинсли 4 та қатламдан иборат ва унинг ички t_1 ва ташқи юзалари t_5 температуралари бўлсин, лекин $t_1 > t_5$. Сферанинг ички радиуси r_1 , ташқисиники r_5 . Жисмдаги изотермалар концентрик айланалар кўринишидадир.

Фурье қонунига биноан, ичи бўш сфера учун иссиқлик оқими Q ушбу формуладан топилади:

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -4\lambda\pi r^2 \frac{dt}{dr} \quad (4.37)$$

Бу тенгламани интегралласак, қуйидаги натижани оламиз:

$$t = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \cdot \frac{1}{r} + C$$

(4.37) тенгламага девор чегараларидаги ўзгарувчан катталиклар қийматларини қўйиб, ушбу формулага эга бўламиз:

$$Q = \frac{4\pi\lambda(t_1 - t_5)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_5}} \quad (4.38)$$

Пахта чигитининг ҳар бир қатламидан ўтаётган иссиқлик миқдорини (4.38) формула ёрдамида топиш мумкин. Формуланинг ёйилган кўриниши қуйидагича бўлади:

$$Q = \frac{4\pi(t_1 - t_5)}{\frac{1}{\frac{r_1}{\lambda_1} - \frac{r_2}{\lambda_2}} + \frac{1}{\frac{r_2}{\lambda_2} - \frac{r_3}{\lambda_3}} + \frac{1}{\frac{r_3}{\lambda_3} - \frac{r_4}{\lambda_4}} + \frac{1}{\frac{r_4}{\lambda_4} - \frac{r_5}{\lambda_5}}} \quad (4.39)$$

бу ерда r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 — пахта чигити бўшлиғи, мағизи, ҳаво қатлами, қобиғи ва толали қатламларининг радиуслари, м; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ — чигит мағизи, ҳаво, қобиғи ва пахта толаларининг иссиқлик ўтказувчанлиги [5,6,13].

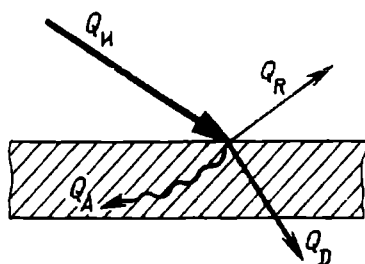
4.3. Иссиқлик нурланиши

Иссиқлик нурланиши тўлқин узунликлари спектрнинг кўз илғамас қисмида бўлиб, 0,8...40 мкм ораликда бўлади. Улар ёруғлик нурлари 0,4...0,8 мкм дан фақат тўлқин узунликлари билан фарқланади. 4-2 жадвалда нурланиш турига қараб тўлқин узунликларининг ўзгариши ҳақида маълумотлар келтирилган.

4-2 жадвал

Электромагнит тўлқинларининг умумий классификацияси

Нурланиш тури	Тўлқин узунлиги, м
Космик	$0,05 \cdot 10^{-12}$
γ - нурланиш	$0,05 \cdot 10^{-12} \dots 0,1 \cdot 10^{-12}$
Рентген	$10^{-12} \dots 20 \cdot 10^{-9}$
Ультрабинафша	$20 \cdot 10^{-9} \dots 0,4 \cdot 10^{-6}$
Кўз илғайдиган	$0,4 \cdot 10^{-6} \dots 0,8 \cdot 10^{-6}$
Иссиқлик (инфракизил)	$0,8 \cdot 10^{-6} \dots 0,8 \cdot 10^{-3}$
Радио тўлқинлар	$0,2 \cdot 10^{-3} \dots \infty \cdot 10^{-3}$



4.8а-расм. Нурланиш энергияси балансига оид.

Иссиқлик ва ёруғлик нурланишининг табиати бир хил бўлиб, умумий қонуниятлар билан характерланади, яъни бир жинсли ва изотроп муҳитларда нурланиш энергияси тўғри чизиқ бўйлаб тарқалади. Иссиқ жисмлардан тарқалаётган оқим нурлари бошқа жисмга тушганда, энергиянинг бир қисми ютилади $Q_{\text{ют}}$, бир қисми қайтарилади $Q_{\text{қай}}$ ва бир қисми ўзгармасдан $Q_{\text{ўз}}$ ўтиб кетади.

Унда, энергиянинг умумий баланси:

$$Q_{\text{ют}} + Q_{\text{қай}} + Q_{\text{ўз}} = Q_{\text{нур}} \quad (4.40)$$

ёки ушбу балансининг улушлардаги кўриниши:

$$\frac{Q_{\text{ют}}}{Q_{\text{нур}}} + \frac{Q_{\text{қай}}}{Q_{\text{нур}}} + \frac{Q_{\text{ўз}}}{Q_{\text{нур}}} = 1 \quad (4.40a)$$

бу ерда $Q_{\text{ют}}/Q_{\text{нур}}$ – жисмнинг нурланган иссиқликни ютиш қобилиятини; $Q_{\text{қай}}/Q_{\text{нур}}$ – жисмнинг нурланган иссиқликни қайтариш қобилиятини; $Q_{\text{ўз}}/Q_{\text{нур}}$ – жисмнинг нурланган иссиқликни ўтказиб юбориш қобилиятини характерлайди.

Умуман олганда ҳар бир нисбат 1 га тенг бўлиши мумкин, агар қолган иккита нисбат нолга тенг бўлса.

$Q_{\text{ют}}/Q_{\text{нур}}=1$ бўлганда ($Q_{\text{қай}}/Q_{\text{нур}}=Q_{\text{ўз}}/Q_{\text{нур}}=0$), жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси ютилади. Бу ҳолда жисм **абсолют қора жисм** деб номланади.

$Q_{\text{ўз}}/Q_{\text{нур}} = 1$ бўлганда ($Q_{\text{ют}}/Q_{\text{нур}} = Q_{\text{қай}}/Q_{\text{нур}} = 0$), жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси ўзгармасдан ўтиб кетади. Бу ҳолда жисм **абсолют шаффоф жисм** деб номланади.

Саноатда ва табиатда абсолют қора, оқ ва шаффоф жисмлар бўлмайди. $Q_{\text{ют}}/Q_{\text{нур}}$, $Q_{\text{қай}}/Q_{\text{нур}}$ ва $Q_{\text{ўз}}/Q_{\text{нур}}$ ўртасидаги боғлиқлик жисм табиатига, юзаси ҳолатига ва температурасига боғлиқдир. Табиатда учрайдиган ҳамма жисмлар нурланган энергиянинг бир қисмини ютади, бир қисмини қайтаради ва бир қисмини ўзидан ўтказиб юборади. Бундай жисмлар **кул ранг жисмлар** деб номланади.

Табиатда учрайдиган жисмлардан қорақуя абсолют қора жисмга яқинроқ. Лекин, у ҳам фақат 90...96 % нурланган энергияни юта олади. Тушаётган нурланган энергияни ўта силлиқланган, ёруғ юзаларгина тўлиқроқ қайтариш қобилиятига эга. Кўпчилик қаттиқ жисмлар шаффоф эмас жисмлар турига киради. Аммо, ҳамма газлар (кўп атомли газлардан ташқари) шаффоф бўлади.

Иссиқлик нурланиш қонуниятлари Стефан-Больцман, Кирхгоф ва Ламберт қонуллари билан ифодаланади.

Стефан-Больцман қонуни жисмнинг нур чиқариш қобилияти E ва жисмдан 1 соат мобайнида F юзасидан ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори Q орасидаги боғлиқликни ифодалайди:

$$E = \frac{Q}{F \cdot \tau} \quad (4.41)$$

Нурланиш энергияси тўлқин узунлиги ва жисмнинг температурасига боғлиқ бўлади. Абсолют қора жисмнинг нур тарқатиш қобилияти ва температураси орасидаги боғлиқлик ушбу формуладан топилади:

$$E_0 = K_0 T^4 \quad \text{ёки} \quad E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (4.42)$$

бу ерда $K_0 = (4,19 \dots 5,67) \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – абсолют қора жисмнинг нур чиқариш константаси; $C_0 = K_0 10^8 = 4,19 \dots 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$

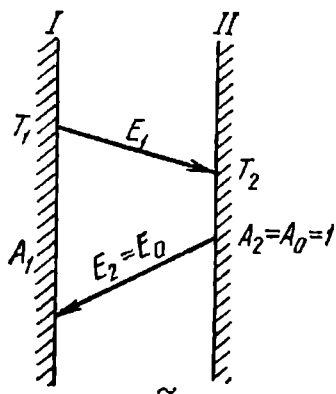
(4.42) формула Стефан – Больцман қонунининг ифодаси бўлиб, Планк тенгламасининг ҳосиласидир.

Стефан – Больцман қонунини абсолют қора бўлмаган жисмлар учун ҳам қўллаш мумкин. Масалан, кул ранг жисмлар учун қуйидаги кўринишга эга:

$$E' = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (4.43)$$

бу ерда $\varepsilon = C/C_0$ – кул ранг жисмнинг қоралик даражаси ёки унинг нур чиқариш коэффиценти; C_0 – кул ранг жисмнинг нур чиқариш коэффиценти.

Кул ранг жисмнинг нур чиқариш коэффиценти ҳар доим 1 дан кичик бўлиб, 0,055...0,95 ораликда ўзгаради.



4.9-расм. Кирхгоф қонунига оид схема.

$$Q_{\text{қай}}/Q_{\text{нур}} = Q_{\text{ўт}}/Q_{\text{нур}} = 1.$$

Демак:

$$E_1 - E_0 A_1 = 0 \quad (4.45)$$

бундан

$$\frac{E_1}{A} = E_0 \quad (4.45a)$$

Ушбу хулосани умумлаштириб, бир нечта параллел жойлаштирилган жисмлар учун ушбу ифодани келтириб чиқарамиз:

Кирхгоф қонуни кул ранг жисмларнинг нур тарқатиш ва уни ютиш қобилиятлари ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

Бир-бирига параллел жойлашган, кул ранг *I* ва абсолют қора *II* жисмларни кўриб чиқамиз (4.9-расм).

Кул ранг жисмнинг ютиш қобилиятини A_1 , абсолют қора жисмникини эса $A_2 = A_0 = 1$. Кул ранг жисм температураси абсолют қораникидан катта, яъни $T_1 > T_2$ деб қабул қиламиз. Бунда, кул ранг жисмдан нурланиш усулида узатилган иссиқлик миқдори қуйидагича аниқланади:

$$q = E_1 - E_0 A_1 \quad (4.44)$$

Иккала жисмнинг температураси тенглашганда, иссиқлик мувозанат ҳолати юзага келади ва $q = 0$ бўлади.

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = \frac{E_n}{A_n} = \frac{E_0}{A_0} = f(T) \quad (4.46)$$

(4.46) тенглама Кирхгоф қонунини характерлайди. Ушбу тенгламага биноан, маълум бирор температура учун исталган бир жисмнинг нур тарқатиш қобилияти, унинг нур ютиш қобилиятига бўлган нисбати ўзгармас миқдор бўлиб, абсолют қора жисмнинг нур тарқатиш қобилиятига тенгдир.

Ламберт қонуни турли йўналишларда нурланиш интенсивлиги ўзгаришини ифодалайди ва ушбу кўринишда ёзилади:

$$dQ = \frac{1}{\pi} E d\psi \cdot \cos \varphi \cdot dF_1 \quad (4.47)$$

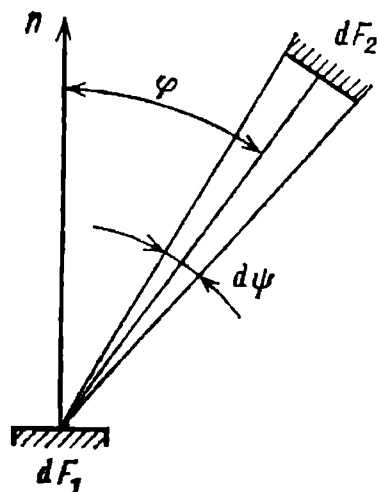
бу ерда $d\psi$ - dF_1 элементдан dF_2 элемент кўриниши мумкин бўлган фазовий бурчак; φ - dF_1 ва dF_2 ни бирлаштирувчи тўғри чизик ва dF_1 га ўтказилган нормал орасида ҳосил бўлган бурчак (4.10-расм).

Ушбу қонунга биноан, жисмнинг нормал йўналишида нур тарқатиш қобилияти жисмнинг тўла нур тарқатиш қобилиятидан π марта кам бўлади.

Икки параллел жойлаштирилган жисмлар ўртасидаги нурланиш жараёнида узатилган иссиқлик миқдори Стефан-Больцман қонуни асосида келтириб чиқарилган формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$Q_{1-2} = C_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F \quad (4.48)$$

бу ерда Q_{1-2} - 1-жисмдан 2- сига узатилаётган иссиқлик миқдори; C_{1-2} - 1-ва 2- жисмлардан иборат системанинг келтирилган нур тарқатиш коэффициенти; F - жисмнинг нур тарқатиш юзаси.



4.10-расм. Ламберт қонунига оид схема.

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0}} \quad (4.49)$$

Агар, бир жисм иккинчисини бутунлай ўраб олган ҳолларда ($F=F_1$, бу ерда F_1 - ўралиб турган жисм юзаси) 4.48 формуладан фойдаланса бўлади. Келтирилган нур тарқатиш коэффициенти эса, ушбу формуладан ҳисоблаб топиш мумкин:

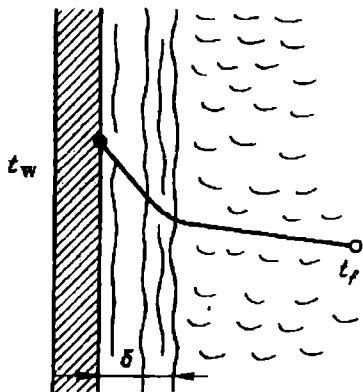
$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right)} \quad (4.50)$$

4.4. Конвектив иссиқлик алмашиниш

Суюқлик массаси турбулентлиги қанчалик юқори ва унинг заррачалари жадал равишда аралаштирилса, конвекция усулида иссиқлик алмашиниш шунчалик интенсив булади. Шундай қилиб, конвектив иссиқлик алмашиниш, иссиқликнинг механик узатилиши ва суюқлик ҳаракати гидродинамикасига қаттиқ боғлиқдир.

Иссиқлик алмашиниш жараёнида қатнашаётган суюқлик икки қатламдан ташкил топган, яъни чегаравий қатлам ва оқим ўзаги (ядроти) дан.

Оқим ўзаги иссиқлик ўтиш вақтининг ўзида ҳам конвекция, ҳам иссиқлик ўтказувчанлик усулларида амалга ошади. Бундай иссиқлик алмашиниш **конвектив иссиқлик алмашиниш** дейилади (4.11-расм).



4.11-расм. Конвектив иссиқлик алмашиниш схемаси.

Иссиқликнинг қаттиқ жисм юзасидан суюқлик (ёки газ) га ёки суюқлик (ёки газ) дан қаттиқ жисм юзасига ўтиши **иссиқлик бериш** деб номланади.

Девор юзасидан чегаравий қатлам орқали энергия иссиқлик ўтказувчанлик усули билан ўтади. Чегаравий қатламдан эса, суюқлик ўзагига энергия асосан конвекция усулида узатилади. Иссиқлик энергиясининг девор юзасидан суюқликка узатиш жараёнига оқимнинг ҳаракат режими катта таъсир қилади.

Конвектив иссиқлик алмашиниш асосан 2 хил бўлади, яъни **эркин** (ёки **табиий**) ва **мажбурий** конвекция.

Суюқлик ҳажмининг турли нуқталаридаги зичликларнинг фарқи туфайли рўй берадиган иссиқлик алмашинишга **эркин конвекция** дейилади. Бу жараёнга суюқликнинг физик хоссалари, унинг ҳажми, совуқ ва иссиқ заррачалари орасидаги температуралар фарқи катта таъсир кўрсатади.

Бутун суюқлик ҳажмининг ташқи кучлари таъсири натижасида рўй берадиган иссиқлик алмашинишга **мажбурий конвекция** дейилади. Суюқликнинг ҳаракати насос, аралаштиргич, вентиляторлар ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Бу жараёнга суюқликнинг физик хоссалари, унинг тезлиги, каналнинг шакли ва ўлчамлари салмоқли таъсир этади.

Суюқликнинг турбулент ҳаракат режимида ламинар режимдагига қараганда иссиқлик алмашиниш анча интенсив бўлади.

4.4.1. Ньютон қонуни

Иссиқлик беришнинг асосий қонуни — бу Ньютоннинг совитиш қонунидир.

Иссиқлик алмашиниш юзаси ва суюқлик (газ) ёки суюқлик (газ) ва иссиқлик алмашиниш юзаси орасида энергия ўтишига **иссиқлик бериш** деб номланади.

Иссиқлик бериш жараёни иссиқлик бериш коэффиценти α билан белгиланади.

Ушбу қонунга биноан, иссиқлик алмашиниш суюқлик (газ) га узатилган иссиқлик миқдори dQ , деворнинг юзаси dF , юза t_w ва муҳит температура-

лари t_f нинг фарқи ($t_w - t_f$), ҳамда жараённинг давомийлиги $d\tau$ га тўғри пропорционалдир, яъни:

$$\begin{aligned} dQ &= \alpha (t_w - t_f) \cdot dF \cdot d\tau \\ dQ &= \alpha (t_f - t_w) \cdot dF \cdot d\tau \end{aligned} \quad (4.51)$$

(4.51) тенгламадан иссиқлик бериш коэффициентининг ўлчов бирлигини келтириб чиқариш мумкин:

$$\alpha = \left[\frac{dQ}{(t_w - t_f) dF d\tau} \right] = \left[\frac{Ж}{м^2 \cdot соат \cdot К} \right] = \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$$

Агар, иссиқлик алмашиниш юзаси бўйлаб иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати ўзгармас ($\alpha = \text{const}$) бўлса, (4.51) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$\begin{aligned} Q &= \alpha (t_w - t_f) F \tau \\ Q &= \alpha (t_f - t_w) F \tau \end{aligned} \quad (4.52)$$

Демак, иссиқлик бериш коэффициенти α деворнинг 1 м^2 юзасидан суюқликка 1 с вақт давомида, девор ва суюқлик температураларининг фарқи 1 К бўлганда узатилган иссиқлик миқдорини билдиради. Ушбу, иссиқлик бериш коэффициентининг миқдори бир нечта параметрларга боғлиқдир, яъни суюқликнинг ҳаракат режими w , унинг зичлиги ρ , қовушоқлиги μ , солиштирма иссиқлик сифими c , иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти λ , ҳажмий кенгайиш коэффициенти β , деворнинг шакли ва ўлчамлари (труба диаметри d ва узунлиги L), ҳамда ғадир-будурлиги e ва ҳоказоларга.

Оқорида айтилганларни қуйидаги функция ҳолатида ёзиш мумкин:

$$\alpha = f(w, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, e, \dots) \quad (4.53)$$

Умумий кўринишга эга бўлган иссиқлик бериш коэффициенти тенгламаси кўринишидан содда бўлса ҳам, α ни аниқлаш жуда мураккаб. Чунки, (4.53) дан кўриниб турибдики, α жуда кўп параметрларга боғлиқ. Шунинг учун, тажриба натижаларини ўхшашлик назарияси ёрдамида умумлаштириш йўли билан иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаш критериял формуласини келтириб чиқариш мумкин.

Иссиқлик бериш коэффициентини аниқлаш учун суюқликда температура тақсимланишини билиш зарур. Ундан ташқари, иссиқлик алмашиниш жараёнини ҳисоблаш учун иссиқлик бериш коэффициентини ўзгарувчи параметрлар билан боғлиқ тенгламасига эга бўлиши керак.

Бундай тенглама бўлиб конвектив иссиқлик алмашинишнинг дифференциал тенгламаси хизмат қилади. Лекин, ушбу тенглама девор ва суюқлик чегарасидаги шартларни характерловчи тенглама билан тўлдирилган бўлиши керак.

4.4.2. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг дифференциал тенгламаси (Фурье - Кирхгоф тенгламаси)

Маълумки, конвектив иссиқлик алмашиниш жараёнида суюқликда иссиқлик ҳам, иссиқлик ўтказувчанлик, ҳам конвекция усулларида узатилади.

Иссиқлик ўтказувчанлик (4.16) тенглама билан ифодаланади ва ушбу кўринишга эга:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

Ушбу тенгламанинг чап томонидаги нисбат суюқлик (газ)дан ажратиб олинган қўзғалмас элемент температурасининг локал (маҳаллий) ўзгаришини ифодалайди.

Конвектив иссиқлик алмашилишида ушбу элемент суюқликнинг бир нуқтасидан иккинчисига кўчади. Бу ҳолатдаги элементнинг температура ўзгариши субстанционал ҳосила ёрдамида ифодаланиши мумкин. Агар, элементнинг фазодаги x, y, z ўқлар бўйича кўчишини w_x, w_y, w_z деб белгиласак, унда элемент температурасининг тўлиқ ўзгаришини характерловчи субстанционал ҳосила қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z \quad (4.54)$$

(4.54) тенгликдаги $\partial t / \partial \tau$ температуранинг локал (маҳаллий) ўзгариши, қолган қўшилувчилар йиғиндиси эса - температуранинг конвектив ўзгаришини ифодалайди.

Агар, (4.16) тенгламанинг температурадаги локал ўзгаришини тўлиқ ўзгаришига (4.54) алмаштирсак, Фурье Кирхгофнинг конвектив иссиқлик алмашилишининг дифференциал тенгласини оламир:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (4.55)$$

Ушбу тенглама ҳаракатдаги суюқликда иссиқлик энергиясининг бир вақтда иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция усулларида узатилишининг математик ифодаси. Конвектив иссиқлик алмашилиш жараёнини тўла математик ифодалаш учун (4.55) тенглама девор юзаси ва ҳаракатдаги суюқлик чегарасидаги шароитларни характерловчи тенглама билан тўлдрилиши зарур.

Маълумки, ҳаракатланувчи суюқликда жойлашган қаттиқ жисм юзасида ҳар доим δ қалинликка эга чегаравий қатлам мавжуд бўлиб (4.11-расм), у орқали иссиқлик энергияси иссиқлик ўтказувчанлик усулида тарқалади. Чегаравий қатлам орқали суюқлик оқимининг ўзагига узатилган иссиқлик миқдори Фурье қонуни асосида топилади:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau$$

Ўтган dQ иссиқлик миқдорини Ньютон қонуни ёрдамида ҳам ҳисобласа бўлади:

$$dQ = \alpha (t_w - t_f) dF d\tau$$

Охирги икки тенгламанинг ўнг қисмларини тенглаштириб, «девор-суюқлик» чегара шароитларини характерловчи тенгламани оламир:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha (t_w - t_f) \quad (4.56)$$

(4.55) ва (4.56) тенгламалар конвектив иссиқлик алмашиниш жараёнини тўлиқ ифодалайди.

4.11-расмдан кўриниб турибдики, энг катта температура градиенти чегаравий қатламда ҳосил бўлиб, иссиқлик бериш жараёнининг интенсивлигини, асосан, унинг термик қаршилигини белгилайди.

4.4.3. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг ўхшашлик критерий ва тенгламалари

Маълумки, юқорида келтириб чиқарилган (4.55) ва (4.56) тенгламалар мураккаб конвектив иссиқлик алмашиниш жараёнларини ифодалайди.

Ушбу тенгламаларни амалда учрайдиган жараёнларга қўллаш мумкин эмас, чунки ечимини топиш қийин.

Иссиқлик алмашиниш жараёнларини амалий ҳисоблашда ўхшашлик назарияси усуллари ёрдамида (4.55) ва (4.56) тенгламалардан келтирилиб чиқарилган критериал тенгламалари кенг миқёсда ишлатилади.

Агар, (4.56) тенгламанинг иккала қисмини чап қисмига бўлсак, ушбу ўлчамсиз комплексни олиш мумкин:

$$\frac{\alpha (t_w - t_f) \partial n}{\lambda \partial t} = \frac{\alpha \cdot \Delta t \partial n}{\lambda \partial t} \quad (4.57)$$

Олинган ўлчамсиз комплексда дифференциялаш белгиларини ўчириб, n ни l га алмаштириб ва қисқартириш йўли билан **Нуссельт** сонини оламиз:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} \quad (4.58)$$

бу ерда α - иссиқлик бериш коэффиценти, Вт/(м²·К); l – геометрик ўлчам, м; λ - муҳитнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти, Вт/(м·К).

Нуссельт критерийси девор ва суяқлик ўртасидаги чегарада иссиқлик алмашиниш жараёни интенсивлигини характерлайди.

Ушбу критерий чегаравий қатлам қалинлиги δ нинг аниқловчи геометрик ўлчам (труба учун унинг диаметри d) га нисбатини характерлайди.

Конвектив иссиқлик алмашинишнинг дифференциал тенгламасидан:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \dots = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \dots \right)$$

унинг ҳамма қўшилувчиларини $a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$ га бўлиш йўли билан ушбу ўлчамсиз комплексни олиш мумкин:

$$\frac{\partial t \partial x^2}{\partial \tau a \partial^2 t} \quad \text{ва} \quad \frac{\partial t w_x \partial x^2}{\partial x a \partial^2 t}$$

Дифференциаллаш, белги ва йўналишларини ўчириш ва қисқартириш йўли билан Фурье критерийсини:

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2} \quad (4.59)$$

ва Пекле критерийсини

$$Pe = \frac{wl}{a} \quad (4.60)$$

келтириб чиқарамиз.

Фурье критерийси нотўғун иссиқлик алмашилиш жараёнларида температура майдонининг ўзгариш тезлиги, муҳитнинг ўлчами ва физик катталиклари ўртасидаги боғлиқликларни характерлайди.

Пекле критерийси суюқлик оқимида конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик усуллари билан иссиқлик тарқалиш нисбатини характерлайди.

Одатда, Пекле критерийси иккита ўхшашлик критерийларининг кўпайтмаси кўринишида келтирилади:

$$Pe = \frac{wl}{a} = \frac{wl}{v} \cdot \frac{v}{a} = Re \cdot Pr$$

Прандтл критерийси суюқлик қовушоқлиги ва температура ўтказувчанлиги хоссаларининг нисбатини ифода этади. Ушбу критерий фақат суюқликларнинг диффузион – иссиқлик параметрлари ёрдамида аниқланади:

$$Pr = \frac{v}{a} = \frac{\mu}{a\rho} = \frac{\mu g}{a\gamma} \quad (4.61)$$

Грасгоф критерийси табиий конвекция жараёнидаги суюқлик оқимининг гидродинамик режимини характерлайди:

$$Gr = \frac{gl^3}{v^2} \beta \cdot \Delta t \quad (4.62)$$

бу ерда Δt – девор ва суюқликлар ўртасидаги температуралар фарқи, К; β суюқликнинг ҳажмий кенгайиш коэффициентини; g – эркин тушиш тезланиши, м/с².

Айрим ҳолларда Нуссельт критерийси ўрнига конвектив иссиқлик алмашилиш критерийси, Стентон критерийсини, ҳам қўллаш мумкин:

$$St = \frac{Nu}{Pe} = \frac{\alpha}{c_p \rho w} \quad (4.63)$$

Ушбу критерий иссиқлик бериш интенсивлигини суюқлик иссиқлик оқимига нисбатини аниқлайди.

Юқорида келтириб чиқарилган ўхшашлик критерийлари конвектив иссиқлик алмашилишнинг ўхшашлик тенгламасини аниқлаш имконини беради:

$$f(Re, Nu, Pr, Fo, Gr) = 0 \quad (4.64)$$

Ушбу тенгламада фақат Нуссельт Nu сони аниқловчи бўлганлиги учун, (4.64) тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr, Fo) \quad (4.65)$$

Иссиқлик алмашилиш жараёнининг аниқ масалаларини ечишда (4.65) тенгламани анча соддалаштириш мумкин.

Турғун иссиқлик алмашилиш жараёнида тенгламадан Fo критерийси туширилиб қолдирилади ва ушбу кўринишни олади:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr) \quad (4.66)$$

Суюқликнинг мажбурий ҳаракати даврида табиий конвекцияни инобатга олмаса ҳам бўлади ва унда тенглама Gr критерийси киритилмайди:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad \text{ёки} \quad Nu = A Re^n \cdot Pr^m \quad (4.67)$$

Суюқликнинг эркин ҳаракати (табиий конвекция) даврида тенгламадан Рейнольдс критерийси тушуриб қолдирилади:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad \text{ёки} \quad Nu = A Gr^n Pr^m \quad (4.68)$$

4.4.4. Эркин конвекция даврида иссиқлик бериш

Маълумки, иссиқ ва совуқ суюқлик қатламлари зичликларининг фарқи таъсири остида эркин конвекция мавжуд бўлади. Зичликларнинг ушбу фарқи, девор ва суюқлик температуралар фарқига боғлиқдир. Девор шаклининг жараёнга таъсири иккиламчи бўлгани учун, иссиқлик беришнинг ўхшашлик тенгламаси ушбу кўринишда ёзилади:

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n \quad (4.69)$$

бу ерда c ва n - суюқлик ҳаракати режимига, яъни $Gr \cdot Pr$ га, боғлиқ бўлган константалар.

4-3 жадвал

Режимлар		c	N
Ламинар	$(Gr \cdot Pr \leq 10^{-3})$	0,45	0
	$(Gr \cdot Pr = 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2)$	1,18	0,125
Ўтиш	$(Gr \cdot Pr = 5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7)$	0,54	0,25
Турбулент	$(Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7)$	0,135	0,33

Грасгоф критерийсида аниқловчи геометрик ўлчам сифатида қуйидагилар қабул қилинган: цилиндрик ва сферик жисмлар учун – диаметр; текис плиталар учун – баландлик.

Аниқловчи температура сифатида - чегаравий қатламнинг ўртача температураси $t = 0,5 (t_w + t_f)$ қабул қилинган. Бу ерда t_w - девор температураси, t_f суюқлик ўзагидаги температура. Грасгоф критерийсидаги температуралар фарқи $\Delta t = t_w - t_f$ формулада ҳисобланади.

4.4.5. Мажбурий конвекция даврида иссиқлик бериш

Труба ичида иссиқлик элткичнинг иссиқлик бериш коэффиценти қуйидаги тенгламалардан аниқланади:
турбулент режим учун ($Re > 10000$)

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.70)$$

ўтиш режими учун ($2320 < Re < 10000$)

$$Nu = 0,008 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (4.71)$$

ламинар режим учун ($Re \leq 2320$)

$$Nu = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.72)$$

Трубалар ўраи мажбурий ҳаракатдаги қўндаланг йўналган иссиқлик элткич билан ю依илиб турган шароитда иссиқлик бериш қуйидаги формулалар ёрдамида ҳисобланиши мумкин:

$Re < 10^3$ бўлганда

$$Nu = 0,56 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.73)$$

$Re > 10^3$ бўлганда

$$Nu = 0,28 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.74)$$

Ушбу тенгламаларда аниқловчи геометрик ўлчам бўлиб, каналларнинг эквивалент диаметри ҳисобланади.

Nu , Re ва Pr критерийларидаги физик параметрлар суюқликнинг ўртача температурасида, Pr_g эса — деворнинг ўртача температурасида ҳисобланади.

$(Pr/Pr_g)^{0,25}$ иссиқлик оқим йўналиши ва температуралар фарқининг иссиқлик беришга таъсирини ҳисобга олувчи параметр.

Иссиқлик элткичнинг эмеевикда ҳаракат қилганда иссиқлик бериш коэффиценти α ни (4.70) формуладан ҳисобланган қиймати эмеевик ўлчамларини инобатга олувчи коэффицент χ га кўпайтирилади:

$$\chi = 1 + 3,54 \frac{d}{D} \quad (4.75)$$

бу ерда d — эмеевик трубасининг ички диаметри, м; D — эмеевик ўрамининг диаметри, м.

Ҳаво учун (4.70) формула қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8} \quad (4.76)$$

чунки $Pr/Pr_g = 1$

Иссиқлик элткич ҳалқасимон каналларда ҳаракат қилган даврида (масалан, “труба ичида труба” иссиқлик алмашиниш қурилмасида) иссиқлик бериш ушбу формуладан ҳисоблаб аниқланиши мумкин:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \left(\frac{D_u}{d_T} \right)^{0,45} \quad (4.77)$$

бу ерда d_T — ички трубаинг ташқи диаметри, м; D_u — ташқи трубаинг ички диаметри, м.

Иссиқлик элткич қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмасининг трубалараро бўшлиғида ҳаракат қилганда, иссиқлик бериш энг кенг тарқалган жараёндир. Ушбу ҳолатда иссиқлик бериш коэффиценти қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Nu = C(Re^{0,6} \cdot Pr^{0,23} \cdot d_s) \quad (4.78)$$

бу ерда $C = 1,16$ ва $1,72$ қийматларга тенг бўлиши мумкин.

Биринчи қиймат қурилмада кўндаланг сегмент тўсиқлар бўлмаган ҳол учун, иккинчиси эса — сегмент тўсиқлар ўрнатилган ҳол учун.

Қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларида трубалар шахматли ёки йўлакли қилиб жойлаштирилади.

Иссиқлик элткич оқими трубалар ўрамини ташқи томонидан ювиб ўтганда, иссиқлик бериш коэффиценти ушбу формуладан ҳисоблаб топилиши мумкин:

трубаларнинг шахматли жойлашишида

$$Nu = 0,4 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.79)$$

трубаларнинг йўлакли жойлашишида

$$Nu = 0,27 Re^{0,63} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (4.80)$$

(4.79) ва (4.80) тенгламалар $Re = 200 \dots 2 \cdot 10^5$ бўлган ораликда қўлланилиши мумкин ва аниқ натижалар беради.

4.4.6. Иссиқлик элткичнинг агрегат ҳолати ўзгаришида иссиқлик бериш

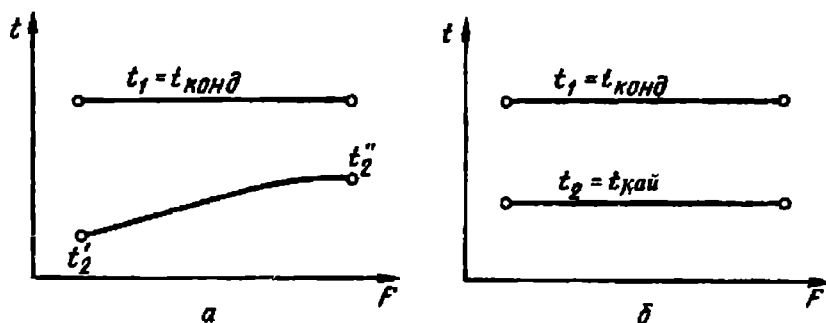
Бўғланиш, конденсацияланиш, кристалланиш ва эриш жараёнларида иссиқлик алмашинишнинг ўзига хос хусусиятлари шундаки, муҳитдан иссиқликнинг олиниши ёки унга узатилиши ўзгармас температурада рўй беради ва иккала фазада тарқалади. 4.12 — расмда иссиқлик бериш жараёнида муҳитнинг агрегат ҳолати ўзгариши билан температурасининг ўзгариш схемаси келтирилган.

Иссиқлик беришнинг бу ўзига хос хусусиятини конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериял тенгламаси фазавий ўзгариш критерийси ёки конденсацияланиш критерийси $K = r/c \cdot \Delta t$ (бу ерда r — бўғ ҳосил қилиш иссиқлиги, Ж/кг; c — солиштирма иссиқлик сизими, Ж/кг·К)ни киритиш йўли билан ҳисобга олинади.

Сув буғининг конденсацияланиш пайтидаги иссиқлик алмашинишини ифодалаш учун ўхшашлик назарияси асосида келтирилиб чиқарилган қуйидаги критериал формуладан аниқлаш мумкин:

$$Nu = f(Ga, Pr, K) \quad (4.81)$$

бу ерда $Ga = g l^3 / \nu^2$ – Галилей критерийси; K – фазавий ўзгариш критерийси; Pr – Прандтл критерийси.



4.12-расм. Муҳитнинг агрегат ҳолати ўзгариши билан иссиқлик элткич температурасининг ўзгариш схемаси:

а – иссиқлик элткич ўз иссиқлигини агрегат ҳолати ўзгарганда узатмоқда (тўйинган сув буғининг конденсацияланиш даврида). Бу ҳолатда;

$$\Delta t_{yp} = \frac{(t_1 - t_2) - (t_1 - t_2)}{\ln[(t_1 - t_2) / (t_1 - t_2)]}$$

б - иккала иссиқлик элткичлар агрегат ҳолати ўзгарганда иссиқлик алмашмоқда. Бу ҳолатда $\Delta t = t_1 - t_2$.

Кўпгина тажриба натижаларини қайта ишлаш натижасида (4.81) формулани қуйидаги кўринишда ёзса бўлади:

$$Nu = C(Ga, Pr, K)^{0,25} \quad (4.82)$$

Юпқа қатламли конденсацияланиш даврида иссиқлик беришни конденсат юпқа қатламининг қалинлиги чегаралайди. Буғнинг тезлиги юпқа қатламли конденсатни олиб олиш учун етарли бўлмайди ва бир хиллик шартларига кирмайди.

Юпқа қатламда конденсацияланишнинг умумлаштирилган тенгламасидаги Re ва Fr критерийлари ўрнига $Ga = Re^2 / Fr = g l^3 / \nu^2$ критерийси киритилади. Бунга сабаб, Галилей критерийсининг буғ конденсат икки фазали оқимда оғирроқ фаза таъсир этувчи оғирлик кучларининг ўхшашлигини ифодалашидир. Ушбу ҳолатда конденсацияланиш пайтидаги иссиқлик бериш коэффициенти қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\alpha = C \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 g r}{\mu \cdot l \cdot \Delta t}} \quad (4.83)$$

Тўйинган буғнинг вертикал деворда конденсацияланиши ва конденсатни ламинар режимда юпқа қатламда оқиб тушиш ҳолати учун (4.83) формуладаги C коэффициентининг қиймати 2,04 эканлиги аниқланди. Аниқловчи ўлчам бўлиб, вертикал девор баландлиги H хизмат қилади. Унда, иссиқлик бериш коэффициенти α ни қуйидаги формуладан ҳисоблаш мумкин:

$$\alpha = 2,04 \sqrt[4]{\frac{r g^2 \lambda^3}{\mu \cdot \Delta t \cdot H}} \quad (4.84)$$

бу ерда r – конденсацияланиш иссиқлиги, Ж/кг; ρ – конденсат зичлиги, кг/м³; λ – конденсат иссиқлик ўтказувчанлиги, Вт/м·К; μ – конденсатнинг динамик қовушоқлик коэффициенти, Па·с; $\Delta t = t_{\text{конд}} - t_g$ – тўйинган буғ ва девор температуралари ўртасидаги фарқ, °С; H – вертикал труба ёки девор баландлиги, м.

Конденсацияланиш иссиқлиги r нинг қиймати конденсация температурасидаги, конденсатнинг λ , ρ ва μ параметрлари $t_{\text{юк}} = 0,5(t_g + t_{\text{конд}})$ да ҳисобланади.

Агар, буғ горизонтал трубада конденсацияланса, (4.84) формула ушбу кўринишда ёзилади:

$$\alpha = 0,72 \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \lambda^3}{\mu \cdot \Delta r \cdot D}} \quad (4.85)$$

бу ерда D – трубанинг ташқи диаметри, м.

Агар, буғ труба ўраида конденсацияланса, ўртача иссиқлик бериш коэффициенти ҳисоблаш учун ушбу формулани қўллаш мумкин:

$$\alpha = 0,728 \varepsilon_t \sqrt[4]{\frac{r g \rho^2 \lambda^3}{\mu \Delta r D}} \quad (4.86)$$

бу ерда ε_t – трубаларнинг жойлаштирилиши (йўлакли ёки шахматли) га боғлиқ коэффициент.

$$\varepsilon_t = \left[\left(\frac{\lambda_g}{\lambda} \right)^3 \frac{\mu}{\mu_g} \right]^{0,125} \quad (4.87)$$

(4.78) даги λ_g ва μ_g лар конденсат тегиб турган девор температурасида ҳисобланади.

Мухандислик ҳисобларда $\varepsilon_t = 0,55 \dots 0,68$ деб қабул қилиш мумкин.

Суюқликлар қайнаши пайтида иссиқлик бериш жуда мураккаб жараён-дир. Амалиётда энг кенг тарқалган ва учрайдиган қайнаш тури – бу пуфакчали қайнаш режимидир. Ушбу режимдаги иссиқлик бериш коэффициенти аниқлаш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланса бўлади:

$$Nu = 125 Re^{0,66} \cdot Pr^{0,33} \quad (4.88)$$

бу ерда $Nu = \alpha l / \lambda$; $Re = w l / \mu$, l – чизиқли ўлчам бўлиб, пуфакча радиусининг функцияси, м; w – буғ фазаси ҳаракатининг ўртача тезлиги, м/с;

Одатда пуфакчалар диаметри 2...3 мм бўлади ва уни ушбу формуладан ҳисоблаб топиш мумкин:

$$d_o = 0,02 \left[\frac{\sigma}{g(\rho - \rho_\delta)} \right]^{0,5} \quad (4.89)$$

Охирги критериал тенгламадан эркин ва мажбурий конвекция шароитида пуфакчали қайнаш жараёнида α ни ҳисоблаш учун қуйидаги тенглама келтириб чиқарилган.

$$\alpha = b \sqrt[3]{\frac{\lambda^2 q^2}{\nu \sigma T_{\text{кай}}}}$$

бу ерда $b = 0,075 + 0,75 (\rho_\delta/\rho - \rho_\delta)^{0,66}$ - ўлчамсиз коэффициент; ν - суюқликнинг кинематик қовушоқлиги, м²/с; σ - сиртий таранглик коэффициенти, Н/м.

Эркин конвекция шароитида пуфакчали қайнаш режимида α ни аниқлаш учун ушбу тенглама таклиф этилган:

$$\alpha = 7,77 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\rho_\delta}{\rho - \rho_\delta} \right)^{0,033} \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)^{0,033} - \frac{\lambda^{0,75} \cdot q^{0,7}}{\mu^{0,45} \cdot c^{0,12} T_{\text{муй}}^{0,37}} \quad (4.90)$$

бу ерда ρ_δ, ρ - буғ ва суюқликнинг зичликлари, кг/м³; σ - суюқлик ва буғни ажратиш туровчи чегарадаги сиртий таранглик, Н/м; λ - суюқликнинг иссиқлик ўтказувчанлиги, Вт/м·К; $q=Q/F$ - солиштирма иссиқлик юклама, Вт/м²; μ - суюқлик қовушоқлиги, Па·с; c - суюқликнинг солиштирма иссиқлик сифими, Ж/(кг·К); $T_{\text{муй}}$ - тўйиниш температураси, К.

Катта ҳажмда сувнинг қайнаш жараёнида иссиқлик бериш коэффициенти тахминий ҳисоблаш учун қуйидаги формулани қўллаш мумкин:

$$\alpha = 2,72 q^{0,7} p_{abc}^{0,7} \quad (4.91)$$

$$\alpha = 2,72 q^{0,7} p^{0,4}$$

бу ерда p - босим, кг·к/см²

(4.91) формулани $q = 0,4 \cdot q_{кр}$ ва $p_{abc} = 0,2 \dots 10$ кг·к/см² бўлган ораликда ишлатиш мумкин.

4-4 жадвалда энг кўп учрайдиган иссиқлик алмашиниш жараёнларининг тахминий иссиқлик бериш коэффициентлари келтирилган.

4-4 жадвал

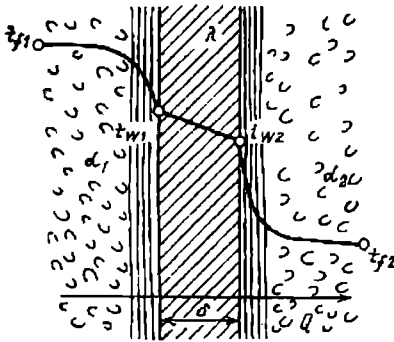
т/р	Иссиқлик алмашиниш жараёни	Иссиқлик бериш коэффициенти, Вт/(м ² ·К)
1.	Газларни иситиш ва совитиш (атмосфера босимида)	10...50
2.	Органик суюқликларни иситиш ва совитиш	50...1500
3.	Сувни иситиш ва совитиш	200...10000
4.	Сувнинг қайнаши	500...10000
5.	Сув буғларининг конденсацияланиши	4000...15000
6.	Органик суюқлик буғларининг конденсацияланиши	500...2000

4.5. Иссиқлик ўтказиш

Иссиқлик алмашилиш жараёнида кўпинча иссиқлик энергияси бир суюқликдан иккинчисига уларни ажратиб турувчи девор орқали узатилади. Температураси юқори бўлган суюқликка девор орқали иссиқликнинг узатилиши **иссиқлик ўтказиш** дейилади. Ушбу йўл билан узатилган иссиқлик миқдори иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади:

$$Q = K \Delta t_{\text{ср}} F \quad (4.92)$$

бу ерда K – иссиқлик ўтказиш коэффициенти, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\Delta t_{\text{ср}}$ – иссиқлик ва совуқлик элткичлар температураларининг фарқи, К ; F – ажратиб турувчи девор юзаси, м^2 .



4.13-расм. Текис девор орқали иссиқлик ўтказиш жараёнида температуранинг ўзгариш характери.

Текис деворнинг иссиқлик ўтказиши. 4.13-расмда қалинлиги δ ва материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини λ бўлган текис девор тасвирланган.

Деворнинг бир томонидан температураси t_{f1} (оқим ўзагида) бўлган иссиқлик элткич, иккинчи томонидан эса температураси t_{f2} бўлган совуқлик элткич оқиб ўтмоқда.

Девор юзаларининг температураси t_{w1} ва t_{w2} . Иссиқлик бериш коэффициентлари α_1 ва α_2 .

Турғун жараёнда F юза орқали биринчи иссиқлик элткич ўзэгидан деворга узатилаётган иссиқлик миқдори, девордан ўтган ва девордан иккинчи иссиқлик элткич ўзегига узатилаётган

иссиқлик миқдорига тенг бўлади.

Ушбу иссиқлик миқдорини қуйидаги тенгламалардан топиш мумкин:

$$Q = \alpha_1 (t_{f1} - t_{w1}) \cdot F$$

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) \cdot F$$

$$Q = \alpha_2 (t_{w2} - t_{f2}) \cdot F$$

Юқорида келтирилган тенгламалардан қуйидаги ифодаларни олиш мумкин:

$$t_{f1} - t_{w1} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$t_{w1} - t_{w2} = \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \quad (4.93)$$

$$t_{w2} - t_{f2} = \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F}$$

Тенгламалар чап ва ўнг томонларини қўшиш натижасида, ушбу кўринишга эришамиз:

$$t_{f1} - t_{f2} = \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (4.94)$$

бундан:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_{f1} - t_{f2}) F \quad (4.95)$$

(4.92) ва (4.95) тенгламаларни солиштириб, қуйидаги формулага эришамиз:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.96)$$

бу ерда K — иссиқлик ўтказиш коэффициентини, Вт/(м²·К).

Унда, текис девор учун иссиқлик элткичнинг ўзгармас температураларида иссиқлик ўтказиш тенгламаси ушбу кўринишни олади:

$$Q = KF\tau (t_{f1} - t_{f2}) \quad (4.97)$$

узлуксиз жараёнлар учун эса:

$$Q = KF (t_{f1} - t_{f2}) \quad (4.98)$$

(4.97) тенгламага биноан иссиқлик ўтказиш коэффициентининг ўлчов бирлиги:

$$K = \left[\frac{Q}{F \tau (t_{f1} - t_{f2})} \right] = \left[\frac{Ж}{м \cdot с \cdot К} \right] = \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$$

(4.96) тенгламадан

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (4.99)$$

Шундай қилиб иссиқлик ўтказиш коэффициентини K температураси юқори бўлган иссиқлик элткичдан, температураси паст элткичга вақт бирлигида ажратувчи деворнинг 1м² юзасидан элткичлар температураси 1К бўлганда ўтказилган иссиқликнинг миқдорини билдиради.

Иссиқлик ўтказиш коэффициентига тескари бўлган катталиқ **термик қаршилиқ** деб номланади. $1/\alpha_1$ ва $1/\alpha_2$ лар иссиқлик беришнинг термик қаршилиги бўлса, δ/λ деворнинг термик қаршилиги. (4.99) тенгламадан кўриниб турибдики, иссиқлик ўтказишнинг термик қаршилиги иссиқлик бериш ва деворнинг термик қаршилиқлар йиғиндисига тенг.

Деворнинг термик қаршилигини аниқлашда, унга ўтириб қолган қуйқа ва ифлосликларнинг термик қаршилигини ҳам ҳисобга олиш зарур (4-5 жадвал).

$$r_{\text{ифл}} = \frac{\delta_{\text{ифл}}}{\lambda_{\text{ифл}}}$$

Кўп қатламли текис девордан иссиқлик ўтиш жараёнида ҳар бир қатламнинг термик қаршилиги ҳисобга олиниши зарур. Бундай деворлар учун K ни қуйидаги тенгламадан аниқлаш лозим:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.100)$$

бу ерда i - қатламнинг тартиб рақами; n - қатламлар сони.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ҳар доим иссиқлик ўтказиш коэффиценти энг минимал иссиқлик бериш коэффиценти қийматидан кичик бўлади.

4-5 жадвал

$r_{\text{ифл}}$ нинг тахминий қийматлари

т/р	Иссиқлик элткич	$r_{\text{ифл}} \cdot \frac{M^2 K}{Bm}$
1.	Сув	
	- дистилланган	0,00009
	- денгиз	0,00009
	- сифатли қудуқ, қўл, водопровод, дарё суви	0,00018
	- $w < 0,9$ м/с	0,00035
	- $w > 0,9$ м/с	0,00018
	- ифлосланган дарё суви	
	- $w < 0,9$ м/с	0,00053
	- $w > 0,9$ м/с	0,00035
2.	Нефть маҳсулотлари	
	- хом-ашё	0,00009
	- тоза (шу жумладан минерал мойлар)	0,00018
3.	Органик суюқликлар, тузли эритмалар, совуқлик элткичлар (NH_3 , фреонлар ва ҳоказо.)	0,00018
4.	Сув буғи	0,00018
5.	Буғлар	
	- органик суюқликники	0,00009
	- совуқ элткичларники	0,00035
6.	Ҳаво	0,00035

Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказиши. Маълумки, саноатнинг турли соҳаларида иссиқлик алмашилиш труба орқали ўтади (4.7-расм). Трубадан температураси t_1 бўлган суюқлик ҳаракат қилса, ташқарисидан эса — t_2 температурали суюқлик оқиб ўтсин, яъни $t_1 > t_2$ дан. Температураси юқори суюқликдан труба ички деворига иссиқлик бериш коэффиценти α_1 , ташқи юзасидан совуқ суюқликка иссиқлик бериш коэффиценти α_2 , труба баландлиги L , ички радиуси r_1 ва ташқи радиуси r_2 бўлса, цилиндрик юзадан узатилган иссиқлик миқдори қуйидагича аниқланади:

$$Q = K_R 2\pi\tau (t_1 - t_2) \quad (4.101)$$

Иссиқлик ўтказиш коэффициентини K ни эса ушбу тенгламадан топилади:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 r_2}} \quad (4.102)$$

бу ерда K_R – иссиқлик ўтказишнинг чизиқли коэффициентини, Вт/(м·К).

K нинг K_R дан фарқи шундаки, K деворнинг юза бирлигига нисбатан олинса, иккинчиси K_R – труба узунлигининг бирлигига нисбатан олинади.

4.6. Иссиқлик алмашиниш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи куч

Иссиқлик алмашиниш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи кучи – иссиқлик элткичларнинг температуралар фарқи. Ушбу фарқ таъсири остида иссиқлик температураси юқори муҳитдан температураси паст муҳитга ўтади.

Ўзгармас температурада иссиқлик ўтказиш жараёни жуда кам тарқалган. Бундай жараёнлар, бир томонидан буғ конденсацияланса, иккинчисидан эса, суюқлик қайнаши рўй беради. Лекин, саноатда кўпчилик жараёнлар иссиқлик элткичларнинг ўзгарувчи температураларида содир бўлади.

Одатда температура иссиқлик элткичларни ажратиб турувчи девор юзаси F бўйлаб ўзгаради. Лекин, вақт ўтиши билан иссиқлик элткичнинг температураси ўзгармаслиги мумкин ва у $t = f(F)$ функция билан ифодаланadi. Бундай ҳол турғун иссиқлик алмашиниш жараёнини ҳарактерлайди.

Нотурғун иссиқлик алмашиниш жараёнларида 2 ҳолат бўлиши мумкин:

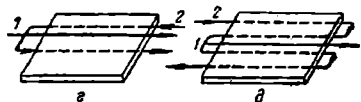
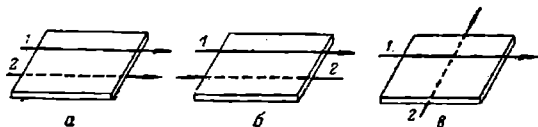
- девор юзасининг ҳар бир нуқтасида температура фақат вақт ўтиши билан ўзгаради, яъни $t = f(\tau)$;

иссиқлик элткичининг температураси вақт ўтиши ва девор юзаси бўйлаб ўзгаради, яъни $t > f(\tau, F)$.

Ўзгарувчан температурада иссиқлик ўтказиш суюқликларнинг ҳаракат йўналишига боғлиқдир.

Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларда иссиқлик алмашиниш жараёнида суюқликлар ҳаракати параллел, қарама-қарши, кесишиб ўтган ва мураккаб

(аралаш) йўналишли бўлиши мумкин (4.14-расм).



Ажратиб турувчи девор бўйлаб бир-бирига нисбатан суюқликлар ҳаракатининг қуйидаги вариантлари бўлиши мумкин:

1) параллел ҳаракатда (4.14а-расм) иккала иссиқлик элткичлар ҳам бир хил йўналишда ҳаракат қилади;

2) қарама-қарши ҳаракатда (4.14б-расм) иссиқлик элткичлар бир-бирига қарши йўналишда ҳаракат қилади;

3) кесишиб ўтувчи ҳаракатда (4.14в-расм) иссиқлик

4.14-расм. Иссиқлик алмашиниш жараёнида суюқликларнинг ҳаракат йўналишлари

а - параллел; б - қарама-қарши; в - кесишиб ўтган; г, д - аралаш.

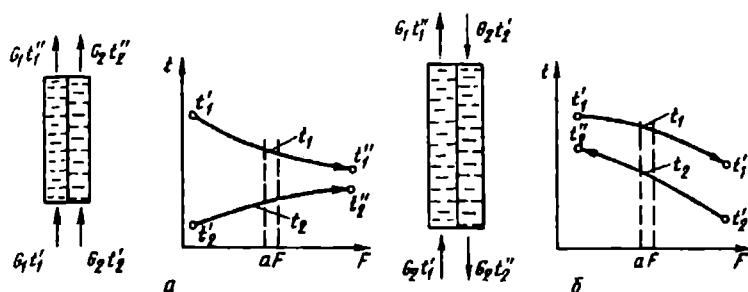
элткичлар бир-бирига нисбатан перпендикуляр йўналишда ҳаракат қилади;

4) мураккаб ёки аралаш ҳаракатда (4.14г, д-расм) биринчи иссиқлик элти-и-ч бир йўналишда ҳаракат қилса, иккинчиси ҳам тўғри, ҳам тескари йўналишда ҳаракат қилади.

Ўзгарувчан температурали жараёнларда иссиқлик элткичларнинг ўзаро аракат йўналишига қараб, иссиқлик алмашиниш жараёнининг ҳаракатга келти-рувчи кучи ўзгаради. Шунинг учун, иссиқлик ўтказишнинг асосий тенглама-идаги ўртача ҳаракатга келтирувчи куч суюқликларнинг бир-бирига нисбатан аракат йўналишига ва жараёни ташкил этилишига боғлиқ бўлади.

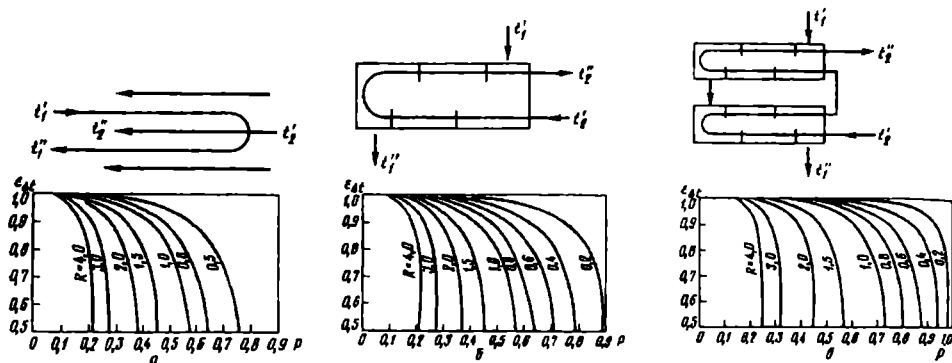
4.15-расмда параллел ва қарама-карши йўналишли ҳаракатлар пайтида иссиқлик элткичлар температураларининг ўзгариши тасвирланган. Иссиқлик элткичлардан бири G_1 совутилганда температураси t_1' дан t_1'' гача пасаймоқда, иккинчиси эса G_2 , иситилганда t_2' дан t_2'' гача кўтарилмоқда.

4.16-расмда қобиқ трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмаларида тез-ез учраб турадиган аралаш йўналишли суюқликлар ҳаракат схемалари келти-рилган.



4.15-расм. Иссиқлик элткичлар температураларининг ўзгариш схемаси.

а - параллел йўналиш; б - қарама - қарши йўналиш.



4.16-расм. Аралаш йўналишли қобиқ - трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмасида иссиқлик элткичларнинг ҳаракат схемаси ва $\varepsilon \Delta t$ коэффициент:

а - трубаларо бўшлиғи бир ва трубалар бўшлиғи эса икки, тўрт, олти ва ундан ортиқ йўлли; б - кўндаланг тўсиқли тру-баларо бўшлиғи бир ва трубалар бўшлиғи икки, тўрт, олти ва ортиқ йўлли; в - кўндаланг тўсиқли трубаларо бўшлиғи икки ва трубалар бўшлиғи тўрт йўлли.

4.15-расмдан кўриниб турибдики, иссиқлик алмашиниш жараёнида икки иссиқлик элткичлар орасидаги ҳаракатга келтирувчи куч миқдори девор юзаси бўйлаб ўзгармоқда. Масалан, иссиқлик элткичларнинг қурилмага киришда параллел йўналишда (4.15а-расм) локал ҳаракатга келтирувчи куч максимал қийматга эга: $\Delta t_{max} = t_1' - t_2'$, қурилмадан чиқишда эса, минимал $\Delta t_{min} = t_1'' - t_2''$. Қарама-қарши йўналишли ҳаракатда ҳам худди шундай натижага эга бўламиз. Шунинг учун иссиқлик алмашиниш жараёнларини ҳисоблашда ўртача ҳаракатга келтирувчи кучдан фойдаланилади.

Иссиқлик алмашиниш юзасининг чексиз кичик элементида вақт бирлигида иссиқ элткичдан совуқ элткичга узатилаётган иссиқлик миқдори (4.15а расм) ушбу тенгламадан аниқланади: $dQ = K(t_1 - t_2)dF$.

Иссиқлик алмашиниш оқибатида иссиқ элткичнинг температураси $dt_1 = -dQ/(G_1 c_1)$ га пасаяди.

Совуқ элткичнинг температураси эса $dt_2 = dQ/(G_2 c_2)$ га кўтарилади.

Бу ерда G_1 ва G_2 иссиқ ва совуқ элткичларнинг массавий сарфи; c_1 ва c_2 иссиқ ва совуқ элткичларнинг солиштирма иссиқлик сифимлари.

Иссиқлик элткичлар температурасининг ўзгаришини топиш учун биринчи тенгламадан иккинчисини айтириш керак:

$$d(t_1 - t_2) = -dQ \left(\frac{1}{G_1 \cdot c_1} - \frac{1}{G_2 \cdot c_2} \right) \quad (4.102)$$

Агар, иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасининг dQ қийматин (4.103)га қўйсак ушбу ифодага эга бўламиз:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = -K \left(\frac{1}{G_1 c_1} + \frac{1}{G_2 c_2} \right) dF \quad (4.103)$$

F юзали иссиқлик алмашиниш қурилмасида вақт бирлигида иссиқлик элткичдан совуқига ўтган иссиқлик миқдори Q , иссиқлик баланси тенгламасидан топилади:

$$Q = G_2 c_2 (t_1' - t_1'') = G_2 c_2 (t_2'' - t_2') \quad (4.104)$$

(4.104) тенгламадаги $G_1 c_1$ ва $G_2 c_2$ ларнинг қийматларини (4.103а) қўйсак, ушбу кўринишни оламиз:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = -\frac{K}{Q} [(t_1' - t_1'') + (t_2'' - t_2')] dF \quad (4.105)$$

(4.105) тенглани ўзгармас K да интегралласак:

$$Q = KF \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}} \quad (4.106)$$

ёки:

$$Q = KF \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (4.107)$$

(4.106), (4.107) ва иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаларини солиштириш натижасида иссиқлик ўтиш жараёнининг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучини топиш мумкин:

$$\Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (4.108)$$

Ушбу ифода иссиқлик элткичларнинг қарама-қарши йўналишли ҳаракати учун ҳам тааллуқлидир.

Агар $\Delta t_{\max}/\Delta t_{\min} \leq 2$ ва иссиқлик элткичларнинг тезлиги кичик бўлганда, температураларнинг фарқи ўртача арифметик қилиб ҳисобланади:

$$\Delta t_{yp} = \frac{(\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min})}{2} \quad (4.109)$$

Бу формулада ҳисоблаганда, хатолик 5% дан ошмайди.

Иссиқлик элткичларнинг кесишиб ўтган ва аралаш йўналишли ҳаракатларида ўртача ҳаракатлантирувчи куч қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\Delta t_{yp} = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (4.110)$$

бу ерда $\varepsilon_{\Delta t}$ - ўлчамсиз, коэффициент бўлиб, 4.16-расмдаги тегишли графиклардан топиш мумкин.

Графиклардаги P ва R катталиклар Боуман формуласидан фойдаланиб ҳам топилади:

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} \quad (4.111)$$

$$R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'}$$

4.7. Умумий тушунчалар

Кимё ва бошқа саноатларда иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ўтказиладиган суюқлик ва газларни иситиш, буғланиш, совитиш ва буғларни конденсациялаш жараёнлари жуда кенг тарқалган.

Бирор муҳитдан бошқасига иссиқлик ўтказиш учун мўлжалланган мос-лама **иссиқлик алмашиниш қурилмаси** деб номланади. Иссиқлик узатиш жараёнида қатнашаётган муҳитлар **иссиқлик элткичлар** деб аталади. Юқори температурали ва иссиқлик берувчи муҳит **иссиқлик элткич** дейилади. Паст температурали ва иссиқлик олувчи муҳит **совуқлик элткич** дейилади.

Турли саноатларда тўғридан тўғри иссиқлик манбаи бўлиб ёқилғиларни ёнишидан ҳосил бўлган газлар ва электр энергияси ҳам ишлатилади. Бу турдаги бевосита иссиқлик манбаларидан иссиқлик олиб, ўзининг иссиқлигини қурилма девори орқали иситилаётган суюқлик ёки газга берувчи моддалар **ора-лиқ иссиқлик элткичлар** деб юритилади. Бундай иссиқлик элткичларга сув буғи, иссиқ сув ва юқори температурали иссиқлик элткичлар (ўта қиздирилган сув, минерал мой, органик суюқлик ва уларнинг буғлари, туз эритмалари, суюқ материаллар ва бошқалар) киради.

Оддий температура (10...30°C) ларгача совитиш учун сув ва ҳаво кенг миқёсда ва самарали қўлланилади.

Иссиқлик элткичларни танлашда уларнинг қуйидаги хоссаларига эътибор бериш зарур:

- муҳитни совитиш ёки совитиш даражаси ва уни бошқариш;
- минимал массавий ва ҳажмий сарфларда катта иссиқлик алмашиниш тезлигига эришиш;

- қовушоқлиги кичик, зичлиги, иссиқлик сиғими ва буғ ҳосил қилиш иссиқлиги катта бўлиши керак;

- ёнмайдиган, заҳарлимас, иссиқликка чидамли бўлиши зарур;
- иссиқлик алмашиниш қурилма материални емирмаслиги ва бузмаслиги керак;

- арзон ва камёб бўлмаслиги зарур.

Кўп ҳолатларда иссиқлик элткичлар сифатида саноат ярим маҳсулот, маҳсулот ва чиқиндиларнинг иссиқлигидан фойдаланиш иқтисодий томондан мақсадга мувофиқдир.

4.7.1. Буғ билан иситиш

Маълумки, саноат миқёсида иссиқлик элткич сифатида тўйинган сув буғи кенг қўламда ишлатилади, чунки у бир қатор афзалликларга эга. Масалан, буғ конденсацияланганда жуда катта миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. Агар, буғнинг босими $9,8 \cdot 10^4$ Н/м² бўлса, $2,26 \cdot 10^6$ Ж/кг миқдорда иссиқлик бериши мумкин. Конденсацияланаётган буғнинг иссиқлик бериш коэффициенти юқори бўлгани учун, буғ томонидаги термик қаршилиқ кичик бўлади. Бу эса, буғ ёрдамида иситиш учун кам юза талаб этади.

Тўйинган буғнинг энг асосий афзалликларидан бири шундаки, маълум бир босимда, бир хил температурада конденсацияланади. Бу ҳол тегишли иситиш температурасини юқори аниқликда ушлаб туриш имконини беради.

Зарур пайтда буғ босимини ўзгартириш усули билан иситиш температурасини бошқариб туриш мумкин. Буғ конденсати иссиқлигидан фойдаланиш

натижасида буғли иситкичлар ф.и.к. жуда юқори бўлади. Яна бир афзаллиги шундаки, буғ ёнмайди ва ундан фойдаланиш қулай.

Сув буғининг асосий камчилиги, бу унинг температура ортиши билан босимининг пропорционал равишда ўсишидир. Шунинг учун, сув буғи ёрдамида 180...200°C гача иситиш мумкин. Ушбу температураларда буғнинг босими 1,0...1,2 МПа га тўғри келади. Жуда юқори босимли иссиқлик элткичлар ишлатилганда, қалин деворли ва қиммат қурилмалардан фойдаланишга тўғри келади.

4.7.2. Иссиқ сув билан иситиш

Ушбу усул маҳсулотларини 100°C гача иситиш учун қўлланилади. 100°C дан юқори температураларгача иситиш учун ортиқча босим остидаги **ўта қиздирилган сув** ишлатилади.

Сувнинг афзалликлари жуда кўп: ер куրрасида кенг тарқалган ва арзон; коррозия фаол эмас. Одатда бирор маҳсулотни иситиш иссиқлик қурилмасининг девори орқали амалга оширилади. Айрим ҳолларда иситиш учун сув буғи конденсатининг иссиқлигидан ҳам фойдаланиш мумкин.

Сув ёки бошқа органик суюқликлар билан иситиш учун кўпинча циркуляцион усул ишлатилади. Циркуляцион ҳаракат эркин ёки мажбурий бўлиши мумкин. Лекин, саноатда насос ёрдамида амалга ошириладиган мажбурий циркуляцион жараёнлар кенг тарқалган.

Помидор, бодринг, полиз маҳсулотларини етиштиришда иссиқхона (теплица) ларда завод ва фабрикалардан чиқариб ташланаётган иссиқ сувлар ишлатилади.

4.7.3. Юқори температурали органик суюқлик ва уларнинг буғлари билан иситиш

Ушбу гуруҳ иссиқлик элткичларига қуйидаги органик моддалар киради: глицерин, этиленгликоль, нафталин, дифенил эфири, дифенилметан, дитоллилметан, дифенил ва полифенолларни хлорли маҳсулотлари, минерал мойлар, тетрахлордифенил, кремний органик бирикмалар ва ҳоказолар.

Саноатда энг кенг тарқалган юқори температурали органик суюқликлардан бири дифенил аралашма (26,5 - дифенил ва 73,5% - дифенил эфири) сидир. Ушбу иссиқлик элткич циркуляцион усулда иситиш учун ишлатилади ва эркин циркуляция шароитида иссиқлик бериш коэффициенти 200...350 Вт/(м²·К).

Дифенил аралашмасининг асосий афзалликларидан бири шундаки, юқори босим ишлатмасдан туриб юқори температуралар олиш мумкинлигидир. Масалан, 300°C температурада сув буғининг босими 87,6 ат бўлса, дифенил аралашмасида эса - атиги 2,4 ат.

Ушбу гуруҳдаги органик суюқликлар ёрдамида 250...400°C температурагача иситиш мумкин.

Сув ёки бошқа иссиқлик элткичнинг иситиш учун кетган сарфи иссиқлик балансидан аниқланади:

$$G_c c_c t_{cb} + G_m c_m t_{mb} = G_c c_c t_{max} + Q_{yuk} \quad (4.112)$$

бу ерда G_c ва G_m - сув ва маҳсулотнинг массавий сарфлари, кг/соат; c_c ва c_m - сув ва маҳсулотнинг иссиқлик сифимлари, кЖ/(кг·К); t_{cb} ва t_{mb} - сув ва маҳсулотнинг бошланғич температуралари, °С; t_{cax} ва t_{max} - сув ва маҳсулотнинг чиқишдаги температуралари, °С; Q_{yuk} - атроф муҳитта иссиқликнинг йўқотилиши, кЖ/соат.

(4.112) дан сувнинг сарфини топиш мумкин:

$$G_c = \frac{G_m c_m (t_{nox} - t_{mb}) + Q_{iyk}}{c_c (t_{cb} - t_{cax})} \quad (4.113)$$

4.7.4. Тўйинган сув буғи билан иситиш

Ушбу усулда иситиш амалиётда кенг миқёсда қўлланилади. Бунга унинг қуйидаги афзалликлари сабабчидир: конденсацияланиш жараёнида жуда катта миқдорда иссиқлик ажраб чиқади (2024...2264 кЖ/кг); конденсацияланаётган буғдан деворга иссиқлик бериш коэффиценти жуда юқори; иситиш бир текисда содир бўлади.

Ўткир буғ билан иситишда сув буғи бевосита иситилаётган суюқликка юборилади. Натижада буғ конденсацияланади ва иссиқлигини суюқликка беради. Жараёнда ҳосил бўлган конденсат суюқлик билан аралашиб кетади. Иситиш ва аралаштириш жараёнларини бирданига амалга ошириш учун буғ барботер ёрдамида суюқлик қатламига юборилади.

Ўткир буғ сарфи иссиқлик балансидан топилади:

$$G c t_{\bar{o}} + D i'' = G c t_{ox} + D c t_{ox} + Q_{iyk} \quad (4.114)$$

Ўткир буғ сарфи:

$$D = \frac{G c \cdot (t_{ox} - t_{\bar{o}})}{i'' - c t_{ox}} \quad (4.115)$$

Иситилаётган муҳитни сув билан аралашитиш мумкин бўлган ҳоллардагина ўткир буғ билан иситиш жараёни қўлланилади.

Ушбу усул кўпинча сув ва сувли эритмаларни иситиш учун ишлатилади.

Кучсиз буғ билан иситишда иссиқлик буғдан суюқликка ажратиб турувчи девор орқали узатилади. Қурилма ичида буғ конденсациялангандан сўнг, унинг буғ бўшлиғидан конденсат ҳолатида чиқарилади. Ҳосил бўлган конденсатнинг температураси иситувчи буғнинг тўйиниш температурасига тенг деб қабул қилинади.

Суюқликни иситиш жараёнида буғнинг массавий сарфи ҳам иссиқлик балансидан топилади:

$$G c t_{\bar{o}} + D_1 = G c t_{ox} + D i' + Q_{iyk} \quad (4.116)$$

Кучсиз буғ сарфи:

$$D = \frac{G c (t_{ox} - t_{\bar{o}}) + Q_{iyk}}{i'' - i'} \quad (4.117)$$

бу ерда D — буғнинг массавий сарфи, кг/соат; G — суюқликнинг массавий сарфи, кг/соат; c — суюқликнинг солиштирма иссиқлик сигими, кЖ/(кг·К); $t_{\bar{o}}$ ва t_{ox} — суюқликнинг бошланғич ва охири температуралари, °С; i' ва i'' — иситувчи буғ ва конденсатнинг энтальпиялари, кЖ/соат.

4.7.5. Тутун газлари билан иситиш

Тутун газлари билан иситиш турли саноат соҳаларида анча вақтдан бери қўлланилиб келинаётган усуллардан биридир. Тутун газлари суюқ, газсимон ва қаттиқ ёқилгиларни махсус ўтхоналарида ёндириш натижасида ҳосил бўлади. Ушбу газлар ёрдамида 1000...1100°C температурагача иситиш мумкин.

Тутун газлари ёрдамида иситишнинг камчиликлари: кичик иссиқлик бериш коэффиценти [35...60 Вт/(м²·К)]; температураларининг фарқи жуда катта ва иситиш жараёни бир текисда эмас; температурани ростлаш мураккаб; қурилма деворларининг оксидланиши ва тутун таркибида зарарли моддаларнинг борлиги, ушбу усулни озик-овқат маҳсулотларини қайта ишлашда қўллаш мумкин эмас.

Лекин, кимё саноатида тутун газларини қўллаш катта самара беради, чунки ушбу газларни ишлатишда қўшимча ёқилғи талаб этилмайди. Шунинг учун тутун газларини иситиш жараёнида қўллаш иқтисодий жиҳатдан жуда фойдалидир.

4.7.6. Электр токи билан иситиш

Электр токи ёрдамида материалларни жуда катта температура оралигида иситиш, зарур температурани ушлаб туриш ва осон ростлаш мумкин. Ундан ташқари, электр иситиш мосламалари содда, ихчам, ишлатиш ва таъмирлаш қулайдир. Лекин, электр токи билан иситиш анча қиммат.

Электр токини иссиқлик энергиясига айлантириш усулига қараб ушбу усул бир неча турга бўлинади: электр қаршилиги ёрдамида иситиш, индукцион иситиш, юқори частотали иситиш, электр ёйи билан иситиш.

Электр қаршилиги ёрдамида 1000...1100°C гача иситиш мумкин. Атроф-муҳитга иссиқлик йўқотилишини бартараф қилиш учун ўтхона иссиқлик қопламаси билан ўралади. Ўтхонанинг асосий иситиш элементлари сим ёки лентасимон қилиб нихром қотишмасидан ясалади.

Индукцион иситиш қурилма девори қалинлигида ўзгарувчан ток майдони таъсирида фойдали иш коэффиценти уюрмавий токлари ҳосил бўлади ва улар иссиқлик ажралиб чиқишга сабабчи бўлади.

Ушбу усулда бир текисда иситиш мумкин. Одатда индукцион иситишда 400°C температурага эришиш ва керакли температурани юқори аниқликда ушлаб туриш мумкин.

Бу усулнинг камчиликларидан бири — бу унинг қимматлиги. Иситишни арзонлаштириш учун комбинациялашган усулдан фойдаланилади. Бунинг учун маҳсулот тўйинган сув буғи ёрдамида 180°C гача қиздирилади ва ундан кейин индукцион усулда керакли температурагача иситилади.

Юқори частотали иситиш. Ушбу усулда электр токи ўтказмайдиган материаллар иситилади, шунинг учун ҳам диэлектрик усул деб номланади.

Юқори частотали иситишнинг ишлаш принципи қуйидагича: ўзгарувчан электр майдонига жойлаштирилган материал молекулалари майдон частотаси билан тебранма ҳаракат қила бошлайди ва қўтбланади. Материал молекулаларининг тебранма ҳаракат энергияси диэлектрик молекулалари орасидаги ишқаланиш кучини енгишга сарфланади ва материал массасида иссиқликка айланади. Ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори ток частотаси ва кучланиш квадратига пропорционалдор. Иситиш бу усулда бир текисда бўлади. Ундан ташқари, иситиш температураси осон ва аниқ ростланади. Лекин, бу турдаги иситкичлар мураккаб ва уларнинг фойдали иш коэффиценти жуда паст

бўлади. Ушбу усулда ишлайдиган иситкичларда $1 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^8$ Гц частотали тоқлар қўлланилади.

Электр тоқи ёрдамида иситиш жараёнида ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдори иссиқлик балансида топилади:

$$Q_3 + Gct_{\delta} = Gct_{ox} + Q_{\dot{y}y\kappa} \quad (4.118)$$

бу ерда Q_3 – электр тоқи ўтганда электр иситиш мосламасидан ажралиб чиққан иссиқлик миқдори, кЖ/соат; G – иситилаётган қурилмада қайта ишланаётган маҳсулот миқдори, кг/соат; c – материал солиштира иссиқлиги, Ж/(кг·К); t_{δ} , t_{ox} – материалнинг бошланғич ва охири температуралари, °С; $Q_{\dot{y}y\kappa}$ – атроф муҳитга йўқотилаётган иссиқлик миқдори, кЖ/соат.

(4.118) тенгламадан

$$Q_3 = Gc(t_{ox} - t_{\delta}) + Q_{\dot{y}y\kappa} \quad (4.119)$$

Иситувчи элементлар қуввати эса ушбу ифодадан аниқланади:

$$N = \frac{Q}{3600} \quad (4.120)$$

✓ 4.8. Конденсациялаш

Буг ёки газларни, сув ёки ҳаво ёрдамида совитиб, суяқ агрегат ҳолатига ўтказиш жараёнига **конденсациялаш** дейилади. Конденсациялаш жараёни конденсаторларда амалга оширилади. Ушбу жараён кимё ва озиқ - овқат саноатларида турли моддаларни суялтириш учун қўлланилади. Бугнинг конденсацияланишида ҳосил бўлган конденсатнинг ҳажми буг ҳажмига нисбатан тахминан 1000 марта кичик. Бу ҳодиса конденсаторларда вакуум ҳосил бўлишига олиб келади.

Совитиш усулига қараб конденсацияланиш жараёни 2 турга бўлинади: сиртий ва иссиқлик элткичларни аралаштириш йўли билан конденсациялаш.

Конденсациялаш жараёнида ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори ушбу формуладан аниқланади:

$$Q = Dr \quad (4.121)$$

бу ерда D – конденсацияланаётган буг массаси, кг; r – конденсацияланиш иссиқлиги, кЖ/кг.

Масалан, 1 кг сув бугининг атмосфера босимида конденсацияланишида 2264 кЖ миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади.

Сиртий конденсация иссиқлик алмашиниш қурилмаларида амалга оширилади. Бундай қурилмалар **сиртий конденсатор** деб номланади.

Ўта қиздирилган бугни сув билан конденсациялаш жараёнининг иссиқлик баланси:

$$Di + Wc_c t_{cb} = Dc_{кон} t_{кон} + Wc_c t_{cox} + Q_{\dot{y}y\kappa} \quad (4.122)$$

бу ерда D – конденсаторга кираётган бугнинг массавий сарфи, кг/соат; i – буг энтальпияси, кЖ/кг; c_c ва $c_{кон}$ – сув ва конденсатнинг солиштира иссиқлик сифими, Ж/(кг·К); t_{cb} , t_{cox} – сувнинг бошланғич ва охири температураси, °С; $Q_{\dot{y}y\kappa}$ – атроф муҳитга йўқотилаётган иссиқлик миқдори, кЖ/соат.

(4.122) дан совутувчи сувнинг массавий сарфи аниқланади (кг/соат):

$$W = \frac{D (i - c_{\text{кон}} t_{\text{кон}}) - Q_{\text{йук}}}{c_c (t_{\text{cox}} - t_{\text{сб}})} \quad (4.123)$$

Ўта қиздирилган буғнинг солиштирма энтальпияси (кЖ/кг) ушбу тенглама орқали ҳисобланади:

$$I = c_{\text{буғ}} (t_{\text{буғ}} - t_{\text{муи}}) + r + c_{\text{кон}} \cdot t_{\text{муи}}$$

бу ерда $C_{\text{буғ}}$ - ўта қиздирилган буғ солиштирма иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К); $t_{\text{буғ}}$ - ўта қиздирилган буғ температураси, °С; $t_{\text{муи}}$ - буғнинг тўйиниш температураси, °С; r - буғнинг конденсацияланиш иссиқлиги, кЖ/кг.

Конденсаторнинг иссиқлик ўтказиш юзаси 3 та зона учун алоҳида ҳисобланади:

- ўта қиздирилган буғни совитиш зонасининг юзаси F_1 ;
- конденсациялаш зонасининг юзаси F_2 ;
- конденсатни совитиш зонаси F_3 .

Конденсаторнинг умумий иссиқлик алмашиниш юзаси $F_{\text{ум}} = F_1 + F_2 + F_3$. Ҳар бир зонанинг юзаси иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан ҳисоблаб топилади.

Иссиқлик элткичларни аралаштириш йўли билан конденсациялаш ҳўл ва қуруқ конденсаторларда олиб беради.

Ҳўл конденсаторларда сув, конденсат ва конденсацияланмаган газлар (масалан, ҳаво) қурилманинг пастки қисмидан махсус, нам ҳаволи насос ёрдамида чиқарилади.

Қуруқ конденсаторларда совутувчи сув ва конденсат қурилманинг пастки қисмидан, ҳаво эса — юқори қисмидан вакуум - насос ёрдамида сўриб олинади.

Конденсаторлар иссиқлик элткичларнинг ҳаракатига қараб параллел ва қарама - қарши йўналишли бўлади.

✓ 4.9. Атроф муҳит температурасигача совитиш

Материалдан иссиқлик олиш йўли билан температурасини пасайтириш жараёни **совитиш** деб номланади.

Саноат миқёсида газ, буғ ва суюқликлар температурасини 15...20°С гача совитиш учун ҳаво ва сув қўлланилади. Маҳсулотларни паст температураларгача совитиш учун паст температурали совуқлик элткичлар - фреонлар, аммиак, углерод диоксида, совутувчи эритмалар ва ҳоказолар - ишлатилади.

Сув билан совитиш иссиқлик алмашиниш қурилмасида амалга оширилади. Бу қурилмаларда иссиқлик элткичлар ажратувчи девор орқали ёки бевосита аралаштириш натижасида иссиқлик алмашади. Масалан, сувни газларга тўғридан — тўғри пуркаш йўли билан совутилади.

Одатда совитиш учун 15...25°С температурали оддий сув ёки 8...12°С артезиан суви ишлатилади. Сувни тежаш мақсадида ишлатиб бўлинган сувнинг температураси градиентларда совутилади ва қайтадан иссиқлик алмашиниш жараёнида қўллаш учун қайтарилади.

Совитиш учун зарур сувнинг массавий сарфи иссиқлик балансидан аниқланади:

$$Gct_{\delta} + Wc_c t_{c\delta} = Gct_{ox} + Wc_c t_{ox} + Q_{\dot{y}uk} \quad (4.124)$$

бундан:

$$W = \frac{Gc (t_{\delta} - t_{ox}) - Q_{\dot{y}uk}}{c_c (t_{ox} - t_{\delta})} \quad (4.125)$$

бу ерда G — совутилаётган иссиқлик элткичнинг массавий сарфи, кг/соат; c, c_c — иссиқлик элткич ва сувнинг солиштирма иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К); t_{δ}, t_{ox} — иссиқлик элткичнинг бошланғич ва охириги температураси, °С; $Q_{\dot{y}uk}$ — атроф муҳитга йўқотилаётган иссиқлик миқдори, кЖ/соат.

Муз билан совитиш бир қатор маҳсулотлар температурасини нольгача совитиш учун қўлланилади. Маълумки, муз маҳсулотга иссиқлигини бериш натижасида 0°С гача исийди ва эриб бошлайди. Шу пайтда совутилаётган маҳсулотдан иссиқлик ажратиб олинади. Совитиш жараёни давомийлиги тажриба ўтказиш йўли билан аниқланади.

Муз ёрдамида бевосита совитиш жараёнида маҳсулотга олиб кирилаётган совуқлик миқдори ушбу тенгламадан топилади:

$$Q = L(-r) \quad (4.126)$$

бу ерда L — муз массаси, кг; r — музнинг эриш иссиқлиги, кЖ/кг.

Совутувчи суюқлик билан олиб кирилаётган иссиқлик миқдори қуйидаги тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$Q_{\dot{y}uk} = Gct_{\delta} \quad (4.127)$$

бу ерда G — совутилаётган суюқлик массаси, кг; c — суюқлик солиштирма иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К); t_{δ} — суюқликнинг бошланғич температураси, °С.

Музнинг эриш температурасида ҳосил бўлган сув ва совутилаётган суюқликнинг охириги температураси t_{ox} деб қабул қиламиз. Унда, иссиқлик баланси ушбу қўринишга эга бўлади:

$$Gct_{\delta} - Lr = Gct_{ox} + Lc_c t_{ox} \quad (4.128)$$

бу ерда c_c — сувнинг солиштирма иссиқлик сифими, Ж/кг·К.

(4.128) дан музнинг сарфини аниқлаймиз:

$$L = \frac{Gc (t_{\delta} - t_{ox})}{c_c t_{ox} - r} \quad (4.129)$$

Ҳаво билан совитиш табиий ва сунъий усулларда амалга оширилади. Иссиқ маҳсулотларни табиий усулда совитиш жараёни атроф муҳитга иссиқлик тарқатилиши ҳисобига содир бўлади. Бу усулда совитиш қиш фаслида самарали ўтади.

Сувларни ҳаво ёрдамида градирияларда совитиш сунъий совитиш усулида амалга оширилади. Градирияда совутилаётган сув юқоридан пастга қараб

пуркалса, совутувчи ҳаво эса пастдан юқори йўналган бўлади. Бунда суюқлик температурасининг пасайиши фақат иссиқлик алмашилиш ҳисобига бўлмай, балки суюқлик бир қисмининг буғланиши ҳисобига ҳам совутилади.

4.10. Атроф муҳит температурасидан паст температурагача совитиш

Кимё ва озиқ овқат маҳсулотларини атроф муҳит температурасидан паст (+4...-60°C) температураларда совитиш, музлатиш ва сақлаш учун совуткичлар ишлатилади. Совуткичларнинг асосий ишчи қисми бу совитиш машинаридир.

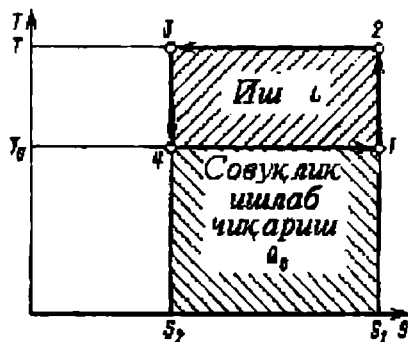
Совитиш машиналарида совуқлик ишлаб чиқариш учун газни сиқиш, конденсациялаш ва буғланиш жараёнлардан таркиб топган тесқари айланма термодинамик цикл қўлланилади.

Термодинамиканинг иккинчи қонунига биноан, атроф муҳит температурасидан паст температурагача совитиш, температураси қуйи сатҳдан юқори сатҳга иссиқлик ўтказиш билан боғлиқ бўлганлиги учун, албатта энергия сарфланиши зарур. Бундай иссиқлик узатиш Карнонинг тесқари цикли асосида амалга оширилади.

Карно тўғри циклининг энергетик баланси ушбу тенглама билан ифодаланади:

$$Q = L + Q_0 \quad (4.130)$$

Карно тесқари циклини кўриб чиқамиз (4.17-расм).



4.17-расм. Карно тесқари цикли.

$L_{1-2-3-4}$ — ушбу юза сарфланган ишга тенг;
 Q_0 — совуқлик иш унумдорлиги.

T_0 температурали газ ҳолатидаги ишчи жисм маълум миқдорда иш бажарганда адиабатик сиқилмоқда ва шу жараён натижасида T температурагача иситилмоқда. Ушбу жараён графикда вертикал 1-2 чизиғи билан тасвирланган. Сиқиш жараёнидан сўнг, T температурада газ изотермик конденсацияланади (2-3 чизиқ). Бу жараёнда Q миқдорда иссиқлик арилиб чиқади. Ундан кейин эса, ҳосил бўлган суюқлик адиабатик кенгайтирилади.

Кенгайиш жараёнида суюқлик T_0 температурагача совутилади (3-4 чизиқ) ва фойдали иш бажарилади. Сўнг эса, паст босимда ва T_0 температурада буғланади (4-1 чизиқ). Шу жараён пайтида совутилаётган жисмдан Q_0 миқдорда иссиқлик олинади.

(4.130) тенгламадан газнинг фойдали ишини аниқлаймиз:

$$L = Q - Q_0 \quad (4.131)$$

Q ва Q_0 иссиқлик миқдорлари ишчи жисмнинг конденсациягача S_1 ва ундан кейинги S_2 энтропиялари билан ифодалаш мумкин:

$$Q = T \cdot (S_1 - S_2);$$

$$Q_0 = T_0 \cdot (S_1 - S_2) \quad (4.132)$$

Агар, Q ва Q_0 қийматларини (4.131) тенгламага қўйсак, ушбу ифодани оламиз:

$$L = (T - T_0) \cdot (S_1 - S_2) \quad (4.133)$$

Совитиш коэффициенти ушбу кўринишга эга:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L} = \frac{Q_0}{Q - Q_0} = \frac{T_0}{T - T_0} \quad (4.134)$$

Шундай қилиб, совитиш коэффициенти ε сарфланган иш бирлиги L ҳисобига қуйи T_0 температурадан юқори T температура сатҳига қанча иссиқлик миқдори Q_0 ни узатиш мумкинлигини ифодалайди. Иссиқлик миқдори Q_0 **совуқлик иш унумдорлиги** деб номланади.

4.11. Иссиқлик алмашиниш қурилмалари

Маълумки, саноатнинг турли соҳаларида хилма-хил хом ашё ва маҳсулотларни қайта ишлашда иссиқлик алмашиниш жараёнлари ва уларни амалга оширувчи қурилмалар жуда кенг миқёсда қўлланилади. Жараёнларни ўтказиш шартлари ва қурилмаларни қўллаш соҳасига қараб, иссиқлик алмашиниш қурилмаларнинг тузилиши турлича бўлади.

Ишлаш принципига қараб иссиқлик алмашиниш қурилмалари сиртий (рекуператив), регенератив ва аралаштирувчи (градирня, скруббер, аралаштирувчи конденсатор ва ҳ.) қурилмаларга бўлинади.

Сиртий иссиқлик алмашиниш қурилмаларида иссиқлик элткичлар девор билан ажратилган бўлиб, уларда бир муҳитдан иккинчисига иссиқлик ушбу девор орқали узатилади. Конструкциясига кўра сиртий иссиқлик алмашиниш қурилмалари қобиқ - трубали, змеевикли, пластинали, спиралсимон, қиррали, филофли, блок-графитли ва махсус иссиқлик алмашиниш қурилмаларига бўлинади.

Регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмаларида бир иссиқлик алмашиниш юзаси галма-гал иссиқ ва совуқ элткичлар билан ювилиб туради. Агар, иссиқлик алмашиниш юзаси иссиқ элткич билан ювилиб турса, муҳитнинг иссиқлиги ҳисобига исийди, совуқ элткич билан ювилганда эса ўз иссиқлигини беради. Шундай қилиб, иссиқлик алмашиниш юзаси иссиқлик элткичнинг иссиқлигини йиғиб олади, сўнг эса совуқ элткичга беради.

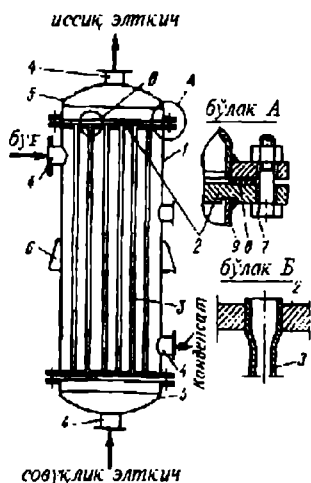
Аралаштирувчи иссиқлик алмашиниш қурилмаларида иккала элткич бевосита ўзаро аралашishi пайтида иссиқлик алмашади.

Иссиқлик алмашиниш турига кўра қурилмалар иситкич, буғлаткич, совуткич ва конденсаторларга ажратилади.

4.11.1. Сиртий иссиқлик алмашиниш қурилмалари

Конструкциясига қараб ушбу турдаги қурилмалар қобиқ - трубали, «труба ичида труба», змеевикли, спиралсимон, ювилиб турувчи, пластинали, қиррали, филофли, блок-графитли, шнекли ва ҳоказо бўлиши мумкин.

Қобиқ - трубали иссиқлик алмашиниш қурилмалари халқ ҳўжалигининг турли соҳаларида энг кенг тарқалган ва кўп ишлатиладиган туридир.



4.18-расм. Вертикал, бир йўлли қобиқ - трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1 қобиқ; 2 - тешикли панжара; 3 - иситувчи труба-лар; 4 - патрубок; 5 - қоп-қоқ; 6 - таянч; 7 - болт; 8 қистирма; 9 - обечайка.

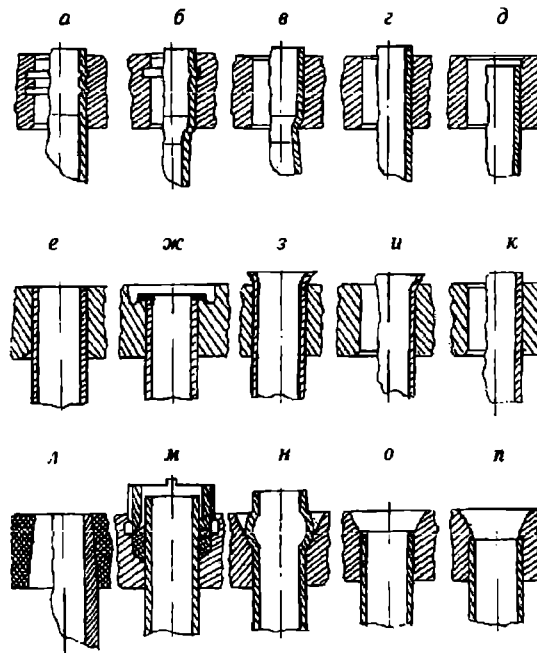
кич оқими эса, масалан буг, трубалараро бўшлиққа йўналтирилади, иситувчи трубалар ташқи юзасига ўз иссиқлигини беради ва суюқ агрегат ҳолати (конденсат) га айланиб қобиқнинг пастки патрубкисидан чиқазиб юборилади. Муҳитлар орасидаги иссиқлик алмашиниш жараёни трубалар девори орқали амалга оширилади. Иситувчи трубалар тешикли панжарага пайвандлаш, развальцовка ва усулларда маҳкамланади (4.19-расм). Кўпинча, иситувчи трубалар пўлат, легирланган пўлат, мис, латун, титан ёки бошқа материаллардан тайёрланиши мумкин.

Иситувчи трубалар 3 ни тешикли панжаралар 2 да маҳкамлашнинг эпг кенг тарқалган усули бу оддий развальцовкадир (4.19-расм). Вальцовка номли асбобда радиал йўналишда ҳосил қилинадиган куч таъсирида труба деформацияга (диаметри ортади, яъни кенгайди) учраб, тешикли панжарага зичланади ва маҳкамланади. Труба ўрамининг тўр пардага мустаҳкам жойлаштиришга эришиш учун тешикли панжарада эни 2...3,5 мм ва чуқурлиги 0,4...1,0 мм ли иккита ҳалқасимон ариқча қилинади. Ундан ташқари, трубаларни тешикли панжараларга пайвандлаш, кавшарлаш, сальник ёрдамида ҳам маҳкамлаш мумкин. Сальник ёрдамида зичлаш мураккаб ва қиммат. Бу усулда маҳкамлаш муҳитлар температура фарқи катта бўлганда, трубаларнинг бўйлама силжишига имкон беради, аммо бунда бирикма зичланиши бузулмайди.

Трубанинг кириш қисмини конуссимон развальцовка қилиш, маҳаллий қаршилиқ коэффициентини сезиларли даражада пасайтиради. Бу эса, ўз навбатида кириш қисмининг емирилиш олдини олади.

Агар, трубалар тебраниш, циклик қизишга, температуралар катта ўзгариши ёки уларнинг учлари иссиқлик таъсирида ўта исиб кетиш ҳоллари юз берадиган бўлса, унда трубаларнинг учи албатта тешикли панжарага пайвандланиши зарур. Пайвандлаш чоки чўктирилган, валик ва ариқчада валик ҳолади, ҳамда ариқча ва тишли кўринишларда бўлиши мумкин.

4.18-расмда трубаларнинг қўзғалмас тешиқ панжарали, бир йўлли, вертикал қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаси тасвирланган. Ушбу қурилма цилиндр қобиқ 1 ва унинг икки чеккасига иситувчи трубалар 3 маҳкамланган тешикли панжара 2 лардан таркиб топган. Трубалар ўрами иссиқлик алмашиниш қурилмасининг бутун ҳажмини иккига бўлади: 1) труба бўшлиғи; 2) трубалараро бўшлиқ. Тешикли панжара 2 лар цилиндрик қобиқ 1 га пайвандлаш усулида маҳкамланади. Қурилма қобиғига болтли бирикма ёрдамида 2 та қопқоқ маҳкамланади. Иссиқлик элтикичлар кириши ва чиқиши учун цилиндрик қобиқ 1 ва қопқоқ 5 ларда патрубклар ўрнатилган. Иссиқлик элтикичлардан бири, масалан суюқлик, трубалар бўшлиғига йўналтирилса, у трубалар орқали ўтиб қопқоқнинг патрубкисидан чиқиб кетади. Бошқа иссиқлик эл-



4.19-расм. Трубаларни тешикли панжараларга маҳкамлаш усуллари.

а - иккита ариқчага развальцовка қилиш; б - битта ариқчага развальцовка қилиш; в - пайвандлаш ва развальцовка қилиш; г, д - пайвандлаш; е, ж - ариқча ва тишли пайвандлаш; з - кириш қисмини конуссимон развальцовка қилиш; и - текис тешикка развальцовка қилиш ва буклаш; к - кавшарлаш; л - елимлаш; м - сальник билан зичлаш; н - портлатиб пайвандлаш; о - тешикли панжара ташқи томонини конуссимон раззенковка қилиш; п - тешикли панжаранинг ташқи томони аста - секин силлиқ, торайтириб развальцовка қилиш.

Одатда, қалин деворли трубаларни пайвандлаш мақсадга мувофиқдир. Агар, трубалар кучланиш остида ишлатиладиган бўлса, портлатиб пайвандлаш тавсия этилади. Ушбу усулда трубаларни маҳкамлаш учун портлатиш заряд қуввати катта, тешикли панжаранинг ташқи юзаси раззенковка қилишини ва панжара ташқарисига труба учлари кўп чиқиб туриши керак. Бу усулда труба тешикли панжарага ўта мустаҳкам ҳолатда бириктирилади. Агар, трубанинг бир учи панжарага ушбу усулда портлатиб пайвандланса, иккинчи учи эса портлатиб развальцовка қилинса, энг юқори мустаҳкамликка эришса бўлади.

Ҳозирги кунда трубаларни тешикли панжарага маҳкамлашнинг энг замонавий, илғор технологияси бу портлатиб вальцовка қилишдир. Бунда, портлатувчи заряд труба ичида, яъни учиде жойлаштирилади. Сўнг эса, заряд капсуля ёрдамида портлатилади. Натижада, портлаш энергияси трубани радиал йўналишда деформация қилади ва тешикли панжара билан труба мустаҳкам бирикма ҳосил қилиб уланади. Бу усулдаги бирикма, развальцовка усулиникига қараганда анча мустаҳкамроқ бўлади. Портлатиб пайвандлаш усулини трубаларни таъмирлаш учун ҳам қўллаш мумкин. Трубаларни тешикли панжарага электрогидравлик маҳкамлаш ва бириктириш усули ҳам мавжуд.

Қобик трубаи иссиқлик алмашиниш қурилмаларида труба тешикли панжарага қуйидаги усулларда жойлаштирилиши мумкин (4.20-расм):

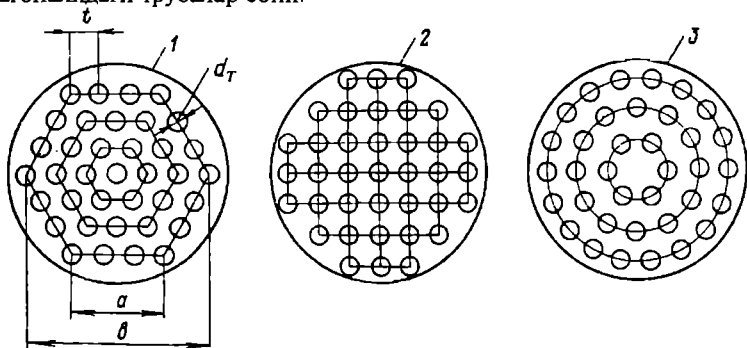
- тўғри олтибурчак чўққи ва қирралари ёки тенг ёнли учбурчак бўйлаб;
- концентрик айланалар бўйлаб;
- квадрат чўққи ва томонлари бўйлаб;
- шахматли қўринишда (бир ва ҳар хил кўндаланг қадамли).

Ушбу усулларда трубаларни иссиқлик алмашиниш қурилмасида жойлаштириш, қурилманинг ихчам бўлиш шарти билан белгиланади. Ундан ташқари, ҳар бир қурилмага иложи борица кўпроқ труба жойлаштиришга ҳаракат қилинади.

Кимё машинасозлигида тўғри олтибурчак томонлари ва чўққаларида трубаларни жойлаштириш кенг тарқалган. Бу усул учун, трубалар сонини аниқлашга қуйидаги формула тавсия этилади:

$$n = 3a \cdot (a - 1) + 1 \quad (4.135)$$

бу ерда a - энг катта олтибурчак томонидаги трубалар сони; $\epsilon = 2a - 1$ - энг катта олтибурчак диагоналидаги трубалар сони.



4.20-расм. Труба тешикли панжарасида трубаларни жойлаштириш схемаси.

- 1 - тўғри олтибурчак томонлари ва чўққиларида;
- 2 - квадрат томонлари ва чўққаларида;
- 3 - концентрик айланалар бўйлаб.

Агар, трубалар тешикли панжарага развальцовка усулида маҳкамланса, унда трубаларни жойлаштириш қадами t ни, уларнинг ташқи диаметрига d_m қараб, ушбу ораликдан танланади:

$$t = (1,3 \dots 1,5) \cdot d_T \quad (4.136)$$

Пайвандлаб маҳкамлашда эса - $t = 1,25 d_T$.

Иссиқлик алмашиниш қурилмасининг диаметри қуйидаги тенгламадан топилади:

$$D = t \cdot (b - 1) + 4d_T \quad (4.137)$$

Трубаларнинг узунлиги зарур иссиқлик алмашиниш юзаси F ва труба-нинг ўртача диаметри d_{yp} лардан келиб чиққан ҳолда ушбу формулада ҳисобланади:

$$l = \frac{F}{\pi \cdot n \cdot d_{yp}} \quad (4.138)$$

Қобик трубаи иссиқлик алмашиниш қурилмаларида иссиқлик элти-кичларнинг йўналиши параллел ёки қарама қарши бўлади. Иссиқ элткич

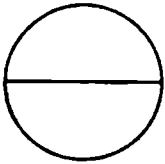
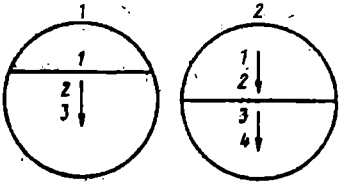
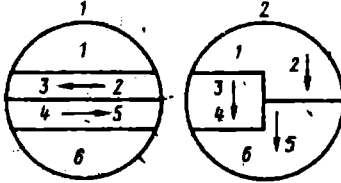
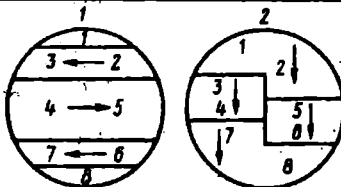
қурилманинг юқори қисмидан трубалараро бўшлиққа, совуқ элткич эса, пастки қисмидан трубалар ичига юборалади. Натижада, буг иссиқлигини беради ва совийди, яъни конденсатга айланади ва пастга қараб ҳаракатланади. Температураси ортиши билан совуқ элткичнинг зичлиги камаяди ва у юқорига қараб кўтарилади. Агар, суюқликлар сарфи кўп бўлса, уларнинг тезлиги ҳам юқори ва иссиқлик алмашилиш жараёни интенсив бўлади. Ундан ташқари, суюқликларнинг қарама – қарши йўналишида уларнинг тезликлари бир хилда тақсимланиб, қурилманинг бутун кўндаланг кесимида иссиқлик алмашилиши ўзгармас бўлади.

Трубалар бўшлиғидаги тўсиқлар. Иссиқлик алмашилиш жараёнининг тезлигини ошириш учун икки ва ундан ортиқ йўлли иситкичлар қўлланилади.

Икки ва ундан ортиқ йўлли қурилмаларда трубаларни секцияларга ажратиш учун ёки суюқликнинг ҳаракат йўли сонига қараб қурилманинг қопқоғи билан труба тешикли панжарасининг орасига тўсиқлар ўрнатилади (4-6 жадвал). Бунинг натижасида суюқлик оқими учун йўллар сони, яъни иссиқлик алмашилиш юзаси ортади.

4-6 жадвал

Қопқоқлар бўшлиғида тўсиқларни жойлаштириш схемаси

Тўсиқлар	Схема	Йўллар сони
Биринчи қопқоқда битта, иккинчисида эса бўлмайди		2
Ҳар бир қопқоқда биттадан бўлади.		4
Биринчи қопқоқда 3 та, иккинчисида эса 4 та бўлади.		6
Биринчи қопқоқда 4 та, иккинчисида эса 5 та бўлади.		8

Шунга алоҳида эътибор бериш керакки, ҳар бир секциядаги трубалар сони бир хил бўлиши зарур. Икки ва ундан ортиқ йўлли қурилмаларда бир йўналишлига қараганда, суюқликларнинг тезлиги йўллар сонига қараб пропорционал равишда ўзгаради.

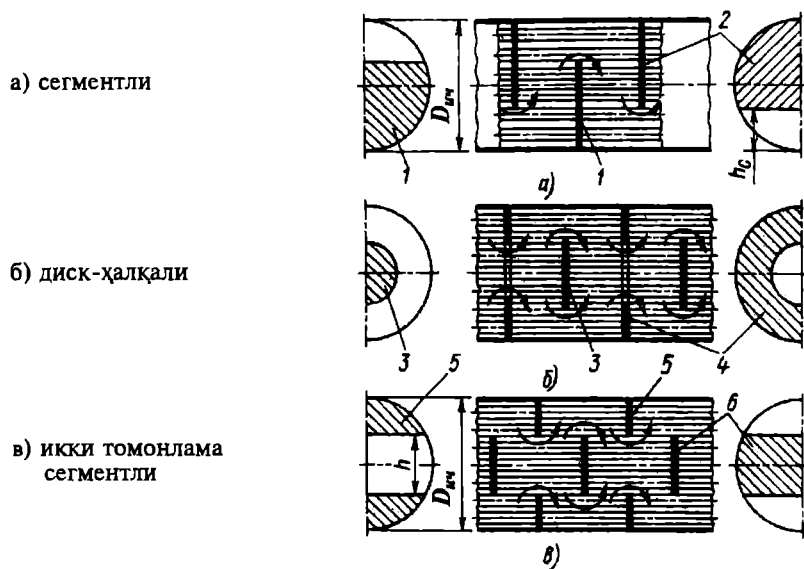
Лекин, шуни унутмаслик керакки, йўллар сони ортиши билан қурилманинг гидравлик қаршилиги ҳам ортади ва тузилиши мураккаблашади.

Қопқоқ бўшлиғида ўрнатиладиган тўсиқларнинг қалинлиги қопқоқ диаметрига боғлиқ. Кам легирланган ва углеродли пўлатлардан тайёрланган тўсиқларнинг қалинлиги 9...16 мм, мис ва никель қотишмалардан ясалганларники эса - 6...13 мм бўлади. Қопқоқ ва тўсиқларнинг материали ҳар доим бир хил бўлиши шарт. Одатда, тўсиқлар қопқоқларга пайвандланади ёки қопқоқ билан бир бутун, яхлит қилиб қуюлади.

Трубалараро бўшлиқдаги тўсиқлар. Маълумки, иссиқлик алмашиниш қурилмаларида биринчи муҳит трубалар ичида ҳаракат қилса, иккинчиси — трубалараро бўшлиқда. Агарда, трубалар ўрами кўндаланг ҳаракатланаётган иссиқлик (ёки совуқлик) элткич оқими билан ювилиб турилса, иссиқлик бериш бўйлама ҳаракатланаётганга қараганда, анча интенсив бўлади [52,53,58,61-66].

Трубалар дастасининг эгилиши ва тебранишини, ҳамда трубалараро бўшлиқдаги трубаларнинг кўндаланг оқим билан ювилиб туришини ташкил этиш мақсадида ва қобиқ ичида суюқлик ҳаракатининг тезликлари юқори бўлиши учун кўндаланг тўсиқлар ўрнатилади.

Кимё машинасозлигида энг кўп қўлланиладиган бир томонли 1 ва 2 сегмент тўсиқлар (4.21а-расм), диск-ҳалқа типидagi 3 ва 4 тўсиқлар (4.21б-расм) ва икки томонли 5 ва 6 сегмент тўсиқлардир (4.21в-расм). Ундан ташқари труба ўрамини ёпувчи, уч томонлама жойлаштириладиган ва бошқа турдаги сегмент тўсиқлар ишлатилади.



4.21-расм. Қобиқ трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларида қўлланиладиган кўндаланг тўсиқлар турлари.

Босим йўқотилиши Δp ни камайтириш мақсадида икки томонлама ва уч томонлама жойлаштириладиган сегмент тўсиқлар қўлланилади. Бу икки турдаги тўсиқлар Δp йўқотилишини 60...100% га пасайтириш имконини беради.

Тўсиқдан кесиб олинган қисми орқали суюқлик бир бўлимдан иккинчисига оқиб ўтади. Унинг баландлиги h нинг қобиқ диаметри $D_{ш}$ га нисбати одатда қуйидаги сон қийматларга тенг:

бир томонлама сегмент тўсиқ учун $h/D_{\text{ич}} = 0,15 \dots 0,4$;

икки томонлама сегмент тўсиқ учун $h/D_{\text{ич}} = 0,2 \dots 0,3$.

Кўндаланг тўсиқлар бир қаватли ёки бир неча перфорация қилинган листлардан йиғилган бўлиши мумкин. Одатда, битта листнинг қалинлиги $\delta = 1,5 \dots 2$ мм бўлади.

Қуйидаги жадвалда тўсиқлар умумий қалинлиги $\Sigma\delta$ нинг қобиқ диаметри $D_{\text{ич}}$ ва трубалар узунлиги L га боғлиқлиги келтирилган.

Қобиқнинг ички диаметри $D_{\text{ич}}$, мм	<325	<355	<355 (>1550)	>1550
Трубанинг таянчсиз узунлиги L , мм	<610	610...1524	>1524 (<610)	>1524
Тўсиқлар умумий қалинлиги $\Sigma\delta$, мм	3...4	4...9	9...10	19...20

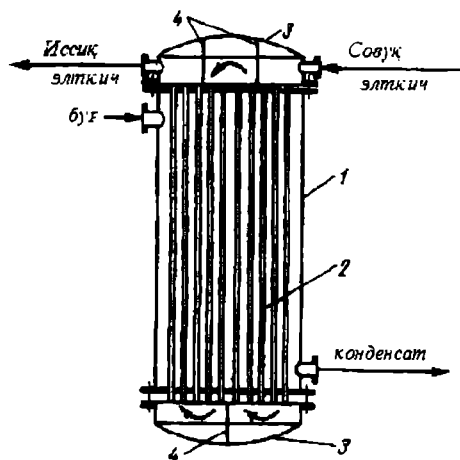
Кўп йўлли, қобиқ-трубали иссиқлик алмашинуш қурилмаси. 4.22-расмда тўрт йўлли қурилма тасвирланган.

Трубалар бўшлиғи секцияланиши туфайли, секциядаги трубалар сони бутун қурилманинг қараганда камайди. Бу эса, суяқлик оқими ҳаракатланадиган кўндаланг кесим юзаси камайишига ва иссиқлик элткич тезлигининг ортishiга олиб келади.

Масалан, тўрт йўлли қурилмада, бир йўлликка қараганда суяқликнинг тезлиги тўрт марта кўп бўлади. Ушбу ҳол эса, трубалар бўшлиғида иссиқлик бериш коэффицентини ўсишига сабабчи бўлади.

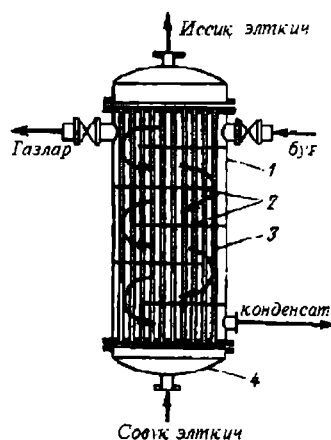
Шуни назарда тутиш керакки, ҳар доим термик қаршилиги юқори иссиқлик элткичнинг тезлигини ошириш мақсадга мувофиқдир.

Трубалараро бўшлиқда суяқлик оқими тезлигини ва ҳаракат йўлини узайтириш мақсадида сегмент тўсиқлар ўрнатилади (4.23-расм).



4.22-расм. Кўп йўлли иссиқлик алмашинуш қурилмаси (труба бўшлиғи бўйича).

1 - қобиқ; 2 - иситувчи труба;
3 - қопқоқ 4 - тўсиқ.



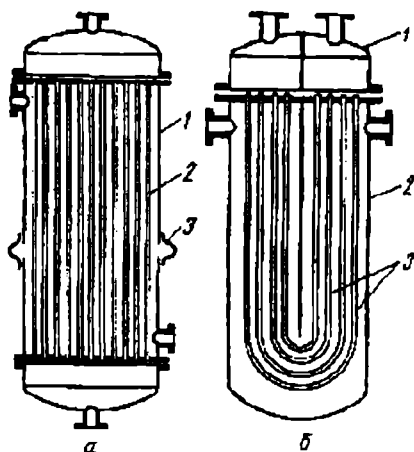
4.23-расм. Кўп йўлли иссиқлик алмашинуш қурилмаси (трубалараро бўшлиқ бўйича).

1- қобиқ; 2 - тўсиқ;
3 - иситувчи труба;
4 - қопқоқ.

Горизонтал иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ушбу сегмент тўсиқлар труба ўрами учун оралиқ таянчлар вазифасини ҳам бажаради. Одатда горизонтал қурилмалар кўп йўлли қилиб ясалади ва уларда суюқликлар тезлиги юқори бўлади. Бундай қилишдан мақсад, температура ва зичликлар фарқи остида суюқликларнинг қатламларга ажралиб, ҳамда ҳаракатсиз зоналар ҳосил қилмаслигини таъминлашдир.

Агар, иссиқлик алмашиниш қурилмаси қўзғалмас тешик панжара тузилиши, қобиқ ва трубалар температураларининг ўртача фарқи 50°C дан катта бўлса, қобиқ ва трубалар узайиши ҳар хил бўлади. Бу ҳол ўз навбатида тешикли панжарада катта кучланишлар ҳосил қилади ва панжарадаги трубалар зичланишини, пайванд чокларини бузади ва йўл қўйиб бўлмайдиган иссиқлик элтикичлар аралашишга олиб келади. Шунинг учун, температуралар фарқи катта бўлганда, температура таъсирида узайишини компенсация қиладиган иссиқлик алмашиниш қурилма конструкциялари қўлланилади.

Линза компенсаторли иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Ушбу турдаги қурилмалар суюқликлар температура фарқи катта бўлганда ишлатилади. Линзали компенсаторлар температура деформациясини бартараф қилади. Бу турдаги қурилмалар труба ва трубалараро бўшлиқларида босимлар $P \leq 6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ бўлганда ишлатилади (4.24а-расм).



4.24-расм. Температура кучланишларини компенсация қилувчи иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг тузилиши.

А - линза компенсаторли:

1 - қобиқ; 2 - иситувчи труба; 3 - линзали компенсатор.

Б - U-симон труба:

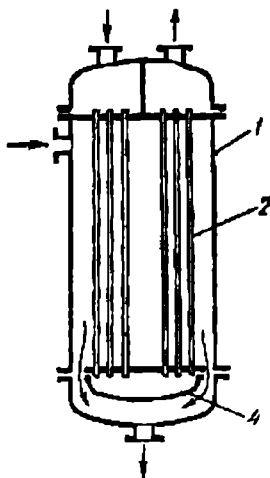
1 - қопқоқ; 2 - қобиқ; 3 - U-симон иситувчи трубалар.

Линзали компенсатор иссиқлик алмашиниш қурилмалар қобиғига пайвандлаб қўйилади ва у эластик деформация остида сиқилади ёки узаяди. Бундай қурилмалар тузилиши содда ва ихчам. Ундан ташқари, вертикал қилиб ясалган линза компенсаторли қурилмалар кўп жой эгалламайди.

U-симон труба **иссиқлик алмашиниш қурилмаси.** Бундай қурилмаларда битта тешикли труба панжараси бўлиб, U-симон труба-нинг иккала учи унга маҳкамланади. Шунини алоҳида айтиш керакки, трубаларнинг ўзи компенсацияловчи мослама функциясини бажаради (4.24б-расм). Қурилма тузилиши содда ва трубаларнинг ташқи юзасини тозалаш осон. Ундан ташқари, икки ва ундан ортиқ йўлли бўлгани учун иссиқлик алмашиниш жараёни интенсив бўлади. Трубаларнинг ички юзасини тозалаш қийин ва тешикли панжарада кўп миқдорда трубалар жойлаштириш мураккаб.

Ҳаракатчан қалпоқчали иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Труба ва қобиқнинг катта силжишини таъминлаш зарур бўлган ҳолларда ҳаракатчан қалпоқчали иссиқлик алмашиниш қурилмаларидан фойдаланилади (4.25-расм).

Қурилманинг пастки тешикли труба панжараси ҳаракатчан бўлганлиги учун бутун трубалар ўрами қўзғалмас қобиққа нисбатан мустақил, эркин ҳаракат қила олади. Бу эса ҳавфли бўлган трубалар температура деформацияси,



4.25-рasm. Ҳаракатчан қалпоқчали иссиқлик алмашиниш қурилмаси.
1 - қобиқ; 2 - иситувчи трубалар; 3 - ҳаракатчан қалпоқча.

муҳит II эса, юқоридан пастга қараб қурилманинг трубалараро бўшлиғидан ҳаракат қилади ва труба 4 нинг ташқи юзасини юйиб чиқиб кетади.

Бундай қурилмаларда температура таъсирида трубалар бир – бирдан бевосита исталган миқдорда узайиши мумкин.

Қўшалок трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг афзалликлари: содда, трубалараро бўшлиқда юқори босимларни қўллаш мумкин ва қарама - қарши йўналишли қобиқ - трубали қурилмага ўхшаб ишлайди.

Камчиликлари: оддий қобиқ трубали иссиқлик алмашиниш қурилмасига нисбатан ўлчами катта ва нархи қиммат.

Қобиқ - трубали иссиқлик алмашиниш қурилмалари суюқлик ва конденсацияланаётган буғ орасида иссиқлик алмашиниш учун қўлланилади. Одатда суюқ фаза трубалар ичига йўналтирилади, буғ эса - трубалараро бўшлиқда.

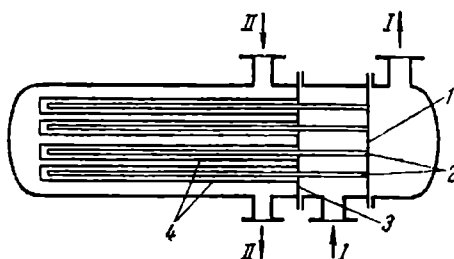
Қобиқ - трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг афзалликлари: ихчам, металл сарфи кам, U-симон трубали қурилмадан ташқари ҳамма қурилмалардаги трубалар ичини тозалаш нисбатан осон.

Камчиликлари: иссиқлик элткичлар тезлигини ошириш мураккаб (кўп йўлли қурилмалардан ташқари); трубалараро бўшлиқни тозалаш қийин; трубалараро бўшлиқни кузатиш ва таъмирлаш учун имкониятлар чегарланган; развальцовка ва пайвандлашга мойил бўлмаган материаллардан, бу турдаги қурилмаларни ясаш мураккаб.

уларнинг тешикли панжара билан зичланишининг бузилиши олдини олиш имкониятини беради. Лекин шунини қайд қилиш керакки, температура таъсирида узайишини компенсация қилиш, қурилмани мураккаблаштириш ва оғирлаштириш ҳисобига эришилади.

Қўшалок трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Қурилманинг бир томонида иккита тешикли труба панжараси ўрнатилган бўлади (4.26-рasm).

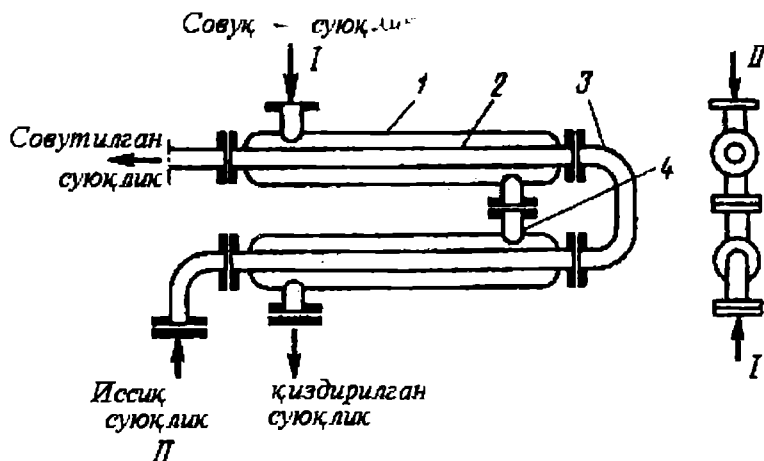
Тешикли панжара 1 да кичик диаметрли иккала учи очик трубалар ўрами 2 маҳкамланса, панжара 3 да эса, катта диаметрли чап учи ёпиқ трубалар маҳкамланади. Ички труба ташқи труба нинг ўртасида жойлаштириш шарт. Муҳитлардан бири I қурилманинг ички 2 ва ташқи 4 трубалари ҳосил қилган ҳалқасимон бўшлиқ орқали ҳаракатланиб, труба 2 орқали трубалараро бўшлиқдан чиқариб юборилади. Иккинчи



4.26-рasm. Қўшалок трубали қобиқ - трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаси.
1, 3 - тешикли панжара; 2 - ички труба; 4 - ташқи труба.

"Труба ичида труба" типидagi иссиқлик алмашиниш қурилмаси бир неча элементлардан таркиб топган бўлади (4.27-расм).

Ҳар бир элемент катта диаметрли ташқи труба 1 (одатда 25...159 мм) ва концентрик жойлаштирилган ички труба 2 (одатда 57...219 мм) лардан ташкил топган. Совуқлик элткич I труба ичида ҳаракатланса, иссиқлик элткич II трубалараро бўшлиқда ҳаракатланади. Иссиқлик алмашиниш ички трубанинг девори орқали амалга ошади.



4.27-расм. "Труба ичида труба" типидagi ажралмас, бир оқимли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1 – ташқи труба; 2 – ички труба; 3 – калач; 4 – патрубкa.
I, II – иссиқлик элткичлар.

Ушбу қурилмаларнинг труба ва трубалараро бўшлиғида юқори тезликларга (3,0 м/с гача) эришса бўлади. Агар, катта юзалар зарур бўлса, бир неча секциялардан батарея ҳосил қилиш осон ва мумкин.

Бу турдаги қурилмаларда сууюқликлар сарфи катта ва «сууюқлик – сууюқлик», «сууюқлик – буғ» системаларида иссиқлик алмашиниш учун қўлланилади.

"Труба ичида труба" иссиқлик алмашиниш қурилманинг афзалликлари: тузилиши ва ясаилиши содда; сууюқликлар тезликлари катта бўлгани учун иссиқлик ўтказиш коэффициентлари юқори.

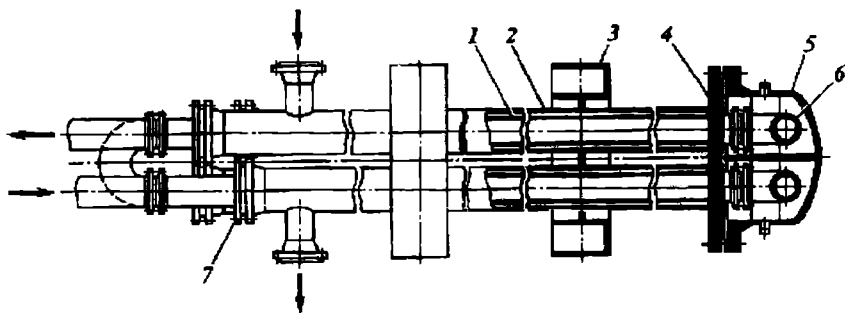
Камчиликлари: қўпол; металл сарфи кўп, трубалараро бўшлиқни тозалаш қийин.

Ажралувчан конструкцияли «труба ичида труба» типидagi иссиқлик алмашиниш қурилмаларида, температура ортиши билан ташқи трубаларга боғлиқ бўлмаган ҳолда, ички трубалар узайиши мумкин (4.27а,в-расм). Қурилманинг конструкцияси иссиқлик алмашиниш трубаларининг ички юзасини ифлослик ва қуйқалардан мунтазам равишда механик тозалаб туриш имконини беради. Ундан ташқари, бу қурилмаларда трубаларни алмаштириш жараёнини амалга ошириш учун уларни ечиб олиш осон ва ташқи юзасини тозалаш мумкин.

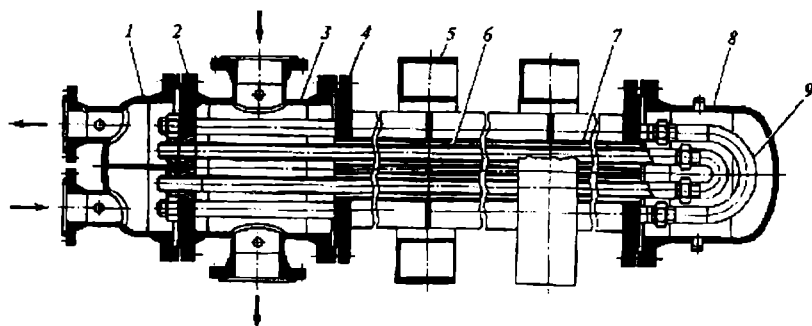
Кўп оқимли иссиқлик алмашиниш қурилмаларидаги (4.27 б-расм) тақсимлаш камераси 1 оқимларни труба 6 ларга бўлиб беради. Труба-қобик 4 ва труба 2 ларнинг тешикли панжараси орасида тақсимлаш камераси 3 жойлашган. Ушбу камера трубалараро бўшлиқда ҳаракатланаётган муҳит учун мўлжалланган. Кўп оқимли қурилмаларнинг ички ва ташқи трубалари иккита йўлли бўлади.

Бу турдаги қурилмаларда оқимларнинг ҳаракат тезлиги қобиқ-трубали қурилмаларникига қараганда анча юқори. Шу сабабли иссиқлик ўтказиш коэффиценти ва труба юзасининг иссиқлик кучланиши катта бўлади. Ундан ташқари, иссиқлик алмашинувчи муҳитларни қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилишини ташкил этиш осон.

Бир ва кўп оқимли қурилмаларнинг трубаларида иссиқлик элткичлар таркибидаги агрессив ва механик ифлосликлар камроқ ўтириб қолади. Кўпчилик ҳолларда, «труба ичида труба» қурилмаларининг иссиқлик кўрсаткичлари қобиқ-трубали қурилмаларникига қараганда анча юқори бўлади.



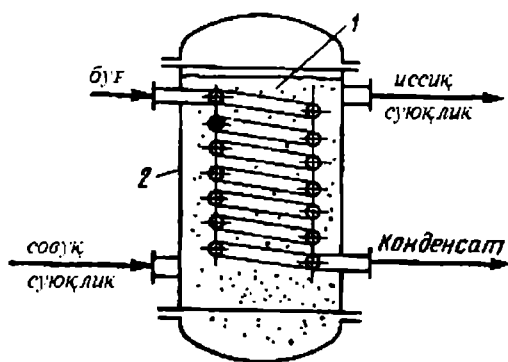
4.27а-расм. «Труба ичида труба» типда ажралувчан, бир оқимли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.
1-иссиқлик алмашиниш трубаси; 2-труба-қобиқ;
3-таянч; 4-қобиқ-труба тешикли панжараси;
5-бурилиш камераси; 6-қўшалоқ труба;



4.27б-расм. «Труба ичида труба» типдаги ажралувчан, кўп оқимли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.
1-биринчи тақсимлаш камераси; 2-трубалар тешикли панжараси; 3-иккинчи тақсимлаш камераси; 4-труба-қобиқ тешикли панжараси; 5-таянч; 6-иссиқлик алмашиниш трубаси; 7-труба-қобиқ; 8-бурилиш камераси; 9-қўшалоқ труба.

Айрим ҳолларда, қурилманинг ички трубаларнинг ташқи юзаси қиррали қилиб ясалади. Натижада, иссиқлик алмашиниш юзаси 4...5 маротаба ортади. Одатда бу усулдан трубанинг бирорта муҳит ҳаракатланаётган томонида иссиқлик бериш коэффиценти ошириш қийин бўлганда (газ, қовушоқ суюқлик ҳаракатида ёки ламинар режимда) фойдаланилади. Бундай ҳолларда, қиррали трубаларни қўллаш, узатилаётган иссиқлик миқдорини анчага ошириш имконини беради.

Змеевикли иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Змеевик шаклида эгилган труба цилиндрик қобикли идишга ўрнатилган бўлади (4.28-расм). Цилиндрик қобикли идиш 2 иситилиши зарур бўлган суяқлик билан тўлдирилади.



4.28-расм. Змеевикли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.
1 - змеевик; 2 - қобик.

суяқликларни иситиш ҳам мумкин; иситиш юзаси $10...15 \text{ м}^2$; суяқлик ҳажми катталиги учун ишчи режимлар ўзгариши жараёнга сезиларли таъсир этмайди.

Ушбу турдаги қурилманинг камчиликлари: суяқликнинг тезлиги ва иссиқлик бериш коэффициенти кичик; труба ички деворини тозалаш қийин; $l/d \geq 200...275$ бўлса, змеевик пастида конденсат йиғилади, иссиқлик алмашиниш ёмонлашади ва гидравлик қаршилик ортиб кетади.

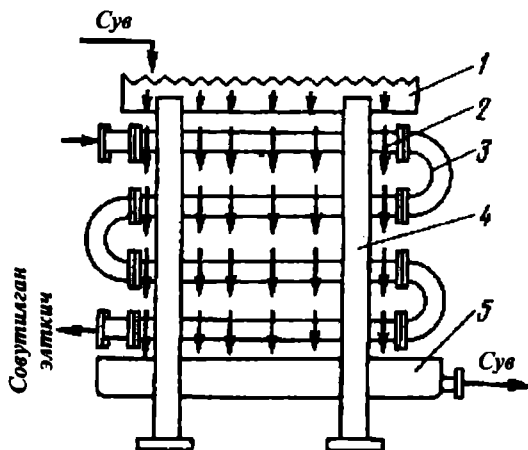
Ювилиб турувчи иссиқлик алмашиниш қурилмаси газ, суяқликларни совутиш ва буғларни конденсациялаш учун қўлланилади (4.29-расм).

Бу қурилма бир-бири устига жойлаштирилган труба 2 ва уларни бирлаштирувчи калач 3 лардан иборат. Трубалар ичидан совутилаётган иссиқлик элткич ҳаракатланади. Совутувчи сув четлари тишли тақсимловчи тарнов 1 га қуюлади ва ундан трубалар 2 га оқиб тушади. Сувнинг бир қисми труба юзасидан буғланиб кетади.

Сув бир трубани ювиб иккинчисига, ундан сўнг учинчисига ва ҳоказо тартибда ҳаракатланиб, охири исиган ҳолда йиғувчи тарновга оқиб тушади.

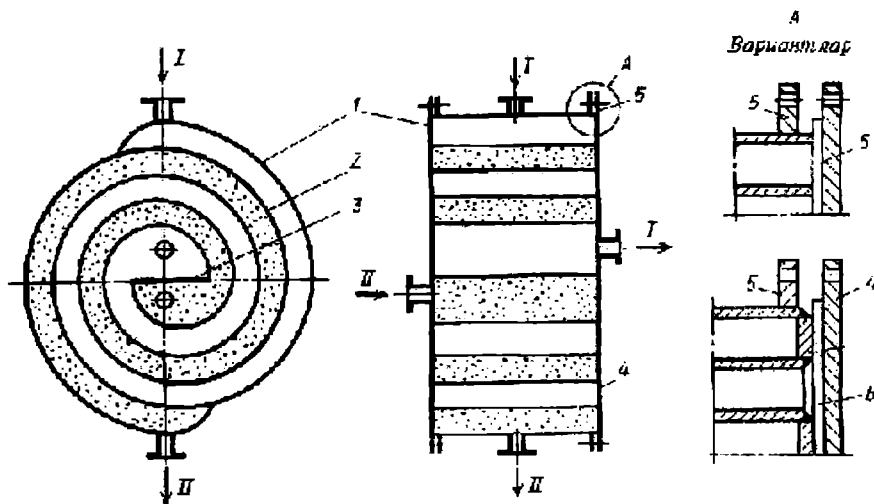
Ювилиб турувчи иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг афзалликлари: тузилиши содда; очик ҳавода ишлаши мумкин; сув сарфи кам; трубаларни тозалаш осон.

Ушбу қурилманинг камчиликлари: қўпол; иссиқлик ўтказиш коэффициенти кичик; металл сарфи кўп.



4.29-расм. Ювилиб турувчи иссиқлик алмашиниш қурилмаси.
1 — тақсимловчи тарнов; 2 - труба; 3 - калач; 4 - таянч; 5 - йиғувчи тарнов.

Спиралсимон иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Бу қурилмаларда иссиқлик алмашиниш юзаси иккита юпқа металл лист 1 ва 2 ларни спирал бўйлаб ўраш натижасида ҳосил бўлади (4.30-расм). Спиралларнинг ички учлари пластина— тўсиқ 3 ёрдамида бирлаштирилган.



4.30-расм. Спиралсимон иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1,2- металл листлар; 3- пластина-тўсиқ; 4- қопқоқлар;
5- фланец; 6- қистирма; 7- ораликни белгилловчи бўлакча.
I ва II- иссиқлик элткичлар.

Каналлар ён томони қистирма ва текис қопқоқ ёрдамида зичлаб ёпилган. Натижада бир - бирдан ажраб турувчи каналлар ҳосил бўлади ва уларда қарама қарши йўналишда суюқликлар ҳаракатлантирилади. Каналларнинг эни металл лист эни билан белгиланади. Баландлиги эса ораликни белгилловчи бўлакча 7 нинг ўлчами билан аниқланади. Текис қопқоқ 4 лар фланец 5 га болтлар ёрдамида маҳкамланади.

Иссиқлик элткичлар кириши ва чиқиши учун текис қопқоқларнинг марказида ва спиралнинг ташқи учларида штуцерлар ўрнатилади.

Бу қурилма суюқлик ва газлар орасида иссиқлик алмашиниш учун ишлатилади. Агар, иссиқлик элткич таркибида қаттиқ заррачалар бўлган тақдирда ҳам ушбу қурилмалардан фойдаланиш мумкин, чунки тўғри тўртбурчак шакллаги каналга тиқилиб қолмайди.

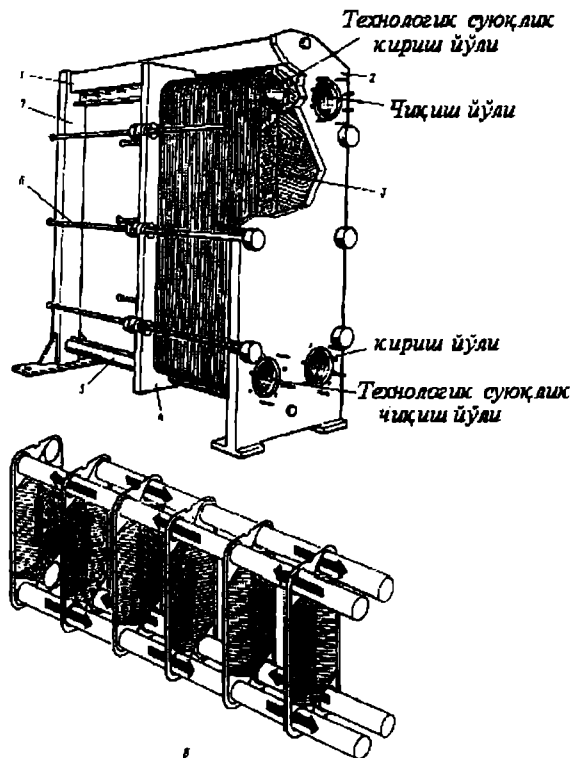
Спиралсимон иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг афзалликлари: тузилиши ихчам; гидравлик қаршилиги нисбатан кичик; суюқликлар тезлиги юқори (1...2 м/с); иссиқлик ўтказиш коэффициенти катта; кам жой эгаллайди.

Ушбу қурилма камчиликлари: яшаш, таъмирлаш ва тозалаш қийин; юқори босим ($\geq 1,0$ МПа) да ишлатиш мумкин эмас, чунки бу босимларда зичланишни таъминлаш қийин.

Пластинали иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Юпқа металл листлардан тайёрланган бир неча пластина тепа ва пастки тутиб турувчи бруслардан иборат ромда йиғилади (4.31-расм).

Қўзғалмас ва ҳаракатчан плиталар орасида штамповка қилинган пўлат, гофриланган пластина дастаси жойлашган бўлиб, уларда иссиқлик элткичлар ҳаракати учун каналлар бор.

Пластина дастаси қўзғалмас 2 ва ҳаракатчан плиталар 4 орасида йиғилади ва тортиб турувчи шпилька 6 ёрдамида сиқилади.



4.31-расм. Пластинали иситкич (а) ва унинг ишлаш принципи (б):

1-тепа тутиб турувчи брус; 2-қўзғалмас плита;
3-пластина; 4-ҳаракатчан плита; 5-пастки тутиб турувчи брус; 6-йўналтирувчи ва тортиб турувчи шпилька; 7-таянч.

Пластиналарни зичлаш юқори босимга бардош бера оладиган қистирмалар ёрдамида амалга оширилади. Пластиналар орасидаги каналлар эни 3...6 мм бўлади.

Пластинали иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг ишлаш принципи 4.31б-расмда кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, суюқликларнинг ҳаракати қарама - қарши йўналишда. Шунини қайд этиш керакки, ҳар бир иссиқлик элткич пластинанинг бир томони бўйлаб ҳаракат қилади.

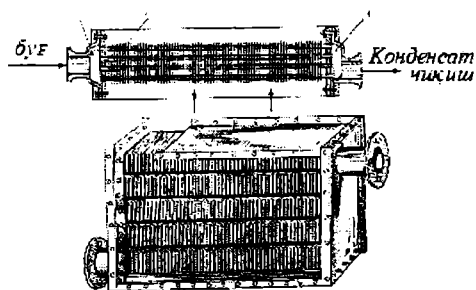
Бу турдаги қурилмалар иситкич, совуткич сифатида, ҳамда пастеризация, стерилизация қилиш учун, ҳам қўллаш мумкин.

Пластиналар орасидаги каналларда суюқлик тезликлари юқори бўлгани учун иссиқлик ўтказиш коэффиценти $K \leq 3800 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ гача эришиш мумкин. Ундан ташқари, бундай юқори иссиқлик ўтказиш коэффицентларни олишга сабабчи бўлган омиллардан бири, гофриланган пластина юзасининг суюқлик оқими турбулизация қилиши ва деворнинг кичик термик қаршилигидир.

Пластинали иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг афзалликлари: иссиқлик ўтказиш коэффиценти катта; гидравлик қаршилиги нисбатан кичик; тузилиши ихчам; суюқликлар тезлиги юқори; иссиқлик алмашилиш юзаси катта.

Бу турдаги қурилмалар камчиликлари: катта босимга бардош беролмайди; тайёрлаш қийин; суёқлик таркибидаги қаттиқ заррачалар каналларни ёпиб қўйиш эҳтимоли бор.

Қиррали иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Бу турдаги қурилмаларда иссиқлик бериш коэффициентлари паст муҳит томонидаги, иссиқлик ўтказиш юзасини қўпайтириш имконияти бор (4.32-расм).

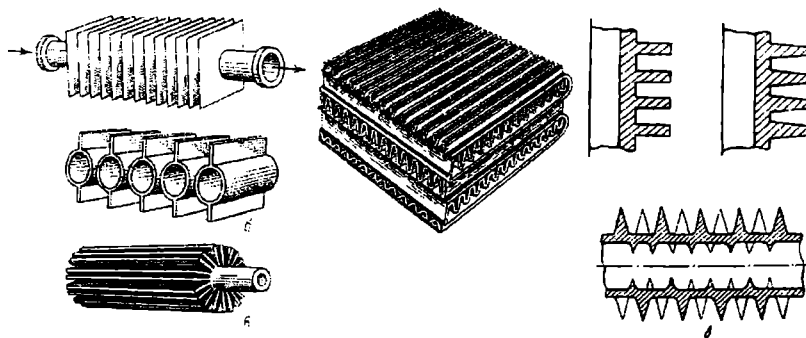


4.32-расм. Пластиналы калорифер.

1 - қўти; 2 - қовурға.

металл шайбалар пайвандланади. Трубади иссиқлик алмашиниш қурилмаларида қўндаланг ёки бўйлама қобурғалар қўлланиши мумкин. Натижада, бу турдаги трубади ўрнатилган қурилманинг иссиқлик юкламаси ортади. Маълумки, қиррали трубади ясададиган материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари юқори бўлиши керак.

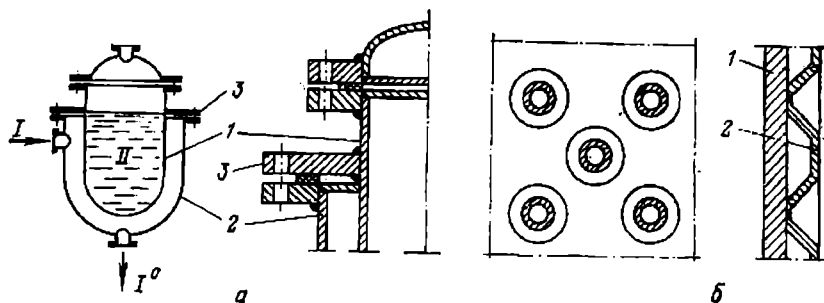
Бундай трубадианинг гидравлик қаршилиги кичик бўлиши учун қирралар юзаси иссиқлик элткич оқимининг йўналишига параллел бўлиши зарур. Ҳозирги кунда тўғри тўртбурчак ва трапеция шаклидаги қўндаланг кесимли қирралар энг қўп қўлланилади. (4.33-расм) Қиррали иссиқлик алмашиниш юзали элементлар ҳаво ва турли газларни иситадиган иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ўрнатилади.



4.33-расм. Қиррали иссиқлик алмашиниш юзалари.

а - тўғри тўртбурчак қиррали; б - трапеция шаклидаги қиррали; в - қўндаланг қирра; г - бўйлама, қиррали "юзгич"; д - бўйлама, қиррали; е - гофриланган қиррали; ж - учбурчак шаклидаги, қиррали.

Ғилофли иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Бундай қурилмаларда иссиқлик алмашиниш жараёнлари (иситиш ёки совитиш) билан кимёвий жараён бир вақтда юз беради. Ғилофли қурилма тасвири 4.34-расмда келтирилган.



4.34-расм. Ғилофли иссиқлик алмашиниш қурилмалари

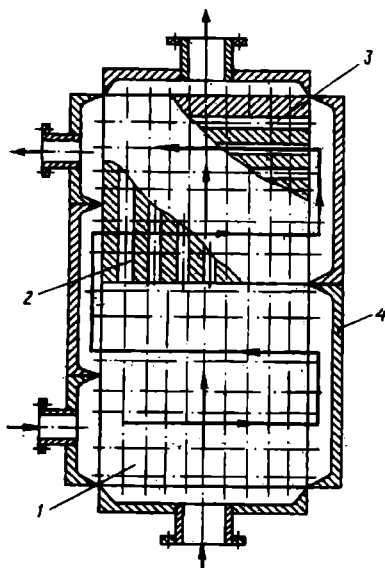
а - паст босимлар учун; б - юқори босимлар учун;

1 - қобиқ; 2 - ғилоф; 3 - фланецли бирикма;

I, I°, II - иссиқлик элткичлар.

Бундай қурилмаларда иссиқлик алмашиниш юзаси сифатида реактор девори хизмат қилади. Фланец бирикма 3 ёрдамида қобиқ 1 га ғилоф 2 маҳкамланади. Қобиқ ва ғилоф орасидаги бўшлиқда иссиқлик элткич I циркуляция қилади. Қурилманинг ичида эса, элткич II жойлаштирилади. Бу турдаги қурилмаларнинг иссиқлик алмашиниш юзаси $\leq 10 \text{ м}^2$ ва ғилофдаги босим 1,0 МПа дан ошмайди.

Агар, босим 7,5 МПа дан ортса, ғилофда кўп миқдорда тешиқлар қилинади ва ғилоф листининг четлари периметри бўйича букланади ва қурилма қобиғига пайвандланади (4.34 б-расм).



4.35-расм. Блок-графитли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1 - графитли блок; 2 - вертикал каналлар; 3 - горизонтал каналлар; 4 - қобиқ.

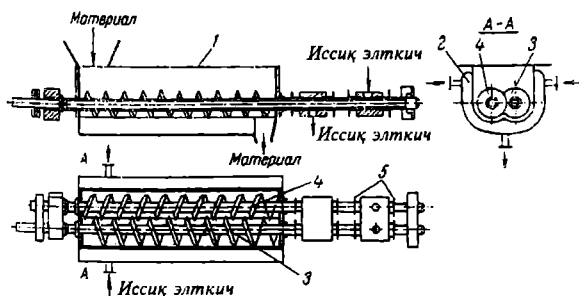
Блок-графитли иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Блок-графитли иситкичларда графитнинг юқори иссиқлик ўтказувчанлиги [100 Вт/(м·К) гача] ва суюқлик таъсирида емирилмаслиги туфайли графитли иссиқлик алмашиниш қурилмалари саноатнинг барча соҳаларида ишлатиладиган иситкичларга нисбатан кенг тарқалган бўлиб, унинг афзалликларини ҳеч қандай иситкич билан солиштириб бўлмайди.

Бу турдаги иссиқлик алмашиниш қурилмалар асосий элементи параллелепипед шаклидаги графитли блокдир. Унда иссиқлик элткичлар учун бири бири билан кесишмайдиган тешиқлар ясалган (4.35-расм). Қурилма бир ёки бир неча тўғри тўртбурчакли блокдан йиғилади.

Ён томондаги металл плиталар ёрдамида ҳар бир блокда иссиқлик элткичининг икки йўлли горизонтал каналларда ҳаракати ташкил этилади. Ўлчами $350 \times 515 \times 350$ мм³ бўлган блоклардан йигилган иссиқлик алмашиниш қурилмасининг вертикал каналлари бўйича элткич бир ёки икки йўлли ҳаракат қилиши мумкин. Вертикал йўлларнинг сони қурилманинг пастки ва юқори қопқоқларининг конструкциясига боғлиқдир. Графитли иссиқлик алмашиниш қурилмасининг ишчи босимининг қиймати $2,9 \cdot 10^5$ Па дан ошмаслиги керак.

Блок-графитли қурилмаларни муҳитлардан бири коррозия-фаол бўлган ҳолларда ишлатиш мумкин. Агарда иккала муҳит ҳам коррозия-фаол бўлса, унда ён томондаги плиталар махсус графит вклатишлар билан ҳимоя қилинади.

Шнекли иссиқлик алмашиниш қурилмаси. Юқори қовушоқли суяқлик ва иссиқлик ўтказувчанлиги кичик бўлган сочилувчан материалларни иситиш даврида, жараёни интенсивлаш учун қурилма деворига тегиб турган муҳит юзасини доимий равишда янгилаб туриш керак. Бунинг учун, бир пайтнинг ўзида шнек ёрдамида материални механик аралаштириш ва узатиб туриш мақсадга мувофиқдир (4.36-расм).



4.36-расм. Шнекли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1 - қобик; 2 - филоф; 3, 4 - шнеklar;
5 - ичи бўш ўқларнинг сальники.

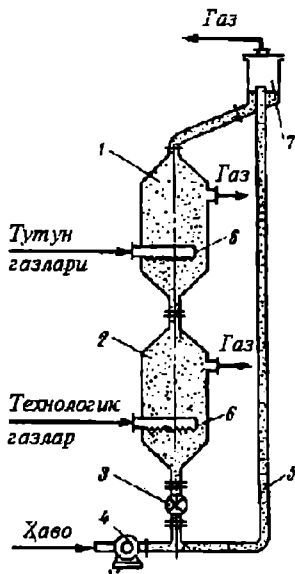
Қурилма қобиғининг бир учидан материал юкланади ва бирига қараб айланаётган 3 ва 4 шнеklar ёрдамида аралаштирилади. Аралаштириш билан бирга материални қурилманинг бошқа учига узатади. Айрим ҳолларда, иссиқлик алмашиниш жараёнини интенсивлаш учун шнекнинг ичи бўш қилиб тайёрланади ва улар орқали иссиқлик элткич (буғ ёки иссиқ ҳаво) юборилади

4.11.2. Регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмалари

Регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмалари иккита секциядан ташкил топган бўлади. Биринчисида иссиқлик элткичдан оралиқ материалга иссиқлик узатилса, иккинчисида эса — оралиқ материалдан технологик газга узатилади. 4.37-расмда циркуляцион ҳаракатлантирувчи донатор қатламли узлуксиз ишлайдиган регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмаси келтирилган.

Қурилма асосан иккита иситкичдан тузилган бўлиб, ҳар бир иситкичнинг пастки қисмида газ оқими бир меъёрга узатиш учун тақсимлагич 6 ўрнатилган. Иситкичдан донатор материални узлуксиз равишда тўкиш учун шлюзли тамба 3 хизмат қилади.

Иккинчи иситкичдан чиқаётган совутилган донатор материал пневмотранспорт линиясига тўкилади. Ундан сўнг, ҳаво ёрдамида бункер - сепараторга узатилади ва у ерда заррачалар чўктирилади ва яна қайтадан биринчи иситкичга юборилади.



4.37-расм. Циркуляцион ҳаракатланувчи донадор қатламли қурилма.
1,2 – иссиқлик алмашиниш қурилмаси; 3 – шлюзли тамба;
4 – газодувка; 5 – пневмотранспорт линияси; 6 – газ тақсимлагич; 7 – сепаратор.

4.11.3. Аралаштирувчи иссиқлик алмашиниш қурилмалари

Бир хил йўлли, ҳўл конденсатор бугни сув ёрдамида конденсациялаш учун мўлжалланган (4.38-расм). Конденсаторга совутувчи сув соплго орқали киритилади. Сувни пуркаш натижасида сув ва буг орасидаги иссиқлик алмашиниш юзаси сезиларли даражада ошади. Бугни сув билан ўзаро таъсири, бугни конденсацияланишига олиб келади. Конденсатор ичидан конденсат, сув ва конденсацияланмаган газлар махсус насос ёрдамида сўриб олинади.

Жараённинг моддий баланси қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$Di + Wc_c t_{cб} = (D + W) c_c \cdot t_{cox}$$

бундан:

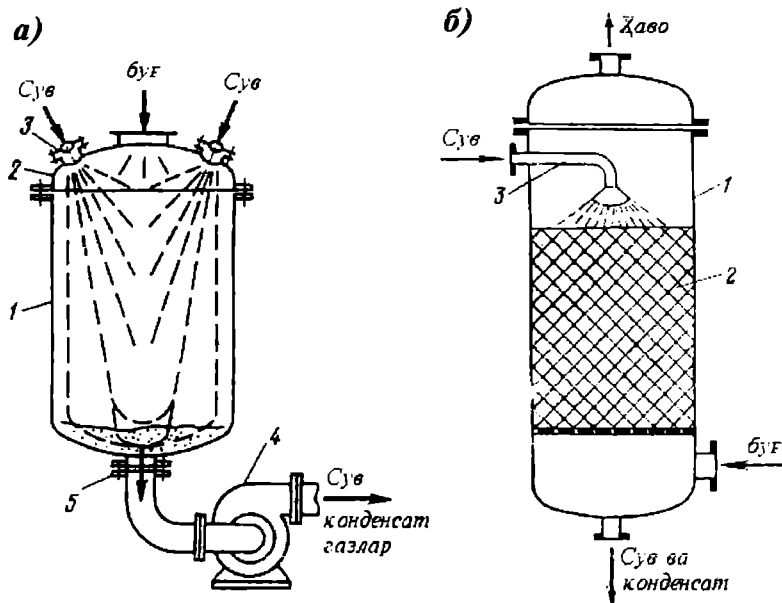
$$W = \frac{D \cdot (i - c_c t_{cox})}{c_c (t_{cox} - t_{cб})} \quad (4.139)$$

бу ерда D - конденсацияланаётган буг массавий сарфи, кг/соат; i – конденсацияланаётган буг энтальпияси, кЖ/кг; W – совутувчи сув массавий сарфи, кг/соат; c - сувнинг иссиқлик сизими, кЖ/(кг·К); $t_{cб}$ ва t_{cox} - сувнинг бошланғич ва охири температуралари, °С.

Аралаштирувчи конденсатордан сўриб олинаётган ҳавонинг массавий сарфи (кг/соат):

$$G_c = 25 \cdot 10^6 (D + W) + 0,01 \cdot D \quad (4.140)$$

Ҳавонинг температураси конденсатордан чиқаётган совутувчи сувнинг температурасига тенг деб қабул қилинади, яъни $t_{хаво} = t_{cox}$.



4.38-расм. Бир хил йўлли ҳўл (а) ва насадкали (б) конденсатор.

а) 1-қобик; 2-қопқоқ; 3-пурковчи сопло; 4-маҳсус насос; 5-штуцер. б) 1-қобик; 2-насадка; 3-сув пуркагич.

Қарама қарши йўлли қуруқ конденсаторда буғ ва совутувчи сувнинг ўзаро таъсири қарама - қарши йўналишда ўтади (4.39-расм).

Совутувчи сув конденсаторнинг юқори қисмидаги тешикли тарелкаси 2 га юборилса, буғ эса пастдаги тарелка остига. Сув тарелкадан тарелкага тепиклари ва четидан ингичка оқимча кўринишида оқиб ўтади. Сув билан суюқликнинг ўзаро таъсири конденсаторнинг тарелкалараро бўшлиғида юз беради. Ҳосил бўлган конденсат барометрик труба 3 орқали совутувчи сув билан йингич 4 га туширилади.

Ҳаво эса, ушлагич орқали вакуум насос ёрдамида сўриб олинади. Шунинг учун ҳам бу турдаги конденсаторларни **барометрик конденсатор** деб аталади.

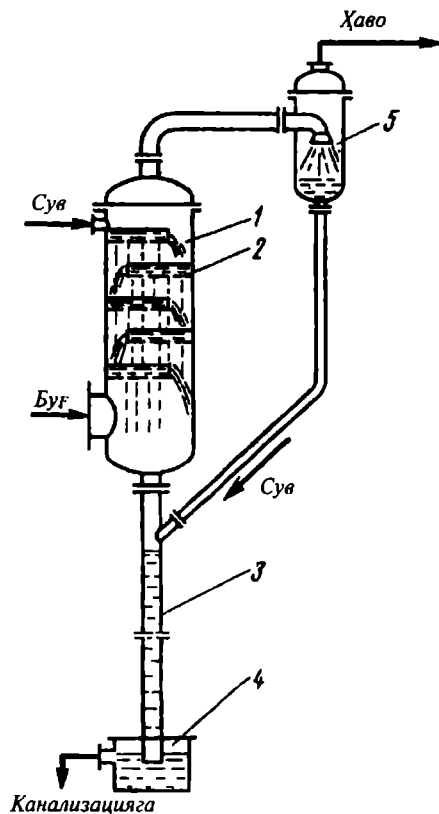
Барометрик конденсаторда конденсациялаш жараёни вакуум остида олиб борилади. Қурилмадаги абсолют босим 0,01...0,02 МПа бўлади.

Атмосфера ва барометрик конденсаторларда босимлар фарқини тенг ҳолатда ушлаб туриш барометрик труба 3 даги суюқлик устунини h_3 хизмат қилади.

Барометрик трубанинг баландлиги ушбу ифодадан аниқланади:

$$H_{Tp} = h_3 + h_d + 0,5 \quad (4.141)$$

бу ерда $h_3 = 103,3 \cdot B$ (В - конденсатордаги вакуум, МПа); h_d - динамик напор ҳосил қилиш учун зарур суюқлик устунининг баландлиги, $h_d = (w^2/2g)(2,5 + \lambda \cdot H_{mp}/d)$; w - трубадаги суюқлик тезлиги, $w = 1...2$ м/с; λ - гидравлик қаршилик коэффиценти; d - труба диаметри, $d = \sqrt{[0,004(D + W)] / 3600\pi w}$ м; D ва W конденсаторга кираётган буғ ва сувнинг массавий сарфлари, кг/соат; 0,5 - буғ кираётган штуцерни сув билан тўлиб кетмаслиги олдини олувчи баландлик, м.



4.39-рasm. Барометрик конденсатор.

1 - қобик; 2 - тарелка; 3 - барометрик труба;
4 - йиғгич; 5-ушлагич.

Барометрик конденсатор ұлчамлари барометрик труба диаметрига боғлиқ бўлиб, ёрдамчи жадвал ва адабиётлардан аниқланади.

Вакуум насосни танлаш учун сув ва буғ таркибидаги ҳаво, ҳамда фланецли бирикмалар ёрдамида орасидан сўрилайтган ҳаво миқдорини билиш зарур.

Ҳавонинг сарфи (4.140) тенгламадан ҳисоблаб топилади, температураси эса ушбу ифодадан:

$$t_{\text{хаво}} = t_{\text{сб}} + 0,1 \cdot (t_{\text{сох}} - t_{\text{сб}}) + 4 \quad (4.142)$$

4.12. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларини танлаш

Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг конструкциясини танлашда қуйидагиларни инобатга олиш керак: қурилма технологик жараёнга мос бўлиши зарур; юқори самарали, тежамкор ва ишлаш пайтида ишончли, ҳамда металл сарфи кам бўлиши зарур; ишчи муҳитларда қурилма материали емирилишга бардошли бўлиш керак.

Иссиқлик элткичлар қурилма орқали катта тезликда ўтса, иссиқлик ўтказиш коэффициентининг юқори қийматларига эришса бўлади. Бундай юқори қийматларни олиш учун иссиқлик алмашиниш юзаси тоза бўлиши керак.

Агар, суюқликлар бирортасининг тезлиги оширилса, иккинчи суюқлик томонидаги иссиқлик бериш коэффициентини кўпаяди. Лекин, иссиқлик ўтказиш коэффициентининг сезиларли даражада кўпайиши учун девор ва ундаги ифлосликларнинг термик қаршилиги кичик бўлиши керак. Масалан, агар трубалараро бўшлиқдаги иссиқлик бериш коэффициенти трубалар бўшлиғиникидан жуда паст бўлса, трубалар ичида оқётган суюқлик тезлигининг ўсиши иссиқлик ўтказиш коэффициентига унча таъсир қилмайди. Бу ҳолда трубалараро бўшлиқдаги иссиқлик бериш коэффициентини ошириш зарур, яъни у ерга сегмент тўсиқлар ўрнатиш мақсадга мувофиқдир.

Қайси муҳитни труба ичига, қайси бирини трубалараро бўшлиққа йўналтириш муаммосини ҳал этишда қуйидаги қоидаларга амал қилиш керак:

юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эришиш учун иссиқлик бериш коэффициенти кичик бўлган муҳитни труба ичига йўналтириш зарур;

кимёвий фаол, коррозия муҳитларни труба ичига юбориш зарур, чунки бунда фақат труба, тешикли панжара ва қопқоқлар тегишли легирланган металлдан ясалади, яъни қобиқ, сегмент тўсиқ ва бошқалар оддий, углеродли пўлатдан тайёрланиши мумкин;

атроф муҳитга иссиқлик йўқотилишини камайтириш учун температураси юқори муҳитни труба ичига юбориш мақсадга мувофиқдир;

- чўкма ҳосил қиладиган муҳитларни трубалар юзаси осон тозаланадиган бўшлиққа йўналтириш тавсия этилади;

босими юқори бўлган муҳитни труба ичига йўналтириш зарур, чунки қобиқдан кўра трубалар босимни яхши ушлайди.

Иссиқлик алмашиниш қурилмасининг конструкцияси техник-иқтисодий ҳисоблашлар асосида танланади. Бунда, тайёрлаш учун кетган асосий (капитал) ва йиллик эксплуатацион сарфлар таққосланади. Айрим ҳолларда, эксплуатацион сарфлар тежалиши ҳисобига сарфлар тез қопланса, асосий сарфларни кўпайтириш ҳам мумкин.

Технологик жараёнлар учун иссиқлик алмашиниш қурилмаси лойиҳаланаётганида, ҳисоблашнинг асосий мақсади, қурилманинг иссиқлик алмашиниш юзаси ва габарит ўлчамларини аниқлашдир.

Ҳисоблаш, биринчи навбатда қурилманинг иссиқлик балансини тузишдан бошланади. Сўнг, иссиқлик балансидан узатилган иссиқлик миқдори топилади. Масалан, сув буғи ёрдамида бирор муҳит t_6 дан t_{ax} температурагача иситилаётган бўлса, иссиқлик баланс ушбу кўринишда ёзилади (4.40-расм).

$$Gct_6 + Di'' = Gct_{ax} + Di' + Q_{uyk} \quad (4.143)$$

$$Q = Gc(t_{ax} - t_6) + Q_{uyk} = D(i'' - i') + Q_{uyk} \quad (4.144)$$

бу ерда $D=Q/(i'' - i')$ - иситувчи буғ сарфи.

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти ушбу формуладан ҳисобланади:

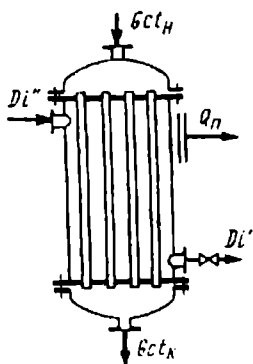
$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

бу ерда α_1 ва α_2 иссиқлик бериш коэффициентлари 4 - бобдаги тегишли критериял тенгламалардан аниқланади.

Жараёни ўртача ҳаракатга келтирувчи кучи қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$\Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2}$$

$$\text{ёки } \Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$$



Иссиқлик алмашиниш юзаси иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{yp}} \quad (4.145)$$

Иситкичдаги трубалар сонини эса, ушбу тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$n = \frac{4 \cdot F}{\pi d_T^2 l} \quad (4.146)$$

4.40-расм. Моддий баланс тузишга оид.

бу ерда d_T - трубалар ташқи диаметри, м; l - труба узунлиги, м.

Тешикли панжарада трубалар жойлаштирини ушбу бобда кўриб чиқилган усуллардан бирида амалга оширилади.

Қобик - трубаи иссиқлик алмашиниш қурилмасининг диаметрини ушбу формулада ҳисоблаб топиш мумкин:

$$D = (1,3 \dots 1,5) \cdot (b-1) \cdot d_T + 4d_T \quad (4.147)$$

Иссиқлик алмашиниш қурилмасининг гидравлик қаршилиги Дарси Вейсбах формуласидан топилади:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (4.148)$$

бу ерда λ - гидравлик қаршилиқ коэффициенти; l - труба узунлиги, м; d - труба диаметри, м; $\sum \xi$ - маҳаллий қаршилиқ коэффициентларининг йиғиндиси; w - муҳит тезлиги, м/с; ρ - муҳит зичлиги, кг/м³.

Иситкичнинг технологик жараён учун яроқлигини билиш учун текширув ҳисоблаши ўтказилади. Бунинг учун қуйидаги бошланғич маълумотлар зарур:

F - иссиқлик алмашиниш юзаси; Q - иссиқлик юклама; муҳитларнинг қурилмага кириш ва чиқишдаги температуралари; w - муҳит тезлиги ва муҳитлар физик параметрлари.

Ҳисоблаш даврида қуйидагилар аниқланади:

берилган иссиқлик юклама ва ҳақиқий иссиқлик алмашиниш шароитларидаги термик қаршилиқ; зарур бўлган ўртача температуралар фарқи Δt_3 ; мавжуд ўртача температуралар фарқи Δt_m ; қурилманинг иш унумдорлик заҳираси.

Температураларнинг ўртача фарқи ушбу формуладан топиш мумкин:

$$\Delta t_3 = \frac{Q}{K F} \quad (4.149)$$

Мавжуд ўртача температуралар фарқи (4.108) формуладан аниқланади.

Мавжуд ўртача температуралар фарқининг зарур ўртача температуралар фарқига нисбати иситкичнинг иш унумдорлик заҳираси деб аталади:

$$\chi = \frac{\Delta t_{\text{с}}}{\Delta t_{\text{г}}} \quad (4.150)$$

Зарур ўртача температуралар фарқи иссиқлик алмашилиш қурилмасининг ўртача эксплуатацион ишлаш шароитлари ва иссиқлик алмашилиш юзасидан фойдаланиш коэффициентини ҳисобга олган ҳолда аниқланади.

4.13. Иссиқлик алмашилиш жараёнларини интенсивлаш

Халқ ҳўжалиги турли соҳаларининг жадал суръатлар билан ривожланиши иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг кенг миқёсда қўлланиши ва уларга қўйиладиган талабларни ортиши билан характерланади. Шу билан бирга бу турдаги қурилмаларнинг габарит ўлчамлари ва массасини камайтириш энг долзарб муаммо бўлиб ҳисобланади. Ундан ташқари, айрим ҳолларда температуралар фарқини ва девор температурасини пасайтириш зарур бўлади.

Худди шундай муаммолар иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ишлатадиган кимё, озиқ - овқат, энергетика, нефть, металлургия ва бошқа саноат корхоналари олдида турибди.

Юқорида қайд этилган муаммоларни ҳал этиш йўли - бу каналларда иссиқлик алмашилиш жараёнини интенсивлашдир.

Интенсивлаш усулини танлаш бир қатор шартлар билан белгиланади. Улардан энг асосийлари:

1. Иссиқлик алмашилиш қурилмасининг габарит ўлчамлари ва массасини камайтириш;

2. Иссиқлик алмашилиш жараёнини интенсивлаш учун рухсат этилган энергетик сарфлар ва уни амалга ошириш учун бор энергия тури;

3. Иссиқлик бериш интенсивланадиган оқимнинг гидродинамик таркиби. Иссиқлик оқими зичлигининг тақсимланиш ёки иссиқлик элткичда температуралар майдони;

4. Иссиқлик алмашилиш қурилмасининг тайёрлаш технологиясига мойиллиги, ҳамда эксплуатация даврида қулайлиги ва ишончлилиги.

Ундан ташқари, қурилма конструкцияси ва жараённинг таҳлили, иссиқлик элткични узатиш учун рухсат этилган энергия сарфини аниқлаш имконини беради. Одатда, энергия сарфи деганда насоснинг қуввати назарда тутилади.

Шунинг учун, қурилма орқали иссиқлик элткични узатишда босимлар йўқотилишининг йиғиндиси ўзгармас бўлганда, унинг габарит ўлчамларини камайтиришни таъминлайдиган интенсивлаш усуллари яратилиши керак.

Маълумки, ҳамма турбулент оқимларни интенсивлаш усулларида иссиқлик беришни жадаллаштириш учун оқим қўшимча сунъий турбулизация қилинади. Лекин, шу билан бирга гидравлик қаршилик коэффициенти ҳам ошади. Шунинг учун, интенсивлаш даражасини билиш учун интенсивлаш усулида олинган натижаларни, текис трубада олинган тажриба маълумотлар билан таққослаш мақсадга мувофиқ. Бунинг учун Nu/Nu_T нисбатдан фойдаланиш мумкин.

Турбулент оқимнинг гидродинамик таркибини ва ундан иссиқлик алмашилишни ўзига хос хусусиятларини билиш, оқимнинг қайси соҳасида турбу-

лент тебранишларни интенсивлаш зарурлигини аниқлашга ёрдам беради. Кўпгина олимларнинг маълумотларига биноан, одатда труба девори яқинидаги суyoқликлар ҳаракатини жадаллаштириш кераклигини ҳеч ким инкор қилмайди.

Одатда, турбулентлик интенсивлигини ошириш энергетик сарфлар ўсиши билан боғлиқ, яъни гидравлик қаршилик коэффиценти ортади. Шунинг учун, λ_m ни бутун оқимда эмас, балки девор яқинида ошириш мақсадга мувофиқ. Шунга алоҳида эътибор бериш керакки, яратилган интенсивлаш усули иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ясаш технологиясини тубдан бузмаслиги керак ва катта серияда ишлаб чиқаришга мойил бўлиши зарур. Бу ерда на фақат ясаш ва йиғиш технологияси назарда тутилган, балки оддий қурилмага нисбатан нархи ҳам ҳисобга олинган бўлиши керак.

Ундан ташқари, яратилган интенсивлаш усули қурилма мустақамлигини, ишончилигини ва унинг эксплуатацион характеристикаларини пасайтирмаслиги керак.

Труба каналларида иссиқлик алмашилиш жараёнини интенсивлаш бўйича ҳамма ишлар таҳлили қуйидаги ҳулосаларга олиб келди:

1. Сунъий равишда ташкил этилган уюрмавий тузилишли оқим турбулентлигини ҳосил қилиш энг самарали воситадир.

2. Трубада бўртиқ-ботиқ типдаги силлиқ кўндаланг тўсиқлар ясалиши оқибатида ҳосил бўлган уюрмавий оқим турбулентлиги тўсиқлар ўлчами ва шаклига катта боғлиқдир.

3. Иссиқлик алмашилиш жараёнини интенсивлаш учун турбулизатор шакли ўткир қиррали (учбурчак, тўғри тўртбурчак ва ҳ.) бўлмаслиги керак, чунки бу шакли тўсиқларнинг гидравлик қаршилиги катта.

Демак, турбулизаторлар шакли аста-секин ортиб, кейин эса камаювчи, силлиқ шакли бўлиши гидравлик қаршилик кўрсаткичини кескин ортиб кетмаслигини таъминлайди.

Суyoқлик ва газларнинг оқими труба ичида ҳаракати даврида девор атрофидаги юпқа, чегаравий қатламни сунъий равишда турбулизация қилиши керак. Ундан ташқари, ушбу девор атрофидаги юпқа қатламни сунъий равишда турбулизация қилиш учун дискрет жойлашган кўндаланг бўртиқ турбулизаторлар қўллаш мақсадга мувофиқ.

Бир хил баландликдаги силлиқ ва тўғри тўртбурчак шаклдаги бўртиқ тўсиқларнинг таҳлили ва у ердаги босимларни ўлчаш шуни кўрсатдики, биринчисида девор яқинидаги юпқа қатламнинг турбулизацияси энг минимал гидравлик қаршиликларда эришилади. (4.41-расм).

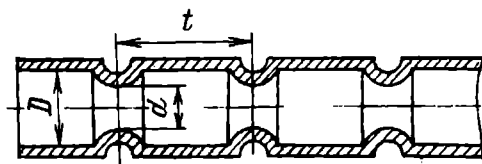


4.41-расм. Силлиқ (а) ва тўғри тўртбурчак (б) шаклидаги бўртиқ тўсиқларда оқим турбулентлигининг тузилиши.

Ҳозирги кунда, проф. Зокиров С.Г ва бошқалар томонидан яратилган, ташқи томонда кўндаланг ботиқ ариқча ва ички томони силлиқ бўртиқ тўсиқли иссиқлик алмашилиш юзаси энг самарали интенсивлаш трубаси деб ҳисобланади (4.42-расм). Бу турдаги трубаларни «накатка» усулида ясаш техно-

логияси содда ва осон, нархи эса текис трубанинг бир неча фоизини ташкил этади.

"Накатка" қилиш усулида тайёрланган иссиқлик алмашиниш қурилмаси текис трубалардан қурилма яшаш технологиясидан фарқ қилмайди. Лекин, самарадор трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмасидаги накаткали трубаларнинг умумий узунлиги, текис трубаги қурилманикидан кам бўлади, яъни камроқ сарф бўлади.



4.42-расм. Ташқи томонида кўндаланг ботиқ ариқча ва ички томони силлиқ бўлган тўсиқли самарадор иссиқлик алмашиниш юзаси.

Шунинг учун ҳам, ушбу усулда жараёни интенсифлаш қурилманинг габарит ўлчамлари ва массасини 1,5...2,0 марта камайтириш имконини берибгина қолмай, балки унинг нархини ҳам арзонлаштиришга эришилди.

Ушбу усулда $Pr = 2...80$ бўлган суюқликлар учун гидравлик қаршилик 2,7...5,0 марта ўсганда, иссиқлик бериш коэффициентини 2,0...2,6 марта орттиришга эришса

бўлади. Ҳаво учун эса, гидравлик қаршилик 2,8...4,5 марта ошганда иссиқлик бериш коэффициенти 2,8...3,5 марта кўпаяди.

"Накатка" қилинган трубага иссиқлик алмашиниш жараёнининг самарадорлигини оширади ва бир қатор афзалликларга эга [47,48,59]:

трубанинг ички ва ташқи томонларида иссиқлик алмашиниш самарадорлигини бир вақтда амалга ошириш мумкин;

- бошқа усулларга нисбатан юқори иссиқлик алмашиниш самарадорлигига эришилади;

- бу турдаги турбулизаторли трубаларни саноат миқёсида тайёрлаш осон. Бундай трубаги қурилмаларни тайёрлаш «Ўзбекимёаш» ОТАЖда йўлга қўйилган.

Газларни иситиш ва совитиш жараёнида ($Re=10^4...4\cdot10^5$, $d/D=0,88...0,98$ учун $T_w/T_b = 0,13...1,6$) ўртача иссиқлик беришни ушбу формула ёрдамида аниқлаш мумкин:

агар $t/d = 0,25...0,8$ бўлса,

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \cdot \left\{ 3 - 2 \exp \left[\frac{-18,2 \cdot (1 - d/D)^{1,13}}{(t/D)^{0,326}} \right] \right\} \quad (4.151)$$

агар $t/D = 0,8...2,5$ бўлса,

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \cdot \left[\left(3,33 \frac{t}{D} - 16,33 \right) \frac{d}{D} + \left(17,33 - 3,33 \frac{t}{D} \right) \right] \quad (4.152)$$

(4.151) ва (4.152) формулалардаги Nu ни ҳисоблашда ҳамма параметрлар газнинг ўртача массавий температурасида олинади.

$d/D = 0,9...0,97$ ва $t/D = 0,5$ параметрларга эга турбулизаторларли трубаларда иссиқлик беришни ҳисоблашда қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left(1 + \frac{\lg Re_w - 4,6}{7,45}\right) \cdot \left(\frac{1,14 - 0,28\sqrt{1 - d/D}}{1/14}\right) \cdot \exp\left[\frac{9(1 - d/D)}{(t/D)^{0,58}}\right] \quad (4.153)$$

бу ерда Re_w - деворнинг ўртача температурасида ҳисобланади.

(4.151)-(4.153) формулалардаги Nu_T қуйидаги тенгламаларда ҳисобланади.

газларни иситиш пайтида

$$Nu_T = 0,0207 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (4.154)$$

бу ерда аниқловчи температура - труба узунлиги бўйича деворнинг ўртача температураси.

газларни совитиш пайтида

$$Nu_T = 0,0207 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (4.154)$$

бу ерда аниқловчи температура - труба узунлиги бўйича деворнинг ўртача температураси.

$$Nu_T = 0,018 \cdot Re^{0,8} \quad (4.156)$$

бу ерда аниқловчи температура - труба узунлиги бўйича ўртача массавий температура.

Агар $t/D = 0,5$ ва $d/D \geq 0,94$ ($Re > Re^*$) бўлса, суюқликлар учун ўртача иссиқлик бериш қуйидаги формуладан топилади:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[100 \cdot \left(1 - \frac{d}{D}\right)\right]^{0,445} \quad (4.157)$$

бу ерда Nu_T ушбу формуладан ҳисоблаб топилади:

$$Nu_T = 0,0216 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,445} \quad (4.158)$$

Ушбу трубаларнинг гидравлик қаршилигини $Re = 10^4 \dots 4 \cdot 10^5$ ораликда қуйидаги формуладан аниқласа бўлади:

$d/D = 0,90 \dots 0,97$ ва $t/D = 0,5 \dots 1,0$ бўлганда:

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 + \frac{100 \cdot (\lg Re - 4,6) \cdot (1 - d/D)^{1,65}}{\exp(t/D)^{0,3}}\right] \cdot \exp\left[\frac{25 \cdot (1 - d/D)^{1,32}}{(t/D)^{0,75}}\right] \quad (4.159)$$

$d/D = 0,88 \dots 0,98$ ва $t/D = 0,5$ бўлганда

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{3,4 \cdot Re \cdot 10^{-5} + 6}\right] \cdot \left(1,3 - \sqrt{\frac{d}{D} - 0,93}\right) \cdot \exp\left[20,9 \cdot (1 - d/D)^{1,05}\right] \quad (4.160)$$

$d/D = 0,90 \dots 0,98$ ва $t/D = 0,25$ бўлганда эса,

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[1 - \frac{\lg Re - 4,6}{6(Re \cdot 10^{-5})^{0,33}}\right] \cdot \left(3 \frac{d}{D} - 2\right) \cdot \left(2,5 - 1,5 \frac{d}{D}\right) \cdot \exp\left[17 \left(1 - \frac{d}{D}\right)^{0,858}\right] \quad (4.161)$$

(4.159) формуладаги ξ_T қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\xi_m = \frac{0,316}{Re^{0,254}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^n \quad (4.162)$$

бу ерда газларни иситиш жараёни учун $n = 0,14$, газларни совитиш учун $n = 0$ ва суюқликларни иситиш учун $n = 0,333$.

(4.161) ва (4.162) формулардаги ξ_T ушбу тенгламадан ҳисоблаб аниқланади:

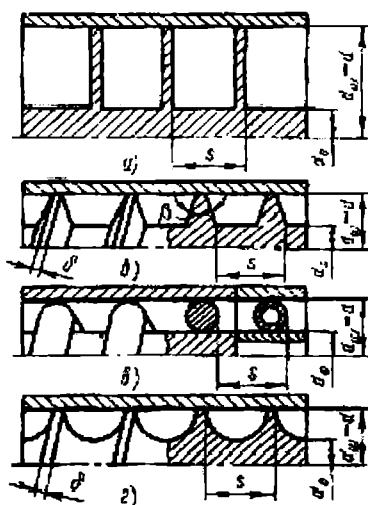
$$\xi_T = 0,182 \cdot Re^{-0,2} \quad (4.163)$$

Юқорида келтирилган девор яқинидаги чегаравий қатламнинг турбулентлигини жадаллаштирадиган турбулизаторлардан ташқари бошқа интенсивлаш усуллари ҳам кимё машинасозлигида қўлланилади.

Бошқа усуллар ўртасида иссиқлик элткичларни труба ичида бураб, спиралсимон ҳаракатлантириш усули алоҳида ўрин тутати. Бунинг учун 4.43...4.46 расмларда ва 4-7, 4-8 жадвалларда келтирилган мосламалардан фойдаланилади [48,49].

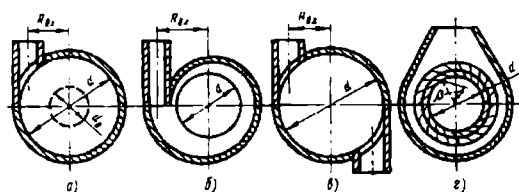
а) трубанинг бир қисми ёки бутун узунлигига винтсимон (буралган лента, шнек) турбулизаторлар ўрнатилади (4.43-расм);

б) трубага иссиқлик элткични тангенциал йўналишда узатиш (4.44-расм);



4.43-расм. Шнексимон уюмалантиргичлар конструкциялари.

а - тўртбурчак ариқчали; б - трапеция шаклидаги ариқчали; в - сим ёки найча ўраш йўли билан ҳосил қилинган шнекли; г - ярим доира шаклидаги ариқчали.

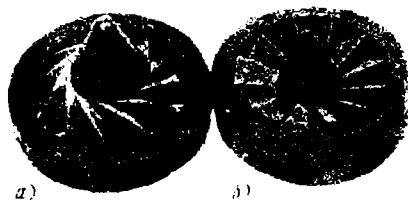


4.44-расм. Иссиқлик элткични тангенциал йўналишда узатиш мосламалари.

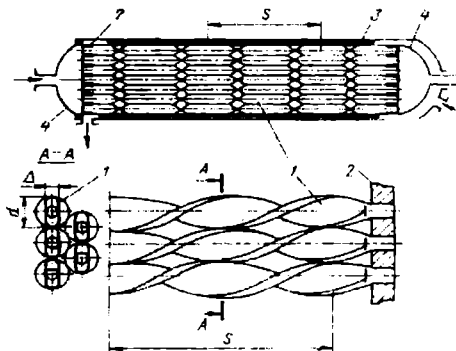
а - битта тешикли тангенциал уюмалантиргич; б - чиғаноқ шакли уюмалантиргич; в - иккита тешикли уюмалантиргич; г - тангенциал куракчали уюмалантиргич.

в) трубага киришда ёки трубаларнинг керакли жойларига куракчали уюмалаштиргичлар ўрнатиш (4.45-расм);

г) иситкичга бурама-спирал кўринишидаги трубалар ўрнатиш (4.46-расм).



4.45-расм. Аксиал - куракчали уормалантиргич.
а) профилли; б - ясси куракчали.



4.46-расм. Суюқлик оқимини бурама йўналишда ҳаракатлантирувчи иссиқлик алмашиниш қурилмаси.
1 - бурама трубалар; 2 - труба тешикли панжараси; 3 - қобиқ; 4 - қопқоқ.

Ушбу усулда иссиқлик беришни интенсивлаш бир қатор омиллар таъсирида рўйбга ошади:

- текис трубалар билан бир хил ўртача сарфда уормалантиргичли трубаларнинг девори яқинида тезлик градиенти ва турбулентли кучланишлар юқори бўлади;

- марказдан қочма куч таъсирида зичлиги юқори совуқ суюқлик девор атрофига, труба марказида эса зичлиги кичик иссиқ суюқлик йиғилади. Суюқликнинг қатламларга ажралиш эффекти иситиш жараёнида иссиқлик беришни интенсивлайди;

винтсимон элементларни қўллаш қиррали юзалар эффектини беради. Бу усулда иссиқлик бериш коэффициентини 30...40% ортади. гидравлик қаршилик эса 1,5...2,5 марта кўпаяди.

Турбулент ва ўтиш режимларида девор яқинидаги қатлам зонасини интенсивлаш керак, чунки чегаравий қатламнинг иссиқлик ўтказувчанлиги кичик. Ундан ташқари, бу ерда «девор — суюқлик» системасининг 60...70% температура напори мужассамланган, яъни иссиқлик оқимининг зичлиги максималдир.

Яна бир самарали интенсивлаш усули проф. Дзюбенко Б.В., проф. Дрейцер Г.А. ва бошқалар томонидан яратилган. Бу самарадор труба бўлиб, уни бураш йўли билан ҳосил қилинади ва унинг кўндаланг кесим юзаси эллипсоид шаклида бўлади (4.46-расм).

Бурама трубалардан ясалган қурилмаларда иссиқлик алмашиниш ҳам трубалар ичида, ҳам трубалараро бўшлиқда интенсивлашади. Агар, трубалар бураш қадами $S/d = 6...15$ бўлса, қурилма ҳажмини текис труба қурилмага нисбатан 1,5...2 баробар камайтириш мумкин. Демак, қурилманинг массаси ва металл сарфи ҳам кам бўлади.

Бу турдаги трубалар винтсимон каналлари чегарасида тезликнинг айланивчан ташкил этувчисининг тангенциал узилиши рўй беради ва бу ҳол оқимни турбулизация ҳолатига олиб келади. Оқим ядросига қараганда, труба девори яқинида суюқлик оқими уормавий ҳаракатланади. Бурама трубалар биринчи навбатда девор яқинидаги суюқлик қатламини турбулизация қилиш учун қўлланилади.

Саноат синовлари шуни кўрсатадики, агар $S/d \approx 12$ бўлса, турбулент режимда трубалараро бўшлиқда иссиқлик алмашиниш ва гидравлик қаршилик

бир хил ларажада ортади. Ўтиш соҳаси $Re = 10^3 \dots 10^4$ да эса, гидравлик қаршилиқдан иссиқлик алмашилишнинг ўсиш даражаси кўпроқ бўлади.

Иссиқлик алмашилиш жараёнини интенсифлашнинг яна бир самарали усули бу труба ташқи юзасида қўшимча қиррали юзалар ҳосил қилишдир. Ушбу усулда, иссиқлик бериш коэффициентини паст бўлган муҳит албатта труба ичига йўналтирилиши керак. Пластина қиррали иссиқлик алмашилиш юзаларининг баъзи бирлари 4-7 жадвалга келтирилган.

4-7 жадвал

Самарадор иссиқлик алмашилиш трубалари

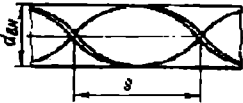
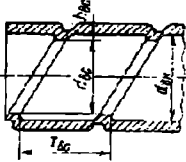
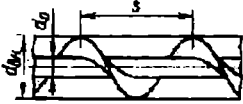
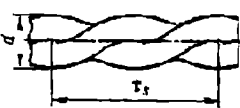
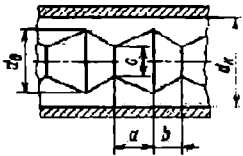
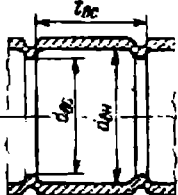
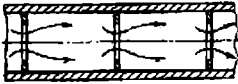
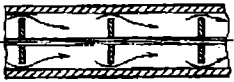
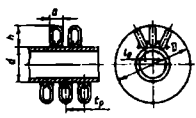
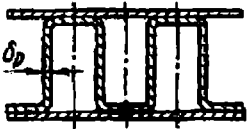
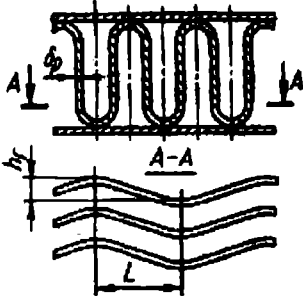
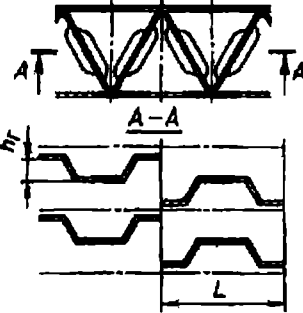
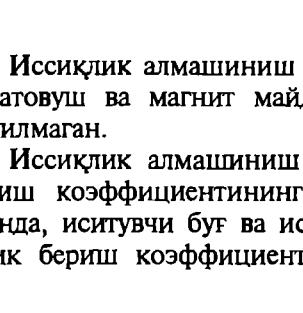
Иссиқлик алмашилиш жараёнинини интенсифлаш усуллари ва мосламалари	Схема	Иссиқлик алмашилиш жараёнини интенсифлаш усуллари ва мосламалари	Схема
Бурама лента		Ташқи томонида винтсимон кўндаланг ботиқ ариқча ва ички томонида силлиқ бўртиқ тўсиқли труба	
Узлуксиз, шнекли лента		Бурама труба	
Конфузор-диффузор типидagi ҳалқасимон канал		Ташқи томонида дискрет жойлаштирилган ботиқ ариқча ва ички томонида бўртиқ тўсиқли труба	
Диафрагма кўринишидаги турбулизатор		Диск кўринишидаги турбулизатор	
Сим қобурғали		Узлуксиз спиралли труба	

Схема	Характеристика
	Тўғри тўртбурчак канал ҳосил қилувчи, текис, узлуксиз қобурғалар (ТУҚ).
	Трапедия шаклидаги канал ҳосил қилувчи, (ТУҚ).
	Учбурчак шаклида канал ҳосил қилувчи, (ТУҚ).
	Узлуксиз, тўлқинсимон қовурға (УТҚ).
	Трубалараро бўшлиқда иссиқлик элткич тўлқинсимон ҳаракатланади.
	Учбурчак шаклида канал ҳосил қилувчи жалюзли қовурға (ЖҚ). Текис қовурғаларда тирқишлар ҳосил қилиб, қирқилган бўлаклари қарама-қарши томонга букланган. Бундай каналларда суюқликнинг ҳаракати туфайли ҳосил бўладиган чегаравий қатлам бузилади ва иссиқлик бериш жараёни интенсифлашади.

Иссиқлик алмашиниш юзасига механик таъсир усуллари, ҳамда электр, ультратовуш ва магнит майдонларининг таъсири, шу кунгача ҳали етарли ўрганилмаган.

Иссиқлик алмашиниш жараёнини интенсифлаш натижасида иссиқлик ўтказиш коэффициентининг ортиши иссиқлик алмашиниш юзалари тоза бўлганда, иситувчи буг ва иситилаётган суюқликлар ва девор ўртасидаги иссиқлик бериш коэффициенти билан белгиланади. Кўпинча ишлатиладиган

иссиқлик элткичларнинг физик - кимёвий хоссалари, босими, температураси ва иссиқлик бериш коэффициентлари бир биридан кескин равишда фарқ қилади. Масалан, буғдан деворга иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати $\alpha = 4000 \dots 15000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, қовушоқ суюқликлар учун эса - $\alpha \leq 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Кўриниб турибдики, жараёнини интенсивлаш α коэффициентни кичик бўлган иссиқлик элткич томонидан қилиш зарур, яъни қовушоқ суюқлик томонидан ўтказилиши даркор. Агар, иссиқлик бериш коэффициентни иккала муҳит учун тахминан бир хил қийматга эга бўлса, интенсивлаш иккала тарафдан ўтказилиши мумкин. Лекин, қурилмани эксплуатацион ва техник имкониятлари инобатга олиниши зарур.

Одатда иссиқлик бериш жараёнини интенсивлаш, гидравлик қаршиликларни енгиш учун сарфланадиган, ўсиб боровчи энергия билан боғлиқдир. Шунинг учун, иссиқлик бериш жараёнини интенсивлашни характерловчи энг асосий кўрсаткичлардан бири - бу қурилманинг энергетик самарадорлигидир. Гидравлик қаршилиқ ўсиши билан иссиқлик беришнинг ортиши бир хил даражада бўлиши мақсадга мувофиқдир.

Иссиқлик алмашиниш жараёнини интенсивлашнинг қуйидаги усуллари мавжуд:

- девор яқинидаги чегаравий қатлам оқимини интенсивловчи ғадир - будур ва мураккаб шаклдаги юзалар барпо этиш;

- труба ичига оқимни турбулизация қилувчи шнек ва мосламалар ўрнатиш;

- иссиқлик элткич оқимиغا электр, магнит ва ультратовуш майдонларини таъсир эттириш;

- девор яқинидаги чегаравий қатламни ҳаракатдаги оқим тезлигининг тебраниши ёки уюрмали ҳаракатини ташкил этиш ва уни бурама, спиралсимон траектория бўйича йўналтириш;

- қиррали конструкция ясаш йўли билан иссиқлик алмашиниш юзасини ошириш;

- иссиқлик алмашиниш юзасини айлантириш ва тебранма ҳаракатлантириш каби механика таъсир эттириш;

- қўзғалмас ёки мавҳум қайнаш қатламларида донатор насадкаларни қўллаш;

- иссиқлик элткич таркибига қаттиқ заррача ёки газ пуфакчаларини қўшиш.

Аниқ шароит учун интенсивлашнинг у ёки бу усулларини қўллашнинг имконияти ва мақсадга мувофиқлиги унинг техник имконияти ва самарадорлиги билан белгиланади. Трубалар ичида иссиқлик беришни интенсивлаш учун қўлланиладиган айрим мосламалар схемаси 4-8 жадвалда келтирилган.

4.14. Умумий тушунчалар

Қаттиқ, учувчан бўлмаган ёки учувчанлиги ёмон бўлган моддалар эритмаларини қайнатиш даврида эритувчисини ва ҳосил бўлган буғларни чиқариб юбориш жараёнига **буғлатиш** дейилади.

Одатда, саноат миқёсида буғлатиш жараёни эритмаларни қайнатиш йўли амалга оширилади.

Эритмаларни буғлатишдан мақсад уларнинг концентрациясини орттириш бўлиб, яъни эритмаларни қуюқлаштиришдир. Агарда, қуюқлаштирилган эритмалардан яна эритувчи чиқарилса, қаттиқ моддалар кристаллана бошлайди ва кристаллар ажралиб чиқади.

Суюлтирилган эритмалар концентрациясини ошириш ёки улардан эриган моддаларни кристаллаш усулида ажратиб олиш учун буғлатиш жараёни қўлланилади.

Кимё, озиқ овқат ва бошқа саноатларда буғлатиш жараёнидан кенг қўламда фойдаланилади. Масалан, туз, ишқор каби моддаларнинг сувли эритмаларини, минерал ва органик кислоталар, қўп атомли спиртлар, шакар ва консерва маҳсулотларини ишлаб чиқариш технологиясида томат, сут ва шарбатларни концентрлашда бу жараёнсиз технологияни тасаввур қилиб бўлмайди. Шу билан бирга, ушбу жараённи тоза эритувчи ишлаб чиқариш учун ҳам қўлласа бўлади.

Шуни алоҳида қайд этиш керакки, агар **буғланиш** жараёни қайнаш температурасидан паст, исталган температурада эритма юзасида содир бўлса, **буғлатиш** эса қайнаш температурасидан юқори температурада, эритманинг бутун ҳажмида юз беради.

Ушбу жараёнлар буғлатиш қурилмаси деб номланадиган қурилмаларда амалга оширилади. Маълумки, узлуксиз ва узлукли буғлатиш жараёнларини ташкил этиш мумкин. Узлукли ишлайдиган қурилмалар, одатда кам миқдорда маҳсулот ишлаб чиқарадиган технологияларда қўлланилади.

Йирик саноат корхоналарида узлуксиз ишлайдиган буғлатиш қурилмаларидан фойдаланилади ва уларнинг иссиқлик алмашилиш юзалари 600...1000 м² бўлади. Бундай қурилмаларнинг тежамлилигини аниқловчи асосий омил бўлиб, ундаги буғ ва сув сарфи ҳисобланади.

Буғлатиш вакуум, атмосфера ва юқори босим остида олиб борилиши мумкин.

Вакуум остида буғлатиш пайтида иккиламчи буғни махсус конденсаторда конденсациялаш йўли билан қурилмада вакуум ҳосил қилинади ва насос ёрдамида конденсацияланмаган газлар сўриб олинади. Бу усулда жараён олиб борилса, эритманинг қайнаш температурасини пасайтиришга эришса бўлади. Натижада юқори температурага ўта таъсирчан маҳсулотлар сифатини сақлаб қолиш имконияти туғилади. Ундан ташқари, вакуумни жараёнда қўллаш, ҳаракатга келтирувчи куч миқдорини оширади ва буғлатиш қурилмасининг иссиқлик алмашилиш юзасини, ҳамда металл сарфини камайтириш имконини беради.

Вакуум остида буғлатишнинг яна бир афзаллиги шундаки, паст температура ва босимли иссиқлик элтикичлардан фойдаланиш мумкин. Бу усулда буғлатилганда, ҳосил бўлган иккиламчи буғни, кейинги корпусда бирламчи буғ сифатида қўллаш мумкин.

Албатта, бу усулнинг камчиликлари ҳам бор: жараёнда вакуумни қўллаш унинг нархини оширади; буғлаткичдан ташқари бир нечта қўшимча қурилма ва мосламалар ишлатиш керак.

Атмосфера босимида буғлатиш жараёнида ҳосил бўлган иккиламчи буғ атроф муҳитга чиқариб юборилади. Бундай усул энг содда деб ҳисобланса ҳам, лекин у иқтисодий жиҳатдан энг тежамсиздир.

Юқори босим остида буғлатиш жараёнида ҳосил бўлган иккиламчи буғ қайтадан буғлатиш жараёнида, ҳамда бошқа мақсадлар учун ҳам ишлатиш мумкин. Бу усулда жараён юқори босимда олиб борилгани учун, эритмаларнинг қайнаш температураси анча кўтарилади.

Бошқа мақсадлар учун ишлатиладиган иккиламчи буғ - *экстра буғ* деб номланади. Юқори босим остида буғлатиш жараёнида ажралиб чиққан иккиламчи буғни қайтадан қўллаш, вакуум остида буғлатишга нисбатан, иссиқликдан тўла миқдорда фойдаланиш имконини беради. Шунинг учун, ушбу усул фақат иссиқликка бардош эритмаларни буғлатиш учун қўлланилади. Ундан ташқари, юқори босим остида буғлатиш жараёни учун юқори температурали иссиқлик элтиқчиларни ишлатиш керак. Бу ҳол албатта унинг энг асосий камчилигидир.

Атмосфера босими, айрим ҳолларда вакуум остида жараён олиб борилганда, бир корпусли буғлаткичлардан фойдаланилади. Лекин, саноат миқёсида кўпинча бир неча қурилмадан йиғилган кўп корпусли буғлатиш қурилмаларида жараёни олиб бориш кенг тарқалган. Бундай қурилмаларда фақат биринчи корпусда бирламчи буғ ишлатилади. Иккинчи, учинчи ва кейинги корпусларда эса, олдинги корпусда ажралиб чиққан иккиламчи буғ қўлланилса, элтиқ тежалишига сабабли бўлади ва буғ сарфининг камайишига олиб келади.

Бир корпусли буғлатиш қурилмаларида ҳам, бирламчи буғ сарфини камайитириш мумкин. Бунинг учун, қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ иссиқлик насоси ёрдамида бирламчи буғ температурасига тўғри келадиган босимгача сиқилади ва қайтадан эритмани буғлатиш учун қурилмага йўналтирилади.

4.15. Буғлатишнинг назарий асослари

Буғлатиш жараёнида эритмаларнинг концентрацияси ортади ва натижада унинг физик ва иссиқлик хоссалари ўзгаради.

Буғлатиш қурилмаларини ҳисоблаш, лойиҳалаш ва эксплуатация қилиш учун муҳим бўлган эритмаларнинг баъзи бир хоссаларини кўриб чиқамиз.

Температура депрессияси - Δ' . Эритма T_2 ва эритувчилар T қайнаш температуралари ўртасидаги фарқдир, яъни $\Delta' = T_2 - T$ температура депрессияси деб номланади. Эритмалар назариясидан маълумки, бир хил T температурада тоза эритувчи устидаги буғларининг босими p , эритма устидаги буғларнинг босими p_2 дан ҳар доим кўп бўлади. Ёки бир хил босимда тоза эритувчининг қайнаш температураси эритманинг қайнаш температурасидан паст бўлади.

Эритмаларнинг температура депрессияси эритувчи ва эриган моддалар хоссаларига боғлиқдир. Босим ва концентрация ортиши билан температура депрессияси ошади. Кўпинча ушбу кўрсаткич тажрибавий йўл билан аниқланади.

Маълумки, буғлаткичларда иссиқлик йўқотилиши оқибатида температураларнинг пасайиш ҳодисаси юз беради. Натижада температуралар фарқи камайди ва жараён интенсивлиги сусаяди. Температуралар йўқотилиши Δ , температура депрессияси Δ' , гидростатик Δ'' ва гидравлик депрессия Δ''' лар йиғиндисига тенг, яъни:

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' \quad (4.164)$$

Агар, эритманинг атмосфера босимдаги температура депрессияси $\Delta'_{атм}$ маълум бўлса, исталган бошқа босимлардаги депрессия Тишенконинг аҳминий формуласидан ҳисоблаб аниқлаш мумкин:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{атм} \quad (4.165)$$

у ерда T - маълум босимдаги тоза эритувчининг қайнаш температураси, К; r - маълум осимдаги тоза эритувчининг буғлатиш иссиқлиги, кЖ/кг; $\Delta'_{атм}$ - атмосфера босимидаги температура депрессияси, °С.

Агар, $\Delta'_{атм}$ катталиги буйича тажрибавий маълумотлар йўқ бўлса, уни ир нечта усул билан таҳминан ҳисоблаб топиш мумкин. Бирор босимда эритманинг битта қайнаш температураси маълум бўлса - Бабо, иккита температураси маълум бўлганда эса Дюринг ёки Киреев қондасига биноан аниқлаш мумкин бор.

Бабо қондасига биноан, бирор концентрацияли эритма устидаги буғ босимининг пасайиши $(p_1 - p_2)/p_1$ ёки p_2/p_1 температурага боғлиқ эмас ва гармас қийматга тенгдир:

$$\frac{p_2}{p_1} = K = const \quad (4.166)$$

ерда p_1 ва p_2 - эритувчи ва эритма буғларининг босимлари.

Гидростатик депрессия - Δ'' . Буғлаткич қайнаш трубаларининг бир қисми юқлик билан тўлиб турган бўлади ва унинг устида буғ - суюқликдан иборат гүльсия қатламида юқорига қараб кўтарилган сари буғнинг миқдори ошиб ўради.

Агар, қайнаш трубасидаги суюқлик ва эмульсияни шартли равишда юқлик деб номласак, унда гидростатик босимлар фарқи ҳисобига трубанинг юқлиги қисмидаги суюқликнинг қайнаш температураси тепа қисминикидан юқори бўлади.

Гидростатик эффект ҳисобига эритма қайнаш температурасининг ортиши **гидростатик депрессия** деб аталади.

Буғлатиш жараёни вакуум остида олиб борилганда, гидростатик депрессия салмоқли бўлади.

Тўйинган сув буғи t_c ва иккиламчи буғ температура T лари орасидаги фарқ гидростатик депрессияни беради:

$$\Delta'' = t_c - T'' \quad (4.167)$$

Ушбу тенглик эритма ҳаракатини инобатга олмагани учун унинг хатолик даражаси катта. Шунинг учун Δ'' нинг қийматлари тажрибавий усулда топилади.

Вертикал буғлаткичда интенсив ҳаракатланаётган эритмалар учун Δ'' қадори 1...30°С оралиқда қабул қилиниши мумкин.

Гидравлик депрессия - Δ''' . Ушбу депрессия иккиламчи буғнинг сепаратор ва қувурлар орқали ҳаракати даврида ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликларни енгиши туфайли вужудга келадиган температура йўқотилишлар.

Ушбу гидравлик қаршиликларни енгиш вақтида босимнинг камайиши, температура пасайишига сабабчи бўлади.

Демак, гидравлик қаршиликлар туфайли эритма қайнаш температурасининг кўпайиши **гидравлик депрессия** деб номланади. Одатда Δ''' нинг қиймати 1...1,5 °С оралиғида бўлади.

Юқорида қайд этилган депрессияларни ҳисобга олсак, эритманинг қайнаш температураси қуйидагича ҳисобланади:

$$t_k = T' + \Delta' + \Delta'' \quad (4.168)$$

бу ерда T' - иккиламчи буғ температураси, К.

Эритмалар иссиқлик сиғими температура ва эриган моддалар концентрациясининг функциясидир.

Кўпчилик эритмалар иссиқлик сиғими аддитивлик қондасига бўйсинмайди. Шунинг учун эритманинг ушбу хоссасини эриган модда ва эритувчилар иссиқлик сиғимлари ёрдамида аниқлаб бўлмайди. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, эритма концентрацияси қанчалик катта бўлса, унинг иссиқлик сиғими шунчалик аддитивлик қондасига кам бўйсинади. Эритманинг ушбу хоссаси махсус адабиётларда келтирилган.

Эритиш иссиқлиги эритманинг концентрацияси, эритувчи ва эриган моддалар хоссаларига боғлиқ. Қўшимча қаттиқ моддалар эриши даврида кристаллик панжара бузилади. Албатта, бунинг учун энергия сарфланади ва оқибатда эритманинг совиши рўй беради. Агар, эритувчи ва эрийдиган моддалар ўзаро кимёвий реакцияга киришса, гидратлар ҳосил бўлиб, жараён натижасида иссиқлик ажраб чиқади. Шундай қилиб, эритиш иссиқлиги эриш ва кимёвий ўзаро таъсир иссиқликлари йиғиндисига тенг.

Осон гидрат ҳосил қиладиган моддалар мусбат эритиш иссиқлигига (сувда), эга; гидрат ҳосил қилмайдиган моддалар манфий эритиш иссиқлигига эга.

4.16. Буғлатиш усуллари

Саноатда мавжуд технологияларда асосан қуйидаги буғлатиш усуллари-дан фойдаланилади:

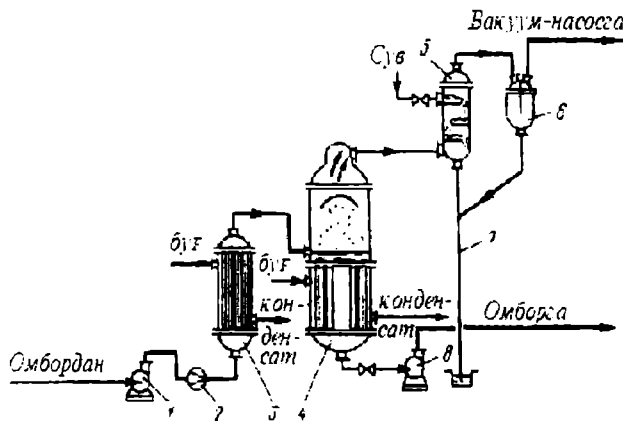
- оддий буғлатиш (узлукли ва узлуксиз);
- кўп корпусли қурилмаларда буғлатиш (фақат узлуксиз);
- иссиқлик насосларини қўллаб буғлатиш.

Эритмалар ва иситувчи буғ хоссаларига қараб ҳамма 3 та буғлатиш усуллари вакуум ва босим остида ўтказилиши мумкин. Иссиқлик элткич сифатида, деярли ҳар доим, тўйинган сув буғи ишлатилади. Камдан - кам ҳолларда эритмалар электр токи ёки оралиқ иссиқлик элткичлари ёрдамида иситилади.

Оддий буғлатиш. Иссиқлик тежалиши катта аҳамиятга эга бўлмаган ва унумдорлиги кичик бўлган қурилмаларда оддий буғлатишдан фойдаланилади. Ундан ташқари, температура депрессияси юқори эритмаларнигина узлукли ишлайдиган, бир корпусли буғлатиш қурилмасида амалга ошириш иқтисодий жиҳатдан тўғри ва мақсадга мувофиқдир. Узлукли буғлатишни икки хил йўл билан олиб бориш мумкин: бошланғич эритмани даставвал юклаш ва оз-оз миқдорда юклаш.

Узлуксиз ишлайдиган оддий буғлатиш қурилмаси 4.47-расмда келтирилган.

Бошланғич концентрацияли эритма насос 1 ёрдамида сарф ўлчагич 2 орқали иситкич 3 га узатилади. У ерда эритма қайнаш температурасигача иситилади ва сўнг буғлаткич 4 га буғлатиш учун юборилади. Қурилма 4 нинг пастки қисмида эритма сув буғи ёрдамида иситилади, натижада эритувчи буғланади. Ҳосил бўлган иккиламчи буғ қурилма 4 нинг юқори қисми бўлмиш сепарацион бўлимида майда томчилардан ажратилади ва барометрик конденсатор 5 га йўналтирилади. Ундан иккиламчи буғ конденсацияланади.



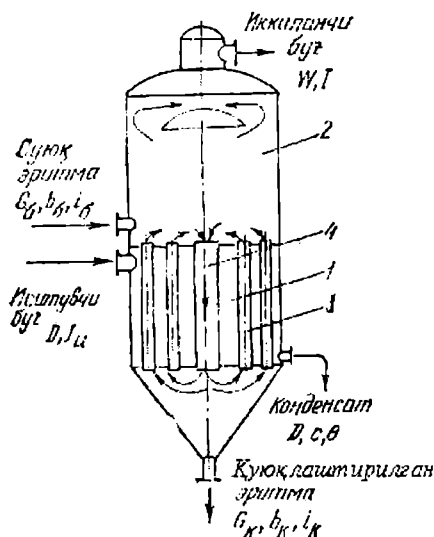
4.47-расм. Бир корпусли, узлуксиз ишлайдиган буглатиш курилмасининг схемаси.

1, 8 - насослар; 2 - сарф ўлчагич; 3 - иситкич;
4 - буглаткич; 5 - барометрик конденсатор;
6 - ушлагич; 7 - барометрик труба.

Конденсацияланмаган инерт газлар ушлагич 6 орқали вакуум насос 8 ёрдамида сўриб олинади. Совутувчи сув билан ҳосил бўлган конденсат барометрик труба 7 орқали йиғичга тушурилади. Қуюқлаштирилган эритма насос 8 ёрдамида тайёр маҳсулот омборига узатилади.

Вакуум остида эритмаларни буглатиш жараёнини ташкил этишнинг бир қатор афзалликлари бор: эритма қайнаш температураси пасаяди; паст босимли бугларни иссиқлик элткчи сифатида қўллаш мумкин.

Марказий циркуляция труба, узлуксиз ишлайдиган буглаткич 4.48-расмда кўрсатилган.



4.48-расм. Марказий циркуляция труба буглаткич.

1 - иситувчи камера; 2 - сепаратор; 3 - иситувчи трубалар;
4-циркуляция труба.

Буглаткич асосан икки қисмдан, яъни иситувчи камера 1 ва сепаратор 2 дан иборат бўлади.

Камера 1 кўпинча тўйинган сув буғи билан иситилади. Сув буғи камеранинг трубалараро бўшлиғига йўналтирилади, у ерда труба девори орқали ўз иссиқлигини эритмага узатади ва совитиш натижасида конденсацияланади. Ҳосил бўлган конденсат камеранинг пастки қисмидаги штуцер орқали ташқарига чиқарилади.

Трубаларда иситилаётган эритманинг температураси ортиши билан зичлиги камаяди. Натижада, эритма труба бўйлаб юқорига кўтарилади ва девор орқали ўтаётган иссиқлик таъсирида қайнаш бошланади. Қайнаш жараёнида ҳосил бўлаётган иккиламчи буг эритмадан ажрайди ва

сепаратор 2 га қараб ҳаракатланади. У ерда буғ майда эритма томчиларидан ажратилади ва буғ ташқарига чиқарилади. Сепараторда ажратилган томчилар яна қайтадан буғланаётган эритмага қўшилади.

Эритманинг маълум қисми (зичлиги юқори) циркуляция труба си орқали буғлатишнинг пастки қисмига тушади. Ушбу трубадаги эритма ва иситувчи трубалардаги «буғ - суяқлик» аралашмаси зичликлари ўртасидаги фарқ таъсирида бетўхтов равишда циркуляция қилиб туради. Концентрацияси ошган, яъни қуюқлашган эритма, қурилманинг пастки қисмидан чиқариб олинади.

4.16.1. Оддий буғлатишнинг моддий баланси

Оддий буғлатиш жараёнининг моддий баланси ушбу тенгламалар ёрдамида ифодаланади:

$$G_{\delta} = G_{ox} + W \quad (4.169)$$

бу ерда G_{δ} – бошланғич эритма сарфи, кг/соат; G_{ox} - қуюқлаштирилган эритма сарфи, кг/соат; W – буғлатилган сув миқдори, кг/соат.

Эритмадаги қуруқ моддага нисбатан моддий баланс ушбу кўринишга эга:

$$\frac{G_{\delta} \cdot x_{\delta}}{100} = \frac{G_{ox} \cdot x_{ox}}{100} \quad (4.170)$$

бу ерда x_{δ} ва x_{ox} - эритманинг бошланғич ва охириги концентрациялари, % (масс).

(4.169) ва (4.170) тенгламалардан фойдаланиб буғлатилган сув миқдорини топиш мумкин:

$$W = G_{\delta} \left(1 - \frac{x_{\delta}}{x_{ox}} \right) \quad (4.171)$$

Эритманинг охириги концентрацияси эса:

$$x_{ox} = G_{\delta} \frac{x_{\delta}}{G_{\delta} - W} \quad (4.172)$$

Қуюқлаштирилган эритма бўйича буғлаткичнинг иш унумдорлиги куйидаги тенгламадан топилади:

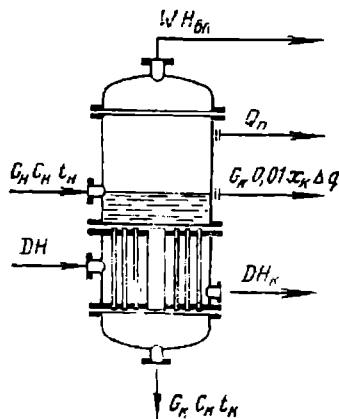
$$G_{ox} = \frac{G_{\delta} \cdot x_{\delta}}{x_{ox}} \quad (4.173)$$

4.16.2. Оддий буғлатишнинг иссиқлик баланси

Оддий буғлатиш жараёнининг иссиқлик баланси 4.49-расмда келтирилган иссиқлик оқимлари асосида битта тенглик ёрдамида ёзилиши мумкин:

$$G_{\delta} c_{\delta} t_{\delta} + DI = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q + W I_{ub} + D \cdot I_k + Q_{uyk} \quad (4.174)$$

бу ерда D - иситувчи буғ сарфи, кг/соат; I - иситувчи буғ энтальпияси, кЖ/кг; t_{δ} ва t_{ox} - эритманинг бошланғич ва охириги температуралари, °С; I_k - конденсат энтальпияси, кЖ/кг; Δq - эритмани x_{δ} ва x_{ox} гача қуюқлаштириш иссиқлиги, кЖ/кг; Q_{uyk} - иссиқликнинг атроф муҳитга йўқотилиши, кЖ/соат.



4.49-расм. Оддий буглатиш жараёнидаги иссиқлик оқимлар схемаси

$G_б c_б t_б$ бошланғич эритма билан иссиқлик кириши;
 DI иситувчи буг билан иссиқлик кириши;
 $G_{ox} c_{ox} t_{ox}$ қуюқлашган эритма билан иссиқлик чиқиши;
 $WI_{уб}$ иккиламчи буг билан иссиқликнинг чиқиши;
 $DI_к$ иситувчи буг конденсати билан иссиқликнинг чиқиши;
 $G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q$ - қуюқлаштириш иссиқлиги;
 $Q_{йук}$ - атроф муҳитга иссиқлик йўқотилиши.

Агар. (4.169) тенгламани (4.174) га қўйсак, ушбу кўринишга эришамиз

$$G_б c_б t_б + W c_б t_б + DI = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q + W \cdot I_{уб} + D \cdot I_к + Q_{йук} \quad (4.175)$$

бундан

$$D = G_{ox} \frac{c_{ox} t_{ox} - c_б t_б + 0,01 x_{ox} \Delta q}{I - I_{ox}} + W \frac{I_{уб} - c_б t_б}{I - I_{ox}} + \frac{Q_{йук}}{I - I_{ox}} \quad (4.176)$$

(4.176) тенгламадан кўриниб турибдики, буглатиш учун зарур бўлган иситувчи буг сарфи, урта қўшилувчи ёрдамида аниқланади:

биринчиси, буглатилаётган эритма энтальпиясини ўзгартириш учун зарур буг сарфи;

- иккинчиси, иккиламчи буг ҳосил қилиш учун зарур буг сарфи;

учинчиси, атроф муҳитга йўқотилинаётган иссиқликни қоплаш учун зарур буг сарфи.

Биринчи ва учинчи қўшилувчилар қиймати, иккинчисига қараганда, жуда кичикдир. Шунинг учун, тахминий ҳисоблашларда $H_{уб} - c_б t_б \approx I - I_к$ эканлигини инобатга олиб, эритмадан 1 кг сувни буглатиш учун 1,1...1,2 кг иситувчи буг керак деб қабул қилинади.

4.16.3. Иситиш юзаси

Зарур иссиқлик алмашилиш юзаси иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади, яъни $Q = KF\Delta t$ дан.

Унда, узлуksиз ишлайдиган буглаткичининг иситиш юзаси қуйидаги ифодадан топилади:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}$$

бу ерда t температураларнинг фойдали фарқи, иситувчи тўйинган сув буғи ва қайнаётган эритма температуралари фарқига тенг.

Температураларнинг фойдали фарқи температуралар умумий фарқи ва температура депрессиялари орқали аниқланади.

Иситувчи ва иккиламчи буғ температуралари орасидаги фарқга температураларнинг умумий фарқи дейилади ва ушбу кўринишда ёзилади:

$$\Delta t_{\text{ум}} = t_{\text{ис}} - t_{\text{конд}} \quad (4.177)$$

бу ерда $t_{\text{ис}}$ - иситувчи буғ температураси, °С; $t_{\text{к}}$ - конденсаторга киришдаги иккиламчи буғ температураси, °С.

Температураларнинг фойдали фарқи $t_{\text{ум}}$ дан температуралар йўқотилиш йиғиндиси $\Sigma \Delta$ га қараганда камроқ бўлади, яъни

$$\Delta t = \Delta t_{\text{ум}} - \Sigma \Delta \quad (4.178)$$

бу ерда

$$\Sigma \Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

Кўп корпусли қурилмаларда буғлатиш. Бу турдаги қурилмаларда иситувчи буғ сифатида иккиламчи буғ ишлатилади. Натижада жуда катта миқдорда иссиқлик тежалди. Эритмадан 1 кг сувни буғлатиш учун иситувчи, тўйинган сув буғининг солиштирма сарфи қуйидагича:

- бир корпусли қурилма учун	1,1...1,2 кг;
- икки корпусли қурилма учун	0,55 кг;
- уч корпусли қурилма учун	0,40 кг;
- тўрт корпусли қурилма учун	0,30 кг.

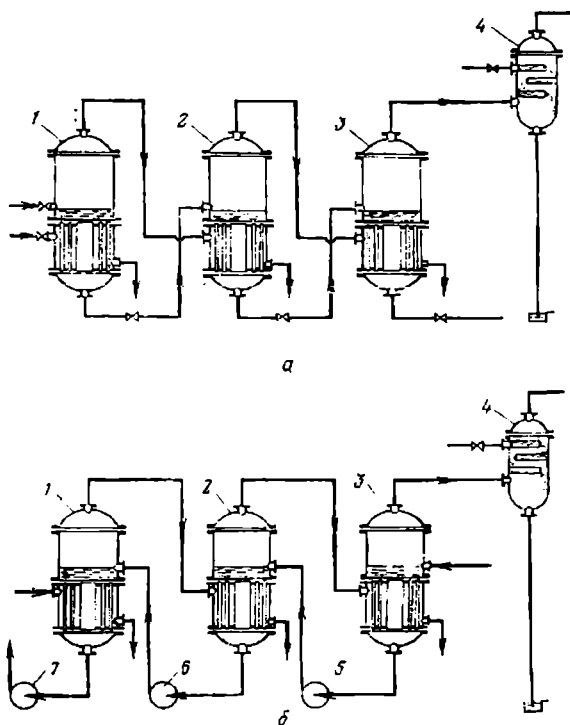
Кўп корпусли қурилмаларда буғлатиш жараёнини юқори босимли иситувчи буғ ёки вакуум ёрдамида амалга ошириш мумкин.

Буғлатиш корпусларидаги босим шундай бўлиши керакки, унга узатилаётган буғ температураси, шу корпусдаги эритманинг қайнаш температурасидан юқори бўлиши таъминланиши керак. Охирги корпусдаги иситувчи буғнинг босими техник — иқтисодий ҳисоблар асосида аниқланади.

Иситувчи буғ ва эритманинг ҳаракат йўналишига қараб параллел (бир хил), қарама қарши ва комбинацияланган йўлли кўп корпусли буғлатиш қурилмаларига бўлинади. 4.50а-расмда уч корпусли параллел йўналишли буғлатиш қурилмаси келтирилган.

Бошланғич эритма корпус 1 га юборилади, сўнг корпус 2 ва 3 га узатилади ва керакли концентрациягача қуюқлаштирилгандан сўнг корпус 3 нинг пастки қисмида чиқарилади. Корпус 1 дан корпус 3 га қараб босим пасайиб боради. Шунинг учун, эритма босимлар фарқи остида корпусдан корпусга ўтиб боради. Иситувчи буғ эритма каби уша йўналишда бир корпусдан кейингисига ҳаракат қилади. Яъни, корпус 1 да ҳосил бўлган иккиламчи буғ 2-корпусга иситувчи буғ бўлиб, 2-корпусда ҳосил бўлган иккиламчи буғ эса, 3-корпусга иситувчи буғ бўлиб, 3- корпусда ҳосил бўлган иккиламчи буғ конденсацияланиш учун барометрик конденсатор 4 га юборилади.

4.50б-расмда уч корпусли қарама қарши йўналишли буғлатиш қурилмаси тасвирланган. Янги иситувчи буғ 1-корпусга ҳайдалади, иккиламчи буғлар эса 1-корпусдан 3-га қараб ҳаракат қилади. Бошланғич эритма эса, аввал 3-корпусга юкланади, сўнг эса 3-корпусдан 1-корпус томон қараб узатилади. Ҳар бири кейинги корпусдаги босим аввалги корпусникидан кам бўлгани учун, эритмани узатиш учун насос 5, 6, 7 лар хизмат қилади.



4.50-расм. Буғлатиш қурилмаларининг принципиал схемалари.

а - бир хил (параллел) йўналишли; б - қарама-қарши йўналишли; 1-3 - корпуслар; 4- барометрик конденсатор; 5-7 - насослар.

Комбинациялашган буғлатиш қурилмаларида эритмани киритиш ва чиқариш вариантлари турлича бўлиши мумкин.

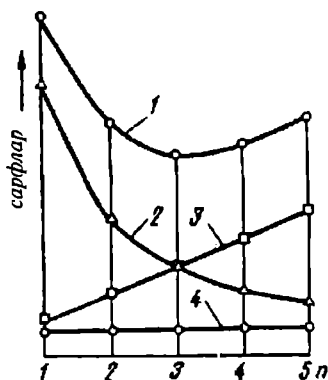
Параллел йўналишли буғлатиш қурилмасининг афзалликлари: эритмани корпусдан корпусга узатиш учун насос керак эмас.

Ҳар бири кейинги корпусда, юқори концентрацияли эритма, нисбатан пастроқ босимда буғлатилади.

Шу охириги корпусдаги иссиқлик ўтказиш коэффициенти биринчисига қараганда анча кичик бўлади.

Қарама қарши йўналишли буғлатиш қурилмасининг афзалликлари: жуда юқори концентрацияларгача қуюқлаштириш мумкин; бир йўналишли қурилмаларга нисбатан кичик иситиш юзаси талаб этилади. Камчилиги: эритмани корпусдан корпусга узатиш учун насослар зарур.

4.51-расмда буғлатиш қурилмалари сонининг ортиши билан турли сарфлар ўзгариши кўрсатилган.



4.51-рasm. Буглатиш корпуслари n нинг оптимал сонини аниқлашга оид.
 1 - умумий сарфлар;
 2 - энергетик (иситувчи бугга бўлган) сарфлар;
 3 - капитал ва амортизация сарфлари; 4 - эксплуатация сарфлари.

Қурилмаларнинг оптимал сонини техник-иқтисодий ҳисоблашлар йўли билан аниқлаш мақсадга мувофиқдир.

Графикдаги эгри чизик 1 нинг минимумига тўғри келадиган минимал умумий сарфлар, кўп корпусдаги буглатиш қурилмасининг оптимал сонини кўрсатади. Саноат миқёсида кўп корпусли буглатиш қурилмаларининг оптимал сони 3—4 та бўлади.

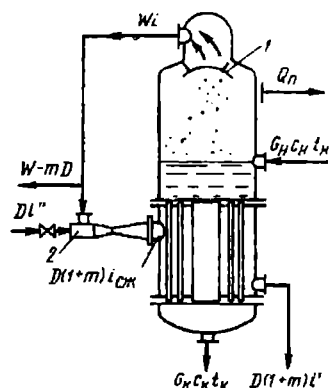
Иссиқлик насосини қўллаб буглатиш. Ушбу усул, шу қурилмада олинган иккиламчи бугни қайтадан ўша буглаткичда қўллашга асосланган. Бунинг учун иккиламчи буг температураси иситувчи буг температурасигача кўтариш зарур. Иккиламчи буг температурасини ошириш учун у компрессор ёки инжекторли иссиқлик насосда сиқилади. Одатда, компрессор сифатида турбокомпрессор қўлланилади (4.52-рasm).

Буглаткичдан чиқаётган босими $p_{нб}$ ва энтальпияси i иккиламчи буг турбокомпрессор ёрдамида сўриб олинади ва у ерда p босимгача сиқилади. Сиқиш натижасида бугнинг энтальпияси i гача ўсади. Шундай қилиб, сиқилиш натижасида буг $\Delta i = i_c - i$ миқдорда иссиқлик олади. Турбокомпрессордан чиқаётган сиқилган буг буглатиш қурилмасининг иситиш камерасига йўналтирилади.

Жараённинг иссиқлик баланси:

Юқорида қайд этилгандан маълумки, қурилмалар сони ўсиши билан эритма таркибидаги 1 кг сувни буглатиш учун иситувчи буг сарфи кескин камайиб боради. Лекин, қурилмалар сони ортиши билан температура йўқотилишлар кўлаяди. Иссиқлик алмашилиш жараёни самарали ўтиши учун температураларнинг фойдали фарқи маълум қийматга эга бўлиши керак. Табиий циркуляцияли қурилмалар учун ушбу фарқ 5...7°C ва мажбурий циркуляцияли учун эса 3°C дан кам бўлмаслиги зарур.

Буглатиш қурилмаларининг сони кўп бўлса, бунда температуралар йўқотилишининг йиғиндиси, температураларнинг умумий фарқиға тенг ёки ундан ортиб кетиши мумкин. У ҳолда эритмаларни буглатиш қийинлашади ва жараённи ўтказиш имкони бўлмай қолади.



4.52-рasm. Турбокомпрессорли буглатиш қурилмаси.
 1 - буглаткич;
 2 - турбокомпрессор.

$$G_6 c_6 t_6 + D \cdot i'' + W \cdot i_c = G_{ox} \cdot c_{ox} \cdot t_{ox} + W \cdot i + (D + W) \cdot i' + Q_{\dot{u}yк} \quad (4.179)$$

бундан иситувчи буғ сарфи:

$$D = G_{ox} \frac{c_{ox} t_{ox} - c_6 t_6}{i'' - i'} + W \frac{i - c_6 t_6 - i_c}{i'' - i'} + \frac{Q_{\dot{u}yк}}{i'' - i'} \quad (4.180)$$

бу ерда i_c иккиламчи буғнинг турбокомпрессорда сиқилгандан кейинги солиштирма энтальпияси, кЖ/кг.

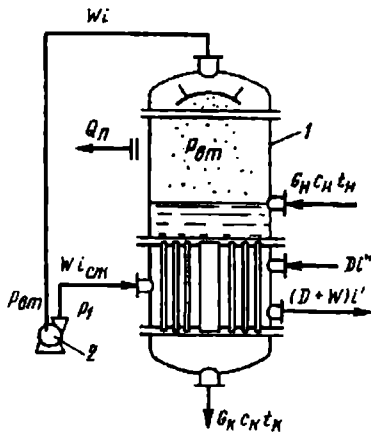
(4.176) ва (4.180) тенгламаларни таққослашдан кўриниб турибдики, иккиламчи буғлар энтальпиясини ошириш ҳисобига иситувчи буғ сарфи i_c қийматга камроқ сарфланади:

$$D = W \frac{i - c_6 t_6 - i_c}{i'' - i'} \quad (4.181)$$

Турбокомпрессорда сарфланаётган қувват миқдори ушбу тенгламадан топилади:

$$N = \frac{W(i_c - i)}{3600 \eta_{ad} \cdot \eta_{мех}} \quad (4.182)$$

бу ерда η_{ad} - турбокомпрессорнинг адиабатик ф.и.к., $\eta_{мех}$ - электр юриткич ва юритмаларнинг механик ф.и.к.



4.53-расм. Инжектор иссиқлик насосли буғлатиш қурилмаси.
1- буғлатгич;
2- иссиқлик насоси.

Буғ-инжектор иссиқлик насосли буғлаткичда иситувчи буғ инжекторга узатилади (4.53-расм). Буғ-инжектор Вентури трубасти типдаги мослама бўлиб, уни ясашга кўп металл сарфланмайди. Инжектор ишлаши пайтида вакуум ҳосил бўлади ва буғлаткичда ажралиб чиққан, босими $p_{уб}$ ва энтальпияси i бўлган, иккиламчи буғни у сўриб олади.

Иситувчи буғни ҳар бир массавий бирлиги иккиламчи буғнинг m массавий бирлигини сўриб олади. Натижада $D(1+m)$ миқдорда иситувчи буғ олинади, лекин унинг босими бирламчи буғнинг босимидан паст, иккиламчи буғникидан эса юқори бўлади. $W \cdot m D$ миқдордаги буғ қурилмадан бошқа мақсадлар учун ажралиб олинади.

Жараённинг иссиқлик баланси уш-

бу тенглик билан ифодаланади:

$$D \cdot (1 + m) \cdot i_c + G_6 c_6 t_6 = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + W \cdot i + D \cdot (1 + m) \cdot i' + Q_{\dot{u}yк} \quad (4.183)$$

бундан буғ сарфи:

$$D = G_{ox} \frac{c_{ox} t_{ox} - c_6 t_6}{(1 + m) \cdot (i_c - i')} + W \frac{i - c_6 t_6}{(1 + m) \cdot (i_c - i')} + \frac{Q_{\dot{u}yк}}{(1 + m) \cdot (i_c - i')} \quad (4.184)$$

бу ерда $m = 0,5 \dots 1,0$ - инжекция коэффиценти.

(4.184) тенгламанинг таҳлили шуни кўрсатадики, иссиқлик насос ёрдамида буғлатиш жараёнида, иситувчи буғ сарфи оддий буғлатишга қараганда $(1+m)$ марта кам бўлади.

Инжекторли буғлаткичлар температура депрессияси паст ва иккиламчи буғ босими юқори бўлган эритмаларни буғлатиш учун қўлланилади. Агар, иккиламчи буғ босими камайиб кетса, инъекция коэффиценти m ҳам камаяди. Бундай ҳолларда иситувчи буғ сарфи кўпайиб кетади ва иссиқлик насосли буғлаткичларни ишлатиш мақсадга мувофиқ эмас.

4.17. Буғлаткичлар тузилиши ва ишлаш принциплари

Буғлатиш қурилмаларини классификациялаш усуллари кўп. Лекин, буғлатиш қурилмаларини ишлаш интенсивлигини характерловчи эритма циркуляциясининг тури ва қарралиги классификациялашнинг асосий белгилари деб ҳисоблаш мумкин. Кимё ва бошқа саноатларда уч хил буғлатиш қурилмалари кенг тарқалган:

1. Эркин (табiiй) циркуляцияли буғлатиш қурилмалари;
2. Мажбурий циркуляцияли буғлатиш қурилмалари;
3. Юпқа қатламли (плёнкали) буғлатиш қурилмалари.

Замонавий буғлатиш қурилмаларининг иситиш юзалари 10...1800 м². Буғлаткичлар конструкцияларини танлашда эритмаларнинг физик ва иссиқлик хоссалари, кристалланишга мойиллиги, юқори температураларга чидамлилиги, ҳар бир корпусдаги фойдали температуралар фарқи, иссиқлик алмашиниш қурилмасининг юзаси, технологик хусусиятлари ҳисобга олиниши зарур.

Буғлатиш қурилмалари утлеродли, легирланган ва икки қатламли пўлатлардан тайёрланади.

Қуйида, саноатда энг кенг тарқалган, типик буғлаткичлар конструкциялари келтирилади.

Ички иситувчи камерали ва марказий циркуляцион трубали буғлаткич. Вертикал қобиқ 1 нинг пастки қисмида иситиш камераси 2 жойлашган. Ўз навбатида иситиш камераси иккита тешикли панжара ва унга развальцовка усулида маҳкамланган қайнаш трубалари 3 дан таркиб топган. Иситиш камерасининг ўртасига қайнаш трубаларига қараганда диаметри каттароқ циркуляцион труба 4 ўрнатилган бўлади.

Иситиш камерасининг трубалараро бўшлиғига иссиқлик элткич, яъни сув буғи юборилади.

Эритма эса қурилманинг тешикли труба панжараси устига узатилади ва циркуляцион труба орқали пастга оқиб тушади. Сўнгра, иситиш натижасида зичлиги камайиб, қайнаш трубалари бўйлаб тепага кўтарилади ва труба ичидан маълум бир масофада қайнайди. Ҳосил бўлган иккиламчи буғ сепарацион бўшлиқ 5 га кўтарилади ва томчи ушлагич 6 да инерцион қуч таъсирида майда эритма томчиларидан ажратилади. Ундан кейин, иккиламчи буғ қурилмадан чиқиб кетади.

Қуюқлаштирилган эритма конуссимон тубдаги штуцер орқали оралиқ ёки тайёр маҳсулот сифатида чиқарилади.

Юқорида қайд этилгандек қайнаш ва марказий (циркуляцион) трубада эритманинг циркуляцияси унинг зичликлари фарқи остида рўй беради. Эритма зичлиги фарқининг ҳосил бўлишига сабаб, иситиш камераси юзасининг марказий трубаникидан анча катталигидир.

Маълумки, иситувчи камера трубаларида эритмадан буғ ажралиб чиқиши, марказий трубага қараганда анча интенсив бўлади. Демак, қайнаш трубаларида эритманинг зичлиги, марказий трубаникидан пастроқ бўлади. На-

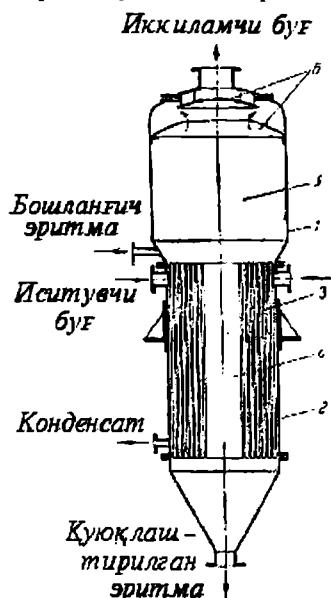
тижада, зичликлар фарқи таъсири остида эритма эркин циркуляция қилади ва иссиқлик ўтказиш жараёни жадаллашади. Ундан ташқари, эритма циркуляцияси труба юзасига сополсимон, ғовак қатлам (накись) ўтириб қолишига қаршилиқ кўрсатади.

Бу турдаги қурилмалар вакуум остида ишлаганда, қайнаш температураси пасаяди. Демак, паст босимли иссиқлик элтикичлардан фойдаланиш мумкин. Ушбу усулда юқори температураларга бардош беролмайдиган эритмаларни буғлатиш тавсия этилади.

Буғлатиш жараёнида вақт ўтиши билан эритманинг физик ва иссиқлик-диффузион хоссалари ўзгаради. Бу ҳол иссиқлик бериш жараёнига салбий таъсир кўрсатиши мумкин.

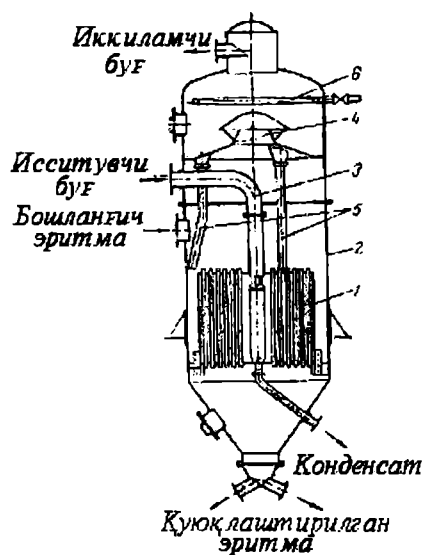
Қурилманинг камчиликлари: трубалар тешикли панжаларларга қаттиқ, кўзгалмас қилиб маҳкамланганлиги учун қобиқ ва трубаларнинг температура таъсирида узайишига йўл қўймайди; марказий труба иситиш камерасининг ичида ўрнатилгани учун температура фарқи кам бўлади, натижада зичликлар фарқи ҳам оз бўлади, яъни циркуляция қарралиги камаёди.

Осма иситувчи камерали буғлаткич. Ушбу турдаги қурилмаларда иситувчи камера 1 ўз обечайкасига эга бўлиб, қобиқ 2 нинг пастки қисмига эркин, кўзгалувчан қилиб ўрнатилган. Иситувчи буғ труба 3 орқали узатилади ва камера 1 нинг трубалараро бўйлиғига юборилади. Иссиқлигини берган буғ конденсат ҳолида ҳамда иситувчи камеранинг пастки қисмидан чиқарилади. Иси-ган эритма эса, қайнаш трубаларида юқорига кўтарилади ва эркин циркуляция таъсирида буғлатиш жараёни содир бўлади (4.55-расм).



4.54-расм. Ички иситувчи камера ва марказий циркуляцион труба буғлатиш қурилмаси.

1 - қобиқ; 2 - иситувчи камера; 3 - қайнаш трубалари; 4 - циркуляцион труба; 5 - сепарацион бўшлиқ; 6 - томчи ушлагич.



4.55-расм. Осма иситувчи камерали буғлатиш қурилмаси.

1 - иситувчи камера; 2 - қобиқ; 3 - буғ труба; 4 - томчи ушлагич; 5 - тўкиш труба; 6 - ювиш учун тешикли труба.

Иккиламчи буғ томчи ушлагич 4 дан ўтиб қурилманинг тепасидан чиқиб кетади. Иккиламчи буғдан ажратиб олинган суёқлик труба 5 орқали пастга

оқизиб туширилади. Қурилма қайнаш трубаларининг ички ва ташқи юзаларида ҳосил бўлувчи ковакли қатлам (накипь) вақти-вақти билан сув билан ювилиб турилади.

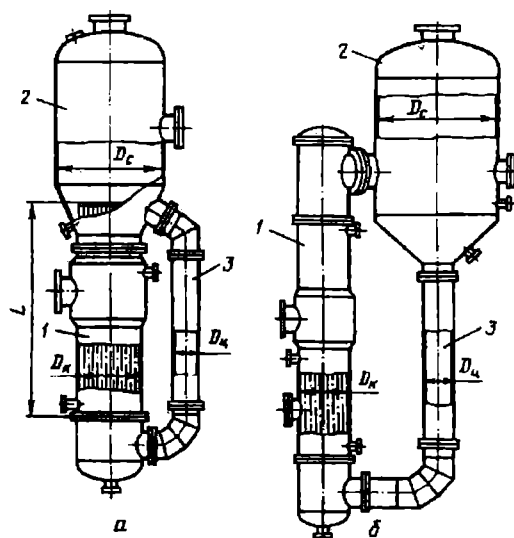
Бу қурилмада марказий циркуляцион труба иситувчи камера ташқарисида ўрнатилган бўлиб, катта кўндаланг кесимга эга. Шунинг учун ҳам эритма циркуляциясига ижобий таъсир этади.

Иситувчи камера эркин, ҳаракатчан ҳолда ўрнатилгани учун трубаларнинг тешикли панжаралардаги зичлиги бузилмайди. Ундан ташқари, осма ҳолатдаги камерани демонтаж қилиш осон.

Осма иситувчи камерали буғлаткич афзалликлари: эритмалар буғлатилиши интенсив; иситиш камераси осма ҳолда ўрнатилгани учун, температуралар фарқи катта бўлганда ҳам трубалар зичлиги ўзгармайди; иситувчи камеранинг яроқсиз трубаларини алмаштириш осон; эритма циркуляциясининг карралиги катта; қаттиқ, ковакли қатлам кам ҳосил бўлади.

Буғлаткич камчиликлари: иситувчи элткич ва конденсатнинг трубалар орқали кириши ва чиқиши қийин; металл сарфи катта; қовушоқлиги юқори эритмаларни буғлатиш самардорлиги паст; эритма трубаларга ёпишиб қолади.

Эркин циркуляцияли буғлаткичлар тузилиши содда ва кристалланмайдиган, ўртача қовушоқликли суюқликларни буғлатиш учун қўлланилади (4.56-расм).



4.56-расм. Эритмаси эркин циркуляция қиладиган буғлаткичлар.

а - иситувчи камераси ажратилган буғлаткич;

б - иситувчи камераси ташқарига ўрнатилган буғлаткич;

1- иситувчи камера; 2-сепаратор; 3-циркуляцион труба.

D_c , D_k , D_n - сепаратор, иситувчи камера ва сепарацион труба диаметрлари; L - камера узунлиги.

Буғлатиш қурилмаси сепаратор, иситувчи камера ва циркуляцион трубадан ташкил топган. Сепаратор эллиптик қопқоқли цилиндрик қобикдан иборат бўлиб, иситувчи камерага болтлар ёрдамида бирлаштирилган. Унда, иккиламчи буғни томчилардан ажратиш учун турли конструкцияли қайтаргичлар ўрнатилади (4.56а-расм), Иситувчи камера эса, вертикал қобик-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаси типиде ясалган бўлиб, трубалараро бўшлиғига буғ юборилади ва трубалар ичида эритма қайнатилади.

Сепаратор ва иситувчи камералар пастки қисмлари циркуляцион труба билан бирлаштирилган. Циркуляцион ва қайнатиш трубаларидан таркиб топган туташган системада табиий циркуляция ҳосил бўлади.

Агар, трубаларда эритма қайнаш даражасигича иситилса, ундаги бир қисм суюқлик буғланиши натижасида трубаларда буғ суюқлик аралашмаси ҳосил бўлади. Албатта, бу аралашма зичлиги суюқлик зичлигидан кичикдир. Шундай қилиб, циркуляцион трубадаги суюқлик массаси, қайнаш трубадаги суюқликдан катта бўлиши аниқ. Натижада, қайнаш труба — буғ бўшлиғи циркуляцион труба трубалар ва ҳоказо йўли бўйича эритма циркуляцион ҳаракатланади.

Циркуляция пайтида қайнаётган суюқлик томонидаги иссиқлик бериш коэффициенти ортади ва труба юзасида қаттиқ, ковакли ифлослик қатлами ҳосил бўлиши камаяди.

Табиий циркуляция бўлиши учун иккита шарт бажарилиши зарур:

1) Буғ - суюқлик аралашма қатламини мувозанатда ушлаб туриш ва зарур тезлик ҳосил қилиш учун циркуляцион трубадаги суюқлик сатҳининг баландлиги етарли бўлиши керак;

2) Буғ - суюқлик аралашмаси иложи борича кам зичликли бўлиши учун қайнаш трубаларида буғ ажралиб чиқиш интенсивлиги етарли миқдорда бўлиши даркор.

Эритма ва буғ орасидаги температуралар фарқи кўп ва қайнаш зонасида напорнинг йўқотилиши кам бўлгани учун, циркуляция тезлиги 1,8...2 м/с ни ташкил этади.

Агар, циркуляция тезлиги юқори бўлса, буғлаткичнинг иш унумдорлиги ва иссиқлик алмашилиш жараёнининг интенсивлиги катта бўлади.

4.56-расмда эскириб қолган марказий циркуляция труба буғлаткичдан тубдан фарқ қиладиган қурилма келтирилган. Маълумки, марказий циркуляцион труба буғлаткичларда температуралар фарқи кичик ва циркуляция интенсивлиги паст бўлади. Қайнаш трубаларида буғ ҳосил бўлиши эритманинг физик хоссалари, труба девори ва суюқлик ўртасидаги температуралар фарқи билан белгиланади. Эритманинг қовушоқлиги қанчалик кам бўлса, шунчалик буғ ажралиб чиқиши ва циркуляция тезлиги кўп бўлади. Интенсив циркуляцияга эришиш учун иситувчи буғ ва эритма орасидаги фарқ 10°C дан кам бўлмаслиги керак.

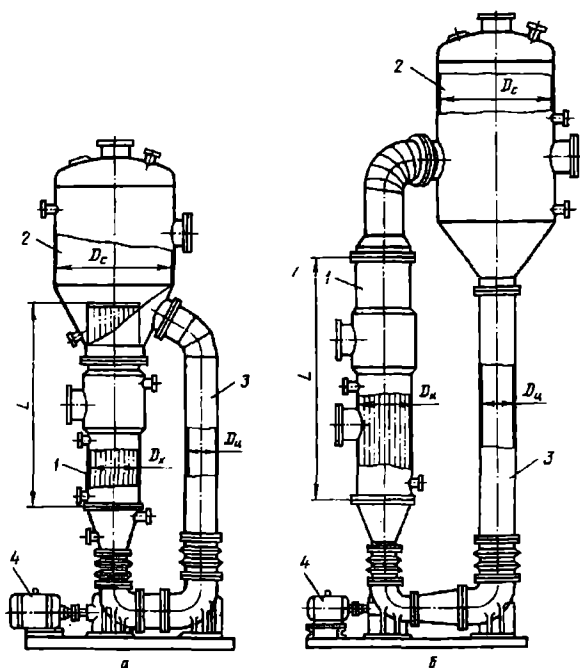
4.56-расмда келтирилган буғлаткичларнинг иссиқлик алмашилиш юзаси 10...1200 м², диаметрига қараб қайнаш трубаларнинг узунлиги 3...9 м бўлади. Қайнаш трубаларнинг диаметри 25, 38 ва 57 мм бўлиши мумкин. Иситувчи камерадаги ортиқча босим 0,3...1,6 МПа, сепаратордаги вакуум эса - 93,0 кПа. Циркуляцион труба қўндаланг кесим юзасининг иситувчи камера юзасига нисбати 0,3 дан кам бўлмаслиги зарур.

Мажбурий циркуляцияли буғлаткичлар эритма циркуляциясининг интенсивлиги ва иссиқлик ўтказиш коэффициенти ошириш имконини беради. Бундай қурилмаларда қовушоқлиги катта бўлган эритмаларни ҳам буғлатиш мумкин (4.57-расм). Эритма циркуляцияси пропеллерли ёки марказдан қочма типдаги насослар ёрдамида амалга оширилади.

Бошланғич эритма иситувчи камера 1 нинг пастки қисмига юборилса, қуюқлаштирилган эритма эса сепараторнинг пастки қисмидан чиқарилади (4.57a-расм).

Эритма қайнаш трубалари учидан озгина пастроқ сатҳда ушлаб турилади. Иситувчи камера трубаларидаги эритма тезлиги 1,2...3,5 м/с бўлади. Эритма циркуляция қиладиган система суюқлик билан тўлиб тургани учун насос иши фақат гидравлик қаршиликларни енгиш учун сарфланади. Қайнаш трубалари-

нинг пастки қисмидаги босим, тепа қисминикидан, труба ичидаги суюқлик устини ва қаршиликлар йиғиндисига тенг миқдорда ортиқ бўлади. Шунинг учун, трубанинг кўп қисмида эритма қайнамасдан, фақат иситилади. Труба учининг маълум бир қисмидагина эритма қайнайди. Насос узатаётган суюқлик миқдори буғланаётган сувдан бир неча баробар ортиқдир. Шунинг учун ҳам, суюқлик массасининг қайнаш трубасидан чиқаётган буғ суюқлик аралашмадаги буғ массасига нисбати жуда катта.



4.57-расм. Эритма мажбурий циркуляция қиладиган буғлаткичлар.

а- иситувчи камера ажратилган буғлаткич; б- иситувчи камераси ташқарида ўрнатилган буғлаткич; 1 иситувчи камера; 2 - сепаратор; 3 - циркуляцион труба; 4 - насос.

Бу турдаги буғлаткичлар иситиш юзаси $25 \dots 1200 \text{ м}^2$, қайнаш трубаларининг узунлиги $4 \dots 9 \text{ м}$, диаметри 25, 38, 57 мм бўлиши мумкин. Иситувчи камерадаги ортиқча босим $0,3 \dots 1,0 \text{ МПа}$, сепаратордаги вакуум эса 93 кПа . Циркуляцион труба кўндаланг кесими юзасининг иситувчи камера юзасига нисбати 0,9 дан кам бўлмаслиги керак.

Мажбурий циркуляцияли буғлаткичлар афзалликлари: иссиқлик ўтказиш коэффициенти жуда катта (эркин циркуляциялиги қараганда 3...4 марта кўп), шунинг учун иситиш юзаси кам бўлса ҳам бўлади; кичик температуралар фарқида ($3 \dots 5^\circ\text{C}$) ҳам самарали ишлайди; кристалланишга мойил эритмалар буғлатилганда, иссиқлик алмашилиш юзаларида ифлосликлар ёпишиб қолмайди.

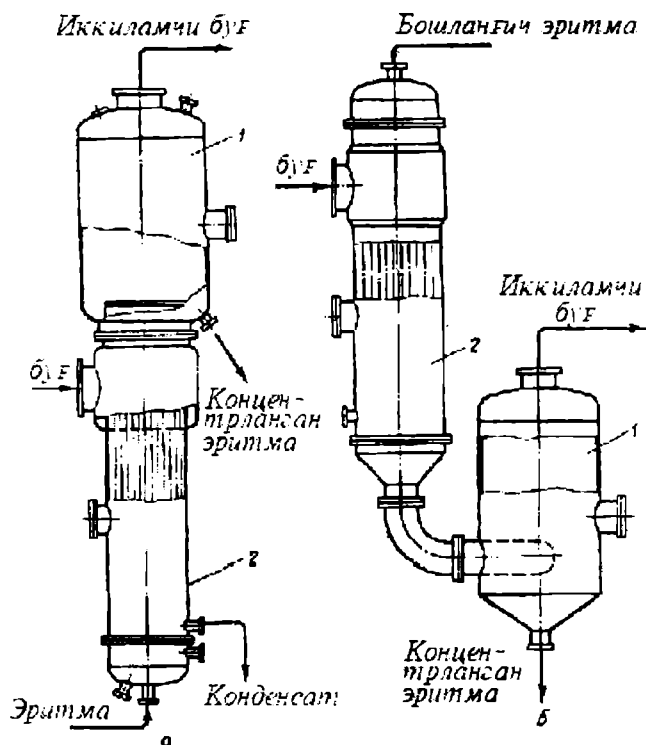
Бундай қурымаларнинг камчилиги шундаки, насосни ишлатиш туфайли энергия сарфи кўпаяди.

Одатда, буғлаткичлар қиммат легирланган металллардан ясалганда, ҳамда овушоқлиги юқори ва кристалланишга мойил эритмаларини буғлатиш учун ўллаш юқори самара беради.

Юпқа қатламли (плёнкали) буғлаткичлар юқори температурага чидамсиз эитмаларни қуюқлаштириш учун қўлланилади. Қурилма трубалари орқали эитманинг бир марта ўтиши натижасида буғлатиш жараёни содир бўлади.

Эритманинг ҳаракат йўналишига қараб, кўтарилувчи ва пастка оқиб ту-
гувчи юпқа қатламли буғлаткичларга бўлинади.

Юпқа қатламли буғлаткичлар иситувчи камера ва сепаратордан таркиб
олган бўлади (4.58-расм).



4.58-расм. Юпқа қатламли буғлаткичлар.

а — кўтарилувчи қатламли буғлаткич;

б — пастка оқиб тушувчи қатламли буғлаткич.

1 — сепаратор; 2 — иситувчи камера.

Иситувчи камера трубалари 7...9 м узунликда бўлиб, сув буғи ёрдамида ситилади.

4.58а-расмда кўтарилувчи қатламли буғлаткич кўрсатилган. Бошланғич ритма узлуксиз равишда иситувчи камеранинг пастки қисмига юборилади ва рубаларнинг 20..25% узунлигини тўлдириб туради. Трубаларнинг қолган исми буғ - суюқлик аралашмаси билан банд бўлади.

Ушбу аралашма труба деворида юпқа қатламли суюқликка ва унинг қида буғ агрегат ҳолатига ажралган бўлади. Буғ оқими ҳаракати пайтида уюқлик қатламига ишқаланиш оқибатида юпқа қатлам турбулизацияга учрай-и ва унинг юзаси жадал равишда янгилашиб туради. Шу омиллар ҳисобига юқори иссиқлик ўтказиш коэффиценти ва катта буғлатиш юзасига эришила-и.

4.586-расмда пастга оқиб тушувчи қатламли буғлаткич тузилиши келтирилган. Бундай қурилмада бошланғич эритма иситувчи камеранинг юқори қисмига узатилади.

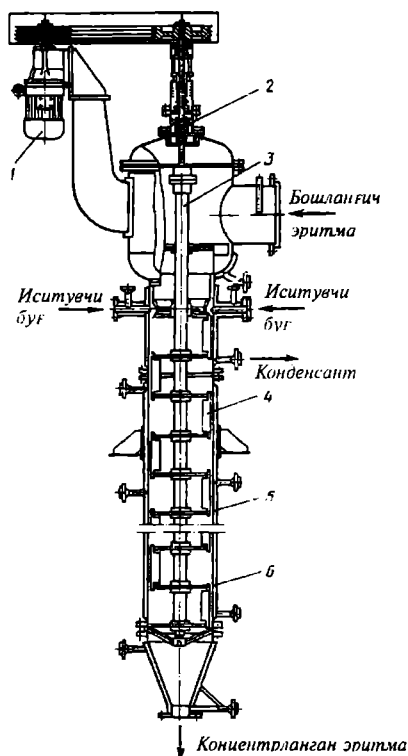
Қуюқлаштирилган эритма, сепараторнинг пастки қисмидан чиқарилади.

Юпқа қатламли буғлаткичларнинг иссиқлик алмашилиш юзаси 63...2500 м² бўлиб, 38 ва 57 мм ли трубалардан ясалади.

Иситувчи камерадаги ортиқча босим 0,3...1,0 МПа, сепаратордаги вакуум эса - 93 кПа.

Камчиликлари; иситувчи буғ босими тебраниб турган ҳолларда ишлаши бир текисда эмас. Агар, иш режими бузилса, қурилмани циркуляцияли ишлаш режимига ўтказиш мумкин.

Ротор — юпқа қатламли буғлаткичлар юқори температурага чидамсиз, қовушоқ ва пастасимон материалларни, ҳамда суспензияларни буғлатиш учун ишлатилади (4.59-расм).



4.59-расм. Ротор - юпқа қатламли буғлаткич.

- 1 - юритма; 2 - зичлагич;
3 - ротор; 4 - паррак;
5 - қобик; 6 - филоф.

Бундай буғлаткичлар цилиндрсимон ёки конуссимон қобик 5 дан иборат бўлиб, ташқариси иситувчи филоф 6 билан ўралган. Қобик 5 ичида ротор 3 айланиб, эритмани цилиндрик қобик деворига юпқа қатлам кўринишда пуркайди. Айрим ҳолларда эса, оқимча ёки томчилар кўринишида ҳам сочиб юбориш мумкин.

Девор бўйлаб тақсимланган эритма аста секин буғланади ва деворда паста ёки кукуннинг юпқа қатлами ҳосил бўлади. Ушбу қатлам роторнинг парраклари ёрдамида қириб ташланади. Бу турдаги қурилмаларда юқори иссиқлик алмашилишга эришиш мумкин, аммо буғ билан суюқликнинг илиниб чиқиб кетиши кам бўлади.

Иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаш учун ушбу формула тавсия этилади:

$$\alpha = 110 \cdot \left(\frac{n}{\mu} \right)^{0,33} \lambda \quad (4.185)$$

бу ерда n - айланиш частотаси, айл/мин; μ - динамик қовушоқлик, Па·с; λ муҳитнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/м·К.

Иссиқлик бериш коэффициентини бошқа формуладан ҳам ҳисоблаб топса бўлади:

$$Nu = 0,65 \cdot Re^{0,25} \cdot Re_y^{0,43} \cdot Pr^{0,3} \cdot z^{0,33} \quad (4.186)$$

бу ерда z - ротордаги парраклар сони.

$$Re_y = \frac{d^2 \cdot n}{\nu} \quad (4.187)$$

Қобик девори ва парраклар орасидаги тирқиш 0,04...1,5 мм ни ташкил этади. Бошланғич эритма қурилманинг юқори қисмига узатилади ва цилиндрик девор бўйлаб юпқа қатлам кўринишида тақсимланади. Парракларнинг айланма тезлиги 12 м/с

Қурилма конструкцияси роторни ўқ бўйлаб сиқилишига имкон беради. Натижада, эритма қатлами қалинлигини ростлаш ва жараён тезлигини ошириш мумкин.

Ротор — юпқа қатламли буғлаткичлар жуда юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга, яъни 2300..2700 Вт/м²·К. Лекин, бу қурилмалар тузилиши мураккаб, ясаш қийин ва жуда қиммат. Ундан ташқари, иссиқлик алмашилиш юзаси кам бўлгани учун, иш унумдорлиги юқори эмас.

Иссиқлик насосли буғлаткичлар. Айрим пайтларда технологик сабабларга кўра, кўп корпусли буғлатиш қурилмаларини қўллаб бўлмайди. Масалан, юқори температураларга чидамсиз эритмаларнинг сифат кўрсаткичларини сақлаб қолиш учун иссиқлик насосли, бир корпусли буғлаткичларни ишлатиш мақсадга мувофиқдир.

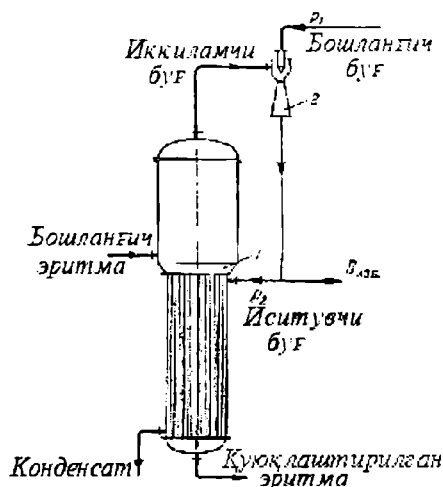
4.60-расмда буғлаткич 1 ва оқимчали компрессор 2 дан иборат бир корпусли буғлатиш қурилмаси келтирилган.

Бундай қурилмаларда иккиламчи буг босими иситувчи буг босимигача инжекторли компрессорда сиқилади. Сўнг, сиқилган буг сиқиш учун буғлаткичга йўналтирилади. Демак, иссиқлик насосли буғлатиш қурилмаларида иккиламчи буг температураси иситувчи буг температурасигача кўтарилади, яъни компрессорга сарфланган энергия, иккиламчи буг температурасини оширишга кетади.

Температура депрессияси кичик бўлган эритмаларни буғлатиш учун иссиқлик насосларини қўллаш жуда ўринли ва кўп корпусли буғлатиш схемаларида иситувчи бугни тежаш имконини беради.

Иссиқлик насосига сарфланган энергия миқдори иситувчи ва иккиламчи буғлар тўйиниш температуралари фарқига пропорционалдир. Шунинг учун, температура депрессияси катта бўлган эритмаларни, ушбу усулда буғлатиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас.

Одатда, иссиқлик насосли буғлатиш қурилмалари ва эритувчининг қайнаш температураларининг фарқи 5...15°С бўлган ҳолларда қўллаш мумкин. Демак, эритманинг қайнаш температураси катта бўлса, ушбу усул ишлатилмайди. Бунга сабаб, иккиламчи бугни иситувчи буг босимигача сиқиш учун кўп энергия сарф бўлишидир.



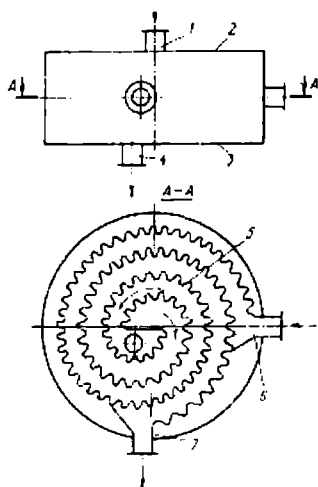
4.60-расм. Иссиқлик насосли бир корпусли буғлатиш қурилмаси.
1 — буғлаткич; 2 — оқимчали (инжекторли) насос.

4.18. Перспектив иссиқлик алмашилиш қурилмалари

Маълум қурилмага қараганда, янги иссиқлик алмашилиш қурилмаси юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентли, емирилишга бардош, металл ва ис-

сиқлик элткични узатишга энергия сарфи кам каби кўрсаткичларга эга бўлиши зарур.

Бундай иссиқлик алмашиниш қурилмаларини лойиҳалаш у улларидан бири — иссиқлик беришни чегаралайдиган, суяқлик юпқа қатламини бузадиган юзали қурилмалар яратишдир. 4.61-расмда самарадор пластина — спиралсимон иссиқлик алмашиниш қурилмаси келтирилган.



4.61-расм. Пластина спиралсимон иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1,4,6,7 — штуцерлар;
2,3 — текис қои қоқлар;
5 — гофриланган лист.

Бу турдаги қурилмалар спирал бўйича ўрилган гофриланган лист 5 ва иккала томонидан текис қоққоқ 2 лардан таркиб топган. Иссиқлик элткичларни кириш ва чиқиши учун 1,4,6,7 штуцерлар мўлжалланган. Муҳитларнинг қарама қарши йўналишли ҳаракатидаги биринчи иссиқлик элткич штуцер 6 дан кириди ва гофриланган каналлар орқали ўтиб, штуцер 4 дан чиқарилади. Иккинчи иссиқлик элткич эса, штуцер 1 дан кириб, гофриланган каналдан ўтиб штуцер 7 дан чиқади.

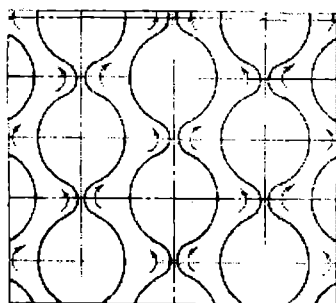
Гофриланган листлардан ясалган каналларда сунъий равишда ҳосил қилинган гофрлар ёки макро гадир-будурликлар дискрет жойлашган бўлади. Ушбу гадир-будурликлар девор юзасидаги суяқлик чегаравий қатламни бузади ва иссиқлик алмашиниш жараёнини интенсивлайди. Ундан ташқари, каналлар спиралсимон бўлгани учун суяқлик оқимлари

ҳаракати даврида марказдан қочма кучлар пайдо бўлади. Бу омил ҳам жараённи жадаллашига олиб келади.

Бу турдаги қурилмалар жуда юқори иссиқлик — энергетик характеристикаларга эгадир. Масалан, пластина-спиралсимон иссиқлик алмашиниш қурилмаларида 1 м^2 юзага сарфланадиган қувват миқдори оддий турбулизаторсиз қобиқ-трубали қурилмаларникига қараганда тахминан 10 марта кам.

Германия фирмаси «Бавария Анлагенбау» томонидан «Бабекс» типдаги иссиқлик алмашиниш қурилмасида ҳам иссиқлик элткичнинг чегаравий қатламини бузилади ва жараён интенсивлашади (4.62-расм). Бу қурилма қобиқ-трубали ва пластина иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг энг яхши хусусиятларини ўз ичида мужассамлаган.

Иссиқлик алмашиниш юзалари 0,2...1,0 мм қалинликдаги штампланган металл листлардан иборат. Металл листда ярим доира шаклидаги ариқчалар штамплаш усулида қилинади. Штампланган листлар



4.62-расм. «Бабекс» типдаги иссиқлик алмашиниш қурилмасининг комбинациялашган трубалар ўрами.

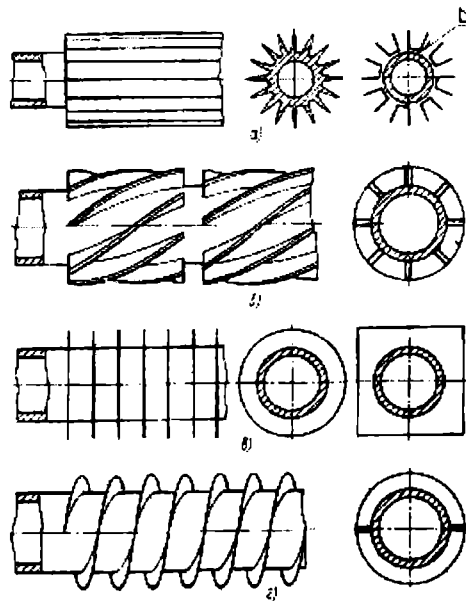
симметрик ҳолатда кетма-кет йиғилиб маҳкамланади ва натижада трубалар ва трубалараро бўшлиқлар ҳосил бўлади. Суюқлик гофрларни ташқи томонидан оқиб ўтиши пайтида тўлқинсимон ҳаракатланади. Листлар (1500 ва ундан ортиқ) йиғилиб блок ҳосил қилади ва унинг юзаси 7200 м² гача бўлиши мумкин.

Қурилманинг трубалар бўшлиғи 8,4 МПа, трубалараро бўшлиғи эса 10,5 МПа гача бўлган босимларга бардош бера олади. Иссиқлик элткичларнинг температураси 130...760⁰С оралиқда бўлиши мумкин.

Маълум кимёвий технология жараёнларида кимёвий агрессив иссиқлик элткичлар қўлланилади. Шунинг учун, қурилма ясада легирланган ва махсус материаллардан фойдаланилади.

Қобиқ-трубали иссиқлик алмашилиш қурилмаларида жараёни жадаллаштиришнинг асосий муаммоси — бу иссиқлик алмашилиш юзасининг қарама қарши томонларидаги термик қаршилиқларни тенглаштириш ёки бир-бирига яқинлаштиришдир. Бунга эришиш учун иссиқлик алмашилиш юзаси *F* оширилади ёки иссиқлик элткичнинг оптимал гидродинамик режими ташкил этилади.

Жараён гидродинамикасини яхшилашдан мақсад, оқимнинг бугун қўндаланг кесимида температура ва тезлики текислашдир. Натижада, қовушоқ, чегаравий қатламнинг термик қаршилиғи камаяди. Кўпчилик олимларнинг тажрибалари шунини кўрсатдики, иссиқлик алмашилиш жараёни интенсивлигини пасайтирувчи асосий омиллардан бири, бу суюқлик чегаравий юпқа қатламининг қалинлигидир. Шунинг учун, иссиқлик элткичларнинг ҳаракати пайтида трубалараро бўшлиқ трубаларида ҳосил бўладиган чегаравий юпқа қатламни бузадиган турли шаклдаги турбулизаторлар қўлланилади (4.63-расм).



4.63-расм. Самарадор қиррали трубалар

а — бўйлама қиррали; б — қирқма, спиралсимон қиррали; в — қўндаланг қирқма; г — спиралсимон қиррали.

Қиррали трубаларда на фақат иссиқлик алмашилиш юзаси F ортади, балки оқим турбулизацияси жадаллашганлиги сабабли қиррали юзадан иссиқлик элткичга иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати ҳам кўпаяди. Лекин, шу билан бирга, гидравлик қаршилик ҳам ошади, яъни суюқликни уза-тиш учун бўладиган қўшимча энергия сарфини ҳам инобатга олиш керак.

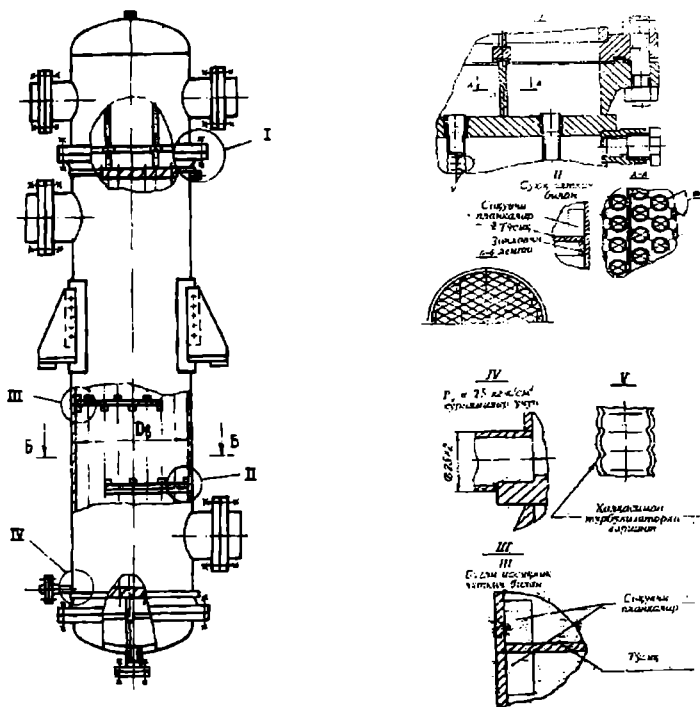
Трубалар самарадорлиги қовурға шакли, геометрик ўлчами ва материа-лига боғлиқ бўлиб, иссиқлик бериш коэффициенти билан характерланади.

Иссиқлик бериш коэффициенти озиқдорда ошириш учун пўлатдан, кўп миқдорда ошириш учун эса — мис ва алюминийдан ясалган қовурғалар қўллаш мақсадга мувофиқ.

Труба ичида ҳосил бўладиган чегаравий қатламни бузиш ва жараёни интенсивлаш учун сунъий равишда дискрет жойлаштирилган силлиқ диафрагма, ғадир-будурлик ва мосламалар жуда юқори самара беради. Ҳар томонлама мукамал ва самарадор иссиқлик алмашилиш юзали (4.42-расм) қурилмалардан бирининг тузилиши 4.64-расмда келтирилган.

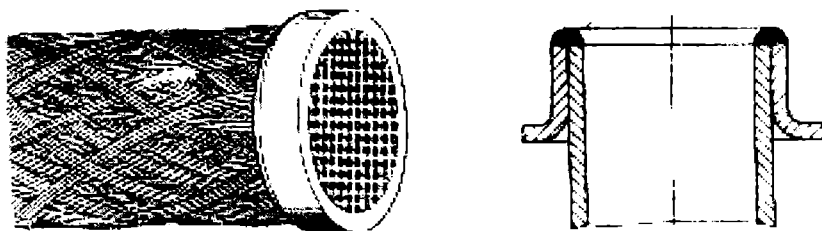
Бу турдаги труба қурилмаларда, ҳаттоки ламинар режимда ҳам, иссиқлик бериш коэффициенти оддий трубаларникига қараганда 20...100% га ортиқ бўлади. Агар, ушбу қурилма трубаларида дискрет ясалган ботиқ ариқча ва ички томонида силлиқ, бўртиқ тўсиқлар жойлашиш қадами $t/D = 0,25...1,0$, $d/D = 0,88...0,94$ ва $Re \geq 10^4$ бўлганида жараён интенсивлиги $Nu/Nu_{mex} = 1,8...3,2$ марта ортади, гидравлик қаршилик эса - $\xi/\xi_{mex} = 1,8...7$ баробар ўсади.

Фторопласт каби материалларнинг кашф этилиши билан емирилишга бардош кимёвий иссиқлик алмашилиш қурилмаларини яратиш имкони пайдо бўлди. Бундай қурилмалар диаметри 2...5 мм ли трубалардан тайёрланади. Қурилмалардаги босим $P = 1,0$ МПа ва иссиқлик элткичлар орасидаги температуралар фарқи 200°C гача бўлиши мумкин. Одатда, фторопластдан ясаладиган қурилмалар қобиқ-труба тузилишли бўлади (4.65-расм).



4.64-расм. Самарадор қобиқ-труба иссиқлик алмашилиш қурилмаси.

Эгилувчан полимер трубалар ўрамининг учлари тешикли панжарага пайвандланади (4.65б-расм). Фторопласт трубали иссиқлик алмашиниш қурилмалари сульфат кислота, хлорли органик ва тиббиёт маҳсулотларини ишлаб чиқаришда қўлланилади.



4.65-расм. Фторопласт трубали иссиқлик алмашиниш элементи.

Самарадор қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларини яратишни яна бир усули — бу тешикли панжара қалинлигини иссиқлик алмашиниш девори ёки унга яқин қалинликда қилишдир (4.65б-расм). Бундай ҳолатларда, температуралар фарқи катта бўлишига қарамаслан, труба ва тешикли панжара маҳкамланиши жойида кучланишлар ҳосил бўлмайди. Натижада, линза компенсатор, U-симон труба ёки ҳаракатчан қалпоқчали конструкциялар қилишга ҳолат қолмайди.

Ундан ташқари, электромагнит майдонининг (ўта юқори частотаси СВЧ) нурланиш энергиясидан иссиқлик энергия манбаи сифатида фойдаланишнинг келажаги порлоқдир.

4.19. Қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларини ҳисоблаш

Қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмасида этил спирти (100%-ли) иситилмоқда. Этил спиртнинг массавий сарфи $G_f=25000$ кг/соат, температураси $t_{16}=30^\circ\text{C}$ дан $t_{1ox}=70^\circ\text{C}$ гача иситилмоқда ва у трубалараро бўшлиқда ҳаракатланмоқда. Иситувчи суюқлик — сув (тўйиниш босимидан юқори босимда) трубалар ичида ҳаракатланади ва температураси $t_{26}=170^\circ\text{C}$ дан $t_{ox}=130^\circ\text{C}$ гача пасаймоқда.

Иссиқлик ҳисоби

Ечиш:

Этил спиртнинг ўртача температураси

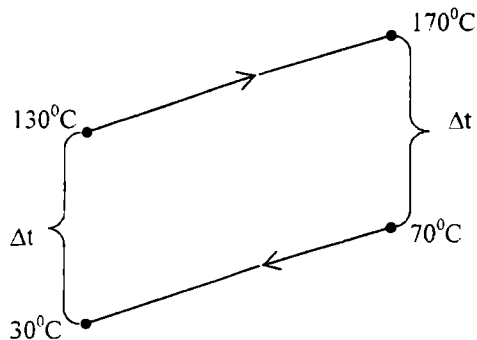
$$t_{\text{yp}} = \frac{t_{\text{с}} + t_{\text{ox}}}{2} = \frac{30 + 70}{2} = 50^\circ\text{C}$$

Этил спиртнинг $t_{\text{yp}}=50^\circ\text{C}$ даги физик-механик ва иссиқлик-диффузион хоссалари:

- зичлиги	$\rho_1 = 763$ кг/м ³ ;
- солиштирма иссиқлик сифими	$c_{p1} = 2954$ Ж/(кг·К);
- иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти	$\lambda_1 = 0,1745$ Вт/(кг·К);
- кинематик қовушоқлик коэффиценти	$\nu_1 = 0,918 \cdot 10^{-6}$ м ² /с;
ҳажмий кенгайиш коэффиценти	$\beta_1 = 1,175 \cdot 10^{-3}$ 1/К;
Прандтл сони	$Pr_{\text{fl}} = 11.$

Курилманинг иссиқлик юкламаси:

$$Q = G_1 \cdot c_{p1} (t_{1ov} - t_{1o}) = \frac{25000}{3600} \cdot 2954 \cdot (70 - 30) = 820555,6 \text{ Вт}$$



Ўртача температуралар фарқини аниқлаймиз:

$$\Delta t_{ка} = 170 - 70 = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{кн} = 130 - 30 = 100^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta t_{ка}}{\Delta t_{кн}} = \frac{100}{100} = 1$$

Ўртача температуралар фарқи ўртача арифметик температура сифатида топилади:

$$t_{yp} = \frac{100 + 100}{2} = 100^\circ\text{C}$$

Труба деворидан спиртга иссиқлик бериш коэффициентини $\alpha_1 = 140$ Вт/(м²·К) ва сувдан деворга эса $\alpha_2 = 415$ Вт/(м²·К) деб қабул қилиб оламиз. Легирланган Х18Н10Т маркали пўлатдан тайёрланган труба $t_{ym} = 100^\circ\text{C}$ даги иссиқлик ўтказиш коэффициентининг тахминий қийматини 2-2 жадвалдан 120 Вт/(м²·К) деб танлаб оламиз [5,6]:

Иссиқлик оқимининг зичлиги:

$$q_0 = k \cdot \Delta t_{yp} = 120 \cdot 100 = 12000 \text{ Вт/м}^2$$

Этил спирти ҳаракатланаётган бўшлиқдаги труба деворининг температураси

$$t_{w1} = t_1 + \frac{q_0}{\alpha_1} = 50 + \frac{12000}{140} = 135,7^\circ\text{C}$$

бу ерда $\alpha_1 = 140$ Вт/м²·К деб қабул қиламиз.

Сув ҳаракатланаётган труба деворининг температураси

$$t_{w2} = t_{w1} + \frac{q_0 \delta}{\lambda} = 135,7 + \frac{12000 \cdot 0,002}{50,7} = 136,2^\circ\text{C}$$

Унда, юқорида ҳисобланган иссиқлик юклама учун зарур юзани топамиз:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{820555,6}{120 \cdot 100} = 68,4 \text{ м}^2$$

Ушбу, яъни $F=68,4$ м² га мос қобик-труба стандарт иссиқлик алмаши-ниш қурилмасини 2-4 жадвалдан танлаймиз [5,6]:

- иссиқлик алмашиниш юзаси	$F = 69 \text{ м}^2$;
- қобиқ диаметри	$D = 800 \text{ мм}$;
- труба диаметри	$d = 25 \times 2 \text{ мм}$;
- трубалар сони	$n = 442$
- йўллар сони	$z = 2$
- труба узунлиги	$l = 2 \text{ м}$;
- трубалараро бўшлиқнинг энг тор кўндаланг кесимининг юзаси	$f_{\text{мт}} = 0,07 \text{ м}^2$;
- трубалараро бўшлиқ битта йўли кўндаланг кесимининг юзаси	$f_{\text{мп}} = 0,077 \text{ м}^2$.

Этил спиртнинг ўртача массавий тезлиги:

$$\omega_1 = \frac{G_1}{3600 A_{\text{пл}} \rho} = \frac{25000}{3600 \cdot 0,2854 \cdot 763} = 0,032 \text{ м/с}$$

бу ерда $f_{\text{мп}}$ ни қуйидаги формуладан ҳисоблаб топса ҳам бўлади

$$A_{\text{пл}} = \frac{\pi D^2}{4} - n \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14}{4} \frac{0,8^2}{4} - 442 \frac{3,14}{4} \frac{0,025^2}{4} = 0,2854 \text{ м}^2$$

Этил спиртнинг ҳаракат режими **Re** ни аниқлаш учун трубалараро бўшлиқнинг эквивалент диаметрини топамиз:

$$d_s = \frac{4f_{\text{мт}}}{\Omega_1} = \frac{D^2 - nd^2}{nd} = \frac{0,8^2 - 442 \cdot 0,025^2}{442 \cdot 0,025} = \frac{0,3638}{11,05} = 0,0329 \text{ м}$$

Этил спирти учун **Re** сони:

$$Re = \frac{\omega_1 d_s}{\nu_1} = \frac{0,032 \cdot 0,0329}{0,918 \cdot 10^{-6}} = 1142,9$$

Демак, этил спиртининг ҳаракат режими — ламинар, чунки $Re_{\text{пл}} = 1142,9 < 2300$.

Биринчи яқинлашишда $l/d_o = 2000/25 = 80$, яъни $l/d_o > 50$, унда $\epsilon_1 = 1$.
Прандтл критерийсини ҳисоблаймиз

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{3550 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}}{0,163} = 5,44$$

Грасгоф сони эса

$$Gr_{f1} = \frac{gd_2^3}{\nu_2} \beta_1 (t_{\text{wl}} - t_1) = \frac{9,81 \cdot 0,0329^3}{(0,918 \cdot 10^{-6})} \cdot 1,175 \cdot 10^{-3} (124,4 - 50) = 36180000$$

$$\begin{aligned}
 Nu_{f1} &= 0,15 \cdot Re_{f1}^{0,33} \cdot Pr_{f1}^{0,42} \cdot Gr_{f1}^{0,1} \left(\frac{Pr_{f1}}{Pr_{w1}} \right)^{0,25} = \\
 &= 0,15 \cdot 1143^{0,33} \cdot 5,44^{0,42} \cdot 36180000^{0,1} \cdot \left(\frac{11}{5,44} \right)^{0,25} = \\
 &= 0,15 \cdot 10,2 \cdot 2,04 \cdot 32 \cdot 1,19 = 118,86
 \end{aligned}$$

Труба деворидан этил спиртга иссиқлик бериш коэффициентни:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_{f1} \cdot \lambda_1}{d_s} = \frac{118,86 \cdot 0,1745}{0,0329} = 630,4 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Иссиқ сувнинг ўртача температурасини аниқлаймиз:

$$t_2 = \frac{t_{2\delta} + t_{2ox}}{2} = \frac{170 + 130}{2} = 150^\circ C$$

Сувнинг температураси $t_2 = 150^\circ C$ бўлган даврида унинг асосий параметрларини топамиз:

- зичлиги $\rho_2 = 917 \text{ кг/м}^3$;
- солиштира иссиқлик коэффициенти $c_{p2} = 4313 \text{ кЖ/(кг} \cdot \text{К)}$;
- иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти $\lambda_2 = 0,684 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$;
- кинематик қовушоқлиги $\nu_2 = 0,203 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- ҳажмий кенгайиш коэффициенти $\beta_2 = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$;
- Прандтл сони $Pr_{\Pi} = 1,17$.

Трубалардаги сувнинг сарфи:

$$G_2 = \frac{Q}{c_{p2}(t_{2\delta} - t_{2ox})} = \frac{820555,6}{4313(170 - 130)} = 4,76 \text{ кг/с}$$

Труба каналларидаги сувнинг ўртача массавий тезлиги:

$$\omega_2 = \frac{4G_2}{\pi d_s^2 n \rho_2} = \frac{4 \cdot 4,76}{3,14 \cdot 0,021^2 \cdot 442 \cdot 917} = 0,0374 \text{ м/с}$$

Рейнольдс сони

$$Re_{f2} = \frac{\omega_2 \cdot d_s}{\nu^2} = \frac{0,0374 \cdot 0,021}{0,203 \cdot 10^{-6}} = 3869$$

яъни, иссиқ сув ўтиш режимида ҳаракатланмоқда.

Грасгоф сонини ҳисоблаймиз:

$$Gr_{f2} = \frac{g d_b^3}{\nu_2^2} \beta_2 \cdot (t_{w2} - t_2) = \frac{9,81 \cdot 0,021^3}{(0,203 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot (150 - 135,7) =$$

$$= \frac{9,81 \cdot 9,26 \cdot 10^{-6}}{0,041 \cdot 10^{-12}} \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 14,3 = 32633931$$

Иссиқ суь оқими учун Нуссельт сонини топамиз:

$$Nu_{f2} = 0,15 \cdot Re_{f2}^{0,33} \cdot Pr_{f2}^{0,42} \cdot Gr_{f2}^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_{a2}}{Pr_{u2}} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,15 \cdot 3869^{0,33} \cdot 1,17^{0,42} \cdot 32633931^{0,1} \cdot \left(\frac{1,17}{1,22} \right)^{0,25} = 13,68$$

$$Pr_{w2} = \frac{c_2 \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4270 \cdot 0,196 \cdot 10^{-3}}{0,685} = 1,22$$

Иссиқ сувнинг $t_{w2} = 136,20^\circ\text{C}$ даги параметрлари қуйидагича [5,6]:

$$\lambda_2 = 0,685 \text{ Вт/(м·К)}$$

$$c_2 = 4270 \text{ Ж/(кг·К)}$$

$$\mu_2 = 0,196 \cdot 10^{-3}$$

Иссиқ сувдан деворга иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаймиз:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_{f2} \cdot \lambda_2}{d_b} = \frac{13,68 \cdot 0,685}{0,021} = 446,15 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}$$

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти эса

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{630,4} + \frac{0,002}{50,2} + \frac{1}{446,15}} =$$

$$= \frac{1}{0,00158 + 0,0000398 + 0,00224} = \frac{1}{0,00386} = 259,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Иссиқлик алмашиниш юзаси:

$$F = \frac{820555,6}{235,96 \cdot 100} = 34,8 \text{ м}^2$$

Аниқловчи ҳисоблашлар асосида келиб чиққан иссиқлик алмашиниш юзасига мос стандарт қобик-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаси қайтадан 2-4 жадвалдан танланади [5,6]:

- иссиқлик алмашиниш юзаси	$F = 38 \text{ м}^2$
- қобиқ диаметри	$D = 600 \text{ мм}$
- труба диаметри	$d = 25 \times 2 \text{ мм}$
- трубалар сони	$n = 240$
- труба узунлиги	$l = 2,0 \text{ м}$
- йўллар сони	$z = 2$
- бўшлиқнинг энг тор кўндаланг кесимнинг юзаси	$f_{\text{мт}} = 0,040 \text{ м}^2$
- труба битта йўли кўндаланг кесимининг юзаси	$f_{\text{мп}} = 0,042 \text{ м}^2$

Гидравлик ҳисоб

Трубалар озгина коррозияга учраган пўлатдан ясалган деб қабул қиламиз. Труба деворининг гадир-будурлиги $e = 0,2 \text{ мм}$.

$$\varepsilon = \frac{e}{d_s} = \frac{0,2}{21} = 0,0095$$

$Re_{\text{г}} = 3869$ и $d_s/e = 105$ бўлган ҳол учун гидравлик қаршилик коэффициентни аниқлаймиз.

$$\lambda = \frac{1}{4 \left\{ \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^2} = \frac{1}{4 \left\{ \lg \left[\frac{0,0095}{3,7} + \left(\frac{6,81}{3869} \right)^{0,9} \right] \right\}^2} = \frac{1}{19,892} = 0,0503$$

Трубалардаги тезлик босими

$$\Delta p_{\text{тез}} = \frac{\rho \omega^2}{2} = \frac{917}{2} \frac{0,0374^2}{2} = 0,641 \text{ Па}$$

Ишқаланиш қаршилигини енгиш жараёнидаги босимнинг йўқотилиши:

$$\Delta p_{\text{иқ}} = \lambda \left(\frac{nL}{d_s} \right) \Delta p_{\text{тез}} = 0,0503 \left(\frac{240 \cdot 2}{0,021} \right) 0,641 = 737 \text{ Па}$$

Маҳаллий қаршилик коэффициентлари:

а) камерага кириш ва чиқиш - $\xi_1 = 3$;

б) трубага кириш ва ундан чиқиш - $\xi_2 = 2$.

Жами: $\Sigma \xi = 5$

$$\Delta p_{\text{мк}} = \Sigma \xi \frac{\rho \omega^2}{2} = 5 \frac{917}{2} \frac{0,0374^2}{2} = 3,2 \text{ Па}$$

Босимнинг умумий йўқотилиши

$$\Delta p_{\text{ум}} = \Delta p_{\text{иқ}} + \Delta p_{\text{мк}} = 737 + 3,2 = 740,2 \text{ Па}$$

Иссиқ сувни қурилмага узатиш учун насос танлаймиз. Насосни танлаш асосан 2 параметр бўйича амалга оширилади:

- ҳажмий сарф V ($\text{м}^3/\text{с}$ ёки $\text{л}/\text{с}$);

насос ҳосил қилаётган тўлиқ босим P (Па).

Насоснинг ҳажмий сарфи:

$$V = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{4,76}{917} = 0,0052 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тўлиқ напор эса

$$P = P_{\text{ум}} = 0,075 \text{ м.сுவ.уст.}$$

Сўнг эса, сувни узатиш учун зарур бўлган кўрсаткичлар V ва P бўйича мос келадиган стандарт насосни танлаймиз [6, 128].

Насос тури Х20/18; $V = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $H = 10,5 \text{ м}$; $n = 48,3 \text{ л}/\text{с}$; $\eta_n = 0,6$

Электр юриткич типи А02-31-2; $N = 3 \text{ кВт}$; $\eta_{\text{дв}} = 0,83$

Иссиқлик алмашилиш жараёнини интенсивлаш учун самарадор трубани аниқлаймиз.

Маълумки, “суyoқлик-суyoқлик” системаси учун “накаткали” трубалардан тайёрланган “юқори иссиқлик самарадорликка эга қобиқ-трубали иссиқлик алмашилиш қурилма” ни ТУ 26-02-925-81 дан танлаймиз. Ушбу турдаги трубалар жараёнини интенсивлашда юқори самара беради. Бунинг учун “накатка” параметрлари қуйидагича бўлган трубани кўриб чиқамиз:

$$\frac{d}{D} = 0,983 \quad \text{ва} \quad \frac{t}{D} = 0,496$$

Ушбу накатка параметрли трубалар учун иссиқлик алмашилиш жараёнининг интенсивлиги қуйидагига тенг

$$\frac{Nu}{Nu_{\text{тек}}} = 1,34$$

Гидравлик қаршилиқнинг ўзгариши эса қуйидагига тенг бўлади:

$$\frac{\xi}{\xi_{\text{тек}}} = 1,08$$

“Накатка” трубали иссиқлик алмашилиш қурилмасида иссиқ сув ҳаракат қилаётган томондаги α коэффициентни қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\alpha_{\text{нак}} = 1,34 \quad \alpha_{\text{тек}} = 1,34 \quad 446,15 = 597,91 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Юқори самардор трубалардан ясалган иссиқлик алмашилиш қурилма иссиқлик утказиш коэффициенти K ушбу формулалардан ҳисоблаб топса бўлади:

$$K_{\text{нак}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{нак}}}} = \frac{1}{\frac{1}{630,4} + \frac{0,002}{50,2} + \frac{1}{597,91}} = \frac{1}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 303 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Жараёни “накатка” иссиқлик алмашиниш трубалари ёрдамида интенсивлаш натижасида иссиқлик алмашиниш юзасининг камайиш миқдори ушбу тенгламадан аниқланади:

$$F_{\text{нак}} = \frac{Q}{K_{\text{нак}} \Delta t} = \frac{820555,6}{303 \cdot 100} = 27,1 \text{ м}^2$$

Курилмага элткичларнинг кириш ва ундан чиқиш температураларини, ҳамда унинг иссиқлик юкласини ($Q = 820555,6 \text{ Вт} = \text{const}$) ўзгармас ҳолда сақлаб қолинса, унда труба узунлигини қуйидаги миқдоргача камайтирса бўлади.

$$l_{\text{нак}} = \frac{F_{\text{нак}}}{\pi d_g n} = \frac{27,1}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 240} = 1,71 \text{ м}$$

Текис труба иссиқлик алмашиниш қурилма трубагининг узунлиги

$$l = \frac{F}{\pi d_g n} = \frac{34,8}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 240} = 2,19 \text{ м}$$

Кўриниб турибдики, накатка қилинган трубалар жараён самарадорлигини сезиларли даражада оширади. Шунинг учун, текис трубадан ясалган иситкич трубагининг узунлиги $l = 2,19 \text{ м}$, «накатка» қилинган трубагини эса $l = 1,71$. Демак, қурилмадаги ҳар бир трубагининг узунлиги $\Delta = 0,48 \text{ м}$ (22%) га камайтирилиши мумкин.

Демак, накаткали трубадан ясалган стандарт иссиқлик алмашиниш қурилма трубагининг узунлиги $l_{\text{нак}} = 1,56 \text{ м}$ қилиб тайёрланса ҳам бўлади.

Агарда, трубагининг узунлиги $l = 2 \text{ м}$ ни ўзгартирмасак, унда иситкичнинг диаметрини камайтириш мумкин, чунки $F = 27,1 \text{ м}^2$ юза учун $H = 195$ донна накаткали труба зарур, яъни 45 та труба тежалади. Натижада, иситкич диаметри 20% га камаяди.

Эксергетик ҳисоб

Атроф муҳит температураси $T_{\text{атм}} = 298 \text{ К}$ бўлган шароит учун спиртга узатилаётган сув оқимининг эксергия (11 бобда батафсил келтирилган) сени ҳисоблаймиз:

$$\tau_{\text{тектв}} = 1 - \frac{T_{\text{атм}}}{T_{\text{см}}} = 1 - \frac{298}{423} = 0,296$$

спирт оқими учун τ ни топамиз

$$\tau_{\text{сн}} = 1 - \frac{T_{\text{атм}}}{T_{\text{сн}}} = 1 - \frac{298}{323} = 0,0774$$

Сув узатган эксергияни топамиз

$$E_g = Q \cdot \tau_{\text{тектв}} = 820555,6 \cdot 0,296 = 242884,5 \text{ Вт}$$

Этил спирги узатган эксергия эса

$$E_{\theta} = Q \cdot \tau_{\text{сн}} = 820555,6 \cdot 0,0774 = 63511 \text{ Вт}$$

Эксергетик йўқотилишларни ҳисоблаймиз:

$$D_{\text{тек}} = E_{\theta} - E_{\text{сн}} = 179373,5 \text{ Вт}$$

Трубани “накатка” типда интенсивловчи макрогадир-будурликлар қилиш натижасида гидравлик қаршиликлари ортади. Бундаги босимнинг йўқотилишини топиш учун $\xi/\xi_{\text{тек}} = 1,08$ эканлиги инобатга олиш зарур.

“Накатка” ли иссиқлик алмашиниш трубалари учун гидравлик қаршилиқ коэффициентни қуйидаги тенгликдан топилади:

$$\lambda_{\text{нак}} = 1,08 \quad \lambda_{\text{тек}} = 1,08 \quad 0,0503 = 0,05432$$

Бундан, ишқаланиш қаршилигини енгил жараянида босимнинг йўқотилиши

$$\Delta p_{\text{ук}} = \lambda \cdot \left(\frac{n \cdot l}{d_s} \right) \Delta p_{\text{тез}} = 0,05432 \cdot \frac{240 \cdot 2}{0,021} \cdot 0,641 = 795,9 \text{ Па}$$

Маҳаллий қаршилиқлар туфайли босимнинг йўқотилиш қийматлари ўзгармасдир.

Унда, умумий гидравлик йўқотилишлар қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta p_{\text{ум}} = \Delta p_{\text{мк}} + \Delta p_{\text{ук}} = 795,5 + 3,2 = 799,1 \text{ Па}$$

Ишқаланиш қаршилигини енгилда босим йўқотилишининг ортиши жуда кичик бўлгани учун, сувни узатишда эксергетик йўқотилишларни ҳисобламаса ҳам бўлади.

“Накатка” трубади самарадор трубаларни қўллаб, иссиқлик алмашиниш жараянини интенсивлаш мумкин. Лекин гидравлик қаршилиқ бу усулда сезиларсиз миқдорда ортади.

Натижада қурилманинг габарит ўлчамлари ва массасини камайтириш мумкин.

Механик ҳисоб

Трубанинг тешикли панжараси сифатида III-типдаги конструкцияни танлаймиз [5,128].

Механик ҳисоблашда қуйидаги параметрлар аниқланади: болт жойлаштириладиган айлана диаметри; қистирмани сиқиш кучи; болтни чўзувчи кучланиш; болт диаметри; болтлар сони; фланецнинг ташқи диаметри ва қалинлиги.

Болтларни жойлаштириш диаметри:

$$D_{\theta} = 1,1 \quad D_u^{0,933} = 1,1 \quad 0,602^{0,933} = 0,625 \text{ м}$$

бу ерда D_u – фланецнинг ички диаметри (одатда у қобиқнинг ташқи диаметрига тенг).

Зичловчи қистирмани сиқиш кучи (қистирма эни 0,02 м ва ички диаметри 0,62 м):

$$P_k = \pi \cdot D_{\text{кыр}} \cdot \sigma_k \cdot p = 3,14 \cdot 0,6125 \cdot 0,1 \cdot 2,5 \cdot 1,6 = 0,77$$

бу ерда $\sigma = \sqrt{\sigma_0} = 3,16$; σ_0 - қистирманинг ҳақиқий эни, м.

$$D_{\text{кыр}} = \frac{2Du + 0,015}{2} = \frac{2 \cdot 0,605 + 0,015}{2} = 0,6125$$

Болтларни чўзувчи кучланиш:

$$p_{\delta} = \frac{\pi D_{\text{кыр}}^2}{4} + P_k = \frac{3,14 \cdot 0,6125^2}{4} \cdot 1,6 + 0,77 = 1,25 \text{ МН}$$

бу ерда $p = 1,6 \text{ МПа}$ - сувнинг ишчи босими.

Болтлар диаметрини ҳисоблаш.

$$d_{\delta} = \frac{D_{\delta} - D_f}{2} - 0,006 = \frac{0,685 - 0,612}{2} - 0,006 = 0,03 \text{ м}$$

бу ерда D_f - фланецдаги пайвандлаш чокининг ташқи диаметри, м.

Резьбасининг диаметри М27х1,5 бўлган болтни танлаймиз. Болт резьбасининг ички диаметри $d = 23,5 \text{ мм}$ га тенг. Болт кўндаланг кесимининг юзаси (резьбанинг ички диаметри бўйича)

$$F_{\delta} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0235^2}{4} = 4,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Болтлар сони

$$z = \frac{p_{\delta}}{\sigma_{\text{ил}} \cdot F_{\delta}} = \frac{1,25}{126 \cdot 4,34 \cdot 10^{-4}} = \frac{1,25}{0,055} = 22,72 \approx 24 \text{ дона}$$

Фланецнинг ташқи диаметри

$$D_{\phi} = D_{\delta} + 1,83 \cdot d_{\delta} = 0,685 + 1,83 \cdot 0,03 = 0,74 \text{ м}$$

Ишчи жараёнида фланецга тушаётган юклама:

$$\begin{aligned} p &= \frac{D_{\phi}}{D_{\phi} - D_u} \left[p_{\delta} \cdot \frac{D_u}{D_{\delta}} \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{кыр}}} - 1 \right) + \frac{\pi D_{\text{кыр}}^2}{4} p \cdot \left(1 - \frac{D_u}{D_{\text{кыр}}} \right) \right] = \\ &= \frac{0,74}{0,74 - 0,602} \left[1,25 \cdot \frac{0,602}{0,685} \left(\frac{0,685}{0,6125} - 1 \right) + \frac{3,14 \cdot 0,6125^2}{4} \cdot 1,6 \cdot \left(1 - \frac{0,602}{0,6125} \right) \right] = \\ &= 5,36(0,13 + 0,471 \cdot 0,0171) = 0,74 \text{ МН} \end{aligned}$$

Ёрдамчи катталиклар:

$$\Phi = \left(\frac{p}{\sigma_T} \right) \Psi_1 = \frac{1,6}{240} \quad 1,1 = 0,0073$$

$$A = 2 \quad \psi_2 \quad \delta^2 = 2 \quad 5 \quad 0,005^2 = 0,00025$$

бу ерда σ_T — ишчи температурада фланец материалынинг оқувчанлик чегараси, МН/м² (Ст.3 ва Х18Н10Т пўлатлар учун $\sigma_T = 240$ МН/м² деб қабул қилса бўлади); $\delta = 0,005$ қобиқ қалинлиги, м; ψ_1 , ψ_2 — коэффициентлар, уларнинг сон қиймати IV.2-расмдан аниқланади [5,128].

$\Phi > 1,13 \cdot A$ бўлгани учун фланец баландлигини ушбу формуладан аниқлаймиз:

$$h = 0,43 \sqrt{D_v (\Phi - 0,85A)} = 0,43 \sqrt{0,602 (0,0073 - 0,85 \cdot 0,00025)} = 0,0691 \text{ м}$$

Труба тешикли панжарасининг ўрта қисмидаги баландлиги эса ушбу тенгламадан аниқланади:

$$\begin{aligned} h &= K \cdot D_u \sqrt{\frac{p}{\varphi_0 \cdot \sigma_{u.d.}}} + c_K + c_{\text{жхл}} = 0,47 \cdot 0,602 \sqrt{\frac{1,6}{0,265 \cdot 126}} + 0,001 + c_{\text{жхл}} = \\ &= 0,03193 + 0,1 + c_{\text{жхл}} = 0,06293 \approx 0,063 \text{ м} \end{aligned}$$

бу ерда $K = 0,47$ — труба тешикли панжарасининг конструкциясига боғлиқ коэффициент; $\sigma_{u.d.}$ — материал учун рухсат этилган эгилиш кучланиши, МН/м² (мўрт бўлмаган материаллар учун $\sigma_{u.d.} = \sigma_{e.d.}$); φ_0 — труба маҳкамланадиган панжаранинг тешиклар қилиниши натижасида мустаҳкамлигини ифодаловчи коэффициент. Ушбу, φ_0 коэффициентни қуйидаги формуладан топиш мумкин:

$$\varphi_0 = \frac{D_{\text{жур}} - \sum d_0}{D_{\text{жур}}} = \frac{0,6125 - 0,41}{0,6125} = 0,265$$

бу ерда $\sum d_0$ — труба маҳкамланадиган панжара диаметридаги тешиклар диаметрларининг йиғиндиси қуйидагича топлади:

$$\sum d_0 = z \cdot d = 18 \cdot 0,025 = 0,45$$

Тешикли панжара диаметридаги трубалар сони z қурилмадаги трубаларнинг умумий сони n орқали ушбу формуладан топилади:

$$z = 2 \sqrt{\frac{n-1}{3}} + 0,25 = 2 \sqrt{\frac{240-1}{3}} + 0,25 = 17,88 \approx 18 \text{ дона}$$

Масса алмашилиш асослари

Бир ёки бир неча компонентларни бинар ёки мураккаб аралашмаларда бир фазадан иккинчи фазага ўтишида рўй берган жараёнлар **масса алмашилиш** жараёни деб юритилади (масалан, газдан газга, суюқликдан газга, қаттиқ жисмдан суюқлик ёки газга). Одатда, компонентларнинг бир фазадан иккинчисига ўтиши молекуляр ёки турбулент диффузия орқали содир бўлади. Шунинг учун, бу жараёнлар **диффузион жараёнлар** деб аталади.

Масса алмашилиш жараёнлари фаол компонент ва инерт ташувчи фазалар билан характерланади. Фаол компонент — бу фазадан фазага ўтувчи масса, инерт ташувчиларнинг миқдори эса, жараён давомида ўзгармайди.

Масса алмашилиш жараёнини ҳаракатга келтирувчи куч — концентрациялар фарқи.

5.1. Умумий тушунчалар

Саноат технологияларида ишлатиладиган абсорбция, ҳайдаш, ректификация, экстракция («суюқлик - суюқлик», «қаттиқ жисм — суюқлик» системаларида), адсорбция, қуриштириш, кристалланишларда масса алмашилиш жараёнлари содир бўлади.

Абсорбция — бу газ аралашмасидан бирор модданинг суюқ фазага селектив равишда ютилиш жараёнидир. Яъни, бу жараёнда модда буг ёки газ фазадан суюқ фазага ўтишини кузатишимиз мумкин.

Моддани ўзига ютувчи фаза абсорбент деб номланади. Абсорбция 2 хил бўлади: физик абсорбция — бу газнинг суюқликда оддий ютилиши; хемосорбция — бу газнинг суюқликда ютилиши даврида кимёвий бирикма ҳосил бўлиши.

Абсорбцияга тескари жараён, яъни ютилган компонентларни суюқликдан ажратиб олиш **десорбция** деб аталади.

Суюқликларни ҳайдаш ва ректификация — бу суюқ ва буг фазалар орасида компонентлар ўзаро модда алмашилиш йўли билан суюқ аралашмаларни компонентларга ажратиш жараёнидир. Ушбу жараён иссиқлик таъсирида олиб борилиб, компонентларнинг қайнаш температураси ҳар хил бўлишига асосланади. Бу жараён 2 хил бўлади: оддий ҳайдаш (дистиллаш) ва мураккаб ҳайдаш (ректификация). Шу алоҳида таъкидлаш керакли, бунда модда суюқ фазадан бугга ва бугдан суюқ фазага ўтади.

Экстракция — бу эритма ёки қаттиқ жисмдан эритувчи ёрдамида бир ёки бир неча компонент ажратиб олиш жараёнидир. «Суюқлик-суюқлик» системасида фаол компонент бир суюқ фазадан иккинчисига ўтади. «Қаттиқ жисм — суюқлик» системасида модда қаттиқ жисмдан суюқ фазага ўтади. Бундай системада компонентнинг суюқ фазага ўтиши **эритиш жараёни** деб номланади.

Адсорбция — бу газ, буг ёки суюқ аралашмалардан бир ёки бир неча компонентларни қаттиқ, ғовакли жисм билан ютилиш жараёнидир. Жуда катта фаол юзага эга қаттиқ жисмлар **адсорбентлар** деб аталади. Ушбу жараён саноатнинг турли соҳаларида ишлатилади ва газ, буг ёки суюқ аралашмалардан у ёки бу компонентни ажратиб олиш учун хизмат қилади.

Адсорбция жараёнида суюқ ёки газ фазадаги компонент қаттиқ жисмга ўтади.

Қуритиш — бу қаттиқ материаллар таркибидаги намликни буғ шаклида ажратиб олиш жараёнидир. Ушбу жараёнда фаол компонент - намлик қаттиқ фазадан газ ёки буғ фазасига ўтади.

Кристалланиш бу суюқ эритмалар таркибидаги қаттиқ фазани кристалл шаклида ажратиб олиш жараёнидир. Ушбу жараёнда суюқ фазадан модданинг қаттиқ фазага ўтиши рўй беради.

Юқорида келтирилган жараёнлардан кўриниб турибдики, уларнинг ҳаммаси учун бир фазадан иккинчисига масса ўтиши ёки масса ўтказиш хос.

Модданинг бир фазадан иккинчига, ажратиб турувчи юза орқали ўтиши **масса ўтказиш жараёни** деб номланади.

Бир фаза ичида, фазадан ажратиб турувчи юза ёки ажратиб турувчи юзадан фазага модданинг ўтишига **масса бериш жараёни** дейилади.

5.2. Масса ўтказиш кинетикаси

Мувозанат ҳолатига эришиш йўналишида модданинг бир фазадан иккинчисига ўтиш жараёнига масса ўтказиш дейилади.

Масса алмашилиш жараёнида энг камида 3 та модда иштироқ этади: 1) биринчи фазани ташкил этувчи модда; 2) иккинчи фазани ташкил этувчи модда; 3) бир фазадан иккинчисига ўтган тарқалувчи модда.

Масса алмашилиш жараёнида мувозанат ҳолатларини аниқлашда **фазалар қондасидан** фойдаланилади:

$$\Phi + C = K + 2 \quad (5.1)$$

бу ерда Φ — фазалар сони; C — эркинлик даражаси сони; K — системадаги компонентлар сони.

Бу қоидага биноан, мувозанат ҳолатларини ҳисоблашда параметрларининг (босим, температура, концентрация) нечтасини ўзгартириш имконияти борлигини аниқлаш мумкин.

Биринчи фазани G , иккинчисини — L ва тарқалувчи массани — M билан белгилаб оламиз. Ҳамма масса алмашилиш жараёнлари қайтар, шунинг учун модда G фазадан L га ва тескари йўналишда ўтиши мумкин.

Даставвал, тарқалувчи модда фақат G фазада ва u концентрацияли бўлсин. Бошланғич даврда L фазада тарқалувчи модда йўқ бўлса, унда фазадаги концентрацияси $x = 0$.

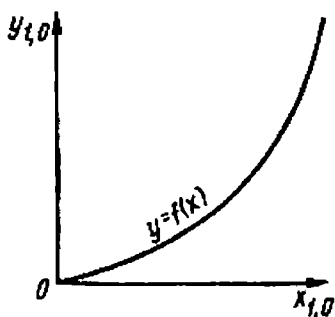
Агар, фазаларни аралаштириб юборадиган бўлсак, унда тарқалувчи модда G фазадан L фазага ўтади. L фазада тарқалувчи модда M бўлиши билан тескари ўтиш бошланади, яъни L фазадан G фазага. Маълум вақтгача, G фазадан L га ўтаётган тарқалувчи модда заррачаларининг сони M , L фазадан G фазага ўтаётганниқидан кўпроқ бўлади.

Лекин, яъни бирор фурсатдан сўнг, M модданинг тўғри ва тескари ўтиш тезликлари тенглашади. Системанинг бундай ҳолати **фазавий мувозанат** дейилади. Мувозанат пайтида x нинг маълум қийматига бошқа фазадаги тегишли аниқ бир қийматли мувозанат концентрацияси u_M тўғри келади. Худди шундай, u нинг маълум қийматига тегишли мувозанат концентрацияси x_M мос келади. Мувозанат пайтида фазалардаги тарқалувчи компонент концентрациялари ўртасида умумий боғлиқлик қуйидаги кўринишга эга:

$$\bar{y}_p = f_1(\bar{x}); \quad \bar{x}_p = f_2(\bar{y}) \quad (5.2)$$

Ушбу тенгламалар графикда мувозанат чизиги билан ифодаланади ва масса алмашилиш жараёнининг турига қараб тўғри ёки эгри чизиқли

кўринишда бўлади. 5.1-расмда газ фазасидаги мувозанат концентрациясининг суёқ фазадаги концентрация билан боғлиқлиги берилган.



5.1-расм. $p=\text{const}$ ва $t=\text{const}$ бўлгандаги мувозанат диаграмма.

Мувозанат пайтидаги фазалар концентрацияларининг нисбати тарқалиш коэффициентини m деб номланади.

$$m = \frac{y_M}{\bar{x}}$$

Одатда, кўпчилик эритмалар учун мувозанат чизиги тўғри чизиқ шаклида бўлади. Тарқалиш коэффициентининг қиймати кўпинча ўзгармас бўлиб, мувозанат чизигининг қиялик бурчаги тангенсига тенгдир.

Турли туман масса алмашиниш жараёнларига оид қонунларнинг аниқ турлари тегишли бобларда кўриб

чиқилади.

Мувозанат боғлиқликлар жараён йўналиши билан бирга, бир фазадан иккинчисига тарқалувчи модда ўтиш тезлигини ҳам аниқлаш имконини беради.

Мувозанат ва ҳақиқий концентрациялар орасидаги фарқ масса алмашиниш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи кучи деб ҳисобланади.

Масса алмашиниш жараёнларининг тезлик коэффициенти ва ҳаракатга келтирувчи кучини ҳисоблаш масса ўтказиш кинетикасининг асосий масаласидир.

Масса ўтказишнинг асосий тенгламаси кинетиканинг умумий тенгламасидан келтириб чиқарилиши мумкин.

Ушбу тенгламага биноан, масса алмашиниш жараёнларининг тезлиги ҳаракатга келтирувчи кучга тўғри ва жараён диффузион қаршилигига тескари пропорционалдир.

Агар, диффузион қаршилиқ тескари катталиқни $K = 1/R$ (бу ерда R – диффузион қаршилиқ) деб белгиласак, ушбу тенгламага эга бўламиз:

$$\frac{dM}{F \, d\tau} = k\Delta \quad (5.3)$$

бу ерда, M – бир фазадан иккинчисига ўтган масса миқдори, кг; F – масса ўтказиш юзаси, м^2 ; τ – жараён давомийлиги, с; k – масса ўтказиш коэффициенти. Кўриниб турибдики, $dM/Fd\tau$ ажратиб турувчи юза бирлигига тўғри келадиган масса ўтказиш тезлигидир.

Демак, агар $k=\text{const}$ бўлса, бутун масса алмашиниш юзаси учун

$$M = k \cdot \Delta \cdot F \tau$$

$$M = K_y F \Delta y_{yp} \cdot \tau \quad \text{ёки} \quad M = K_x F \Delta x_{yp} \cdot \tau \quad (5.4)$$

(5.4) масса ўтказиш жараёнининг асосий тенгламаси деб номланади. Ушбу тенгламага биноан, бир фаза ядросидан иккинчи фаза ядросига узатил-

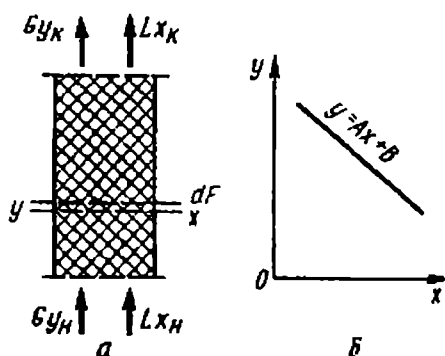
ган масса миқдори фазалар ядросидаги концентрациялар фарқи, ажратиб турувчи юза ва жараён давомийлигига тўғри пропорционалдир.

Масса ўтказиш коэффициенти, вақт бирлиги ичида ҳаракатга келтирувчи куч бирга тенг бўлганда, уларни ажратиб турувчи юза бирлигидан ўтган масса миқдорини характерлайди.

(5.4) тенгламани ташкил этувчи параметрлар бирликларига қараб, масса ўтказиш коэффициенти қуйидаги ўлчов бирлигига эга бўлади: м/с ; $\text{кг}/(\text{х.к.к.} \cdot \text{б} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с})$; $\text{кмоль}/(\text{х.к.к.б.} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с})$.

5.3. Масса алмашилиш жараёнининг моддий баланси

Бир хил йўналишли фазалар ўртасида масса алмашилиш рўй бераётган элементар масса алмашилиш қурилмасининг схемасини кўриб чиқамиз. Фазаларни ажратиб турувчи юзага нисбатан массавий тезликларини G ва L (кг/соат), тарқалувчи модда концентрацияларини эса — y ва x (кг/кг) деб белгилаб оламиз (5.2-расм).



5.2-расм. Жараёнининг моддий балансини тузишга ва ишчи чизик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.
а- қурилмадаги оқимлар схемаси;
б- y - x координатларида ишчи чизикни тасвирлаш.

Агар, $y > y_M$ деб фараз қилсак, тарқалувчи модда G фазадан L фазага ўтади, аммо G фазада концентрация y_6 дан y_{ox} гача камаяди.

L фазада эса, мос равишда концентрация x_6 дан x_{ox} гача ортади.

Қурилманинг чексиз кичик dF юзаси учун:

$$dM = G(-dy) = Ldx \quad (5.5)$$

Қурилмада тарқалувчи модда концентрациялари ўзгариши чегарасида (5.5) тенгликни интеграллаб, қуйидаги тенгламани оламиз:

$$M = -G(\bar{y}_{ox} - \bar{y}_6) = G(\bar{y}_6 - \bar{y}_{ox}) = L(\bar{x}_{ox} - \bar{x}_6) \quad (5.6)$$

Бундан, фазаларнинг массавий сарфини аниқлаймиз:

$$G = L \frac{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_6}{\bar{y}_6 - \bar{y}_{ox}}; \quad L = G \frac{\bar{y}_6 - \bar{y}_{ox}}{\bar{x}_{ox} - \bar{x}_6} \quad (5.7)$$

(5.5) тенгламани бошланғич ва охириги концентрациялар оралиғида интеграллаб қуйидаги ифодани оламиз:

$$G(\bar{y}_6 - \bar{y}) = L(\bar{x} - \bar{x}_6)$$

Бундан, жорий концентрациялар орасидаги боғлиқлик топилади:

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \bar{x} + \frac{G\bar{y}_6 - L\bar{x}_{ox}}{G} \quad (5.8)$$

$$\bar{y} = Ax + B \quad (5.9)$$

бу ерда $A = L / G \quad B = (G\bar{y}_6 - L\bar{x}_{ox}) / G$

(5.8) ва (5.9) лар ишчи чизик тенгламасини характерлайди. Улардан, масса алмашиниш қурилмаларини ҳисоблашда фойдаланилади.

Шундай қилиб, мувозанат ва ишчи чизик тенгламаларидан жараённинг йўналишини ҳам аниқлаш мумкин.

Ҳақиқий (ишчи) концентрациялар орасидаги боғлиқликни ифодаловчи тўғри чизик тенгламаси (5.9) **жараённинг ишчи чизиги** деб номланади.

5.4. Масса ўтказишнинг асосий қонунлари

Масса ўтказиш жараёнлари бир неча масса алмашиниш йўли билан амалга оширилиши мумкин: газ (ёки буғ) ва суюқлик оқимлари орасида; суюқлик оқимлари орасида; суюқлик оқими ва қаттиқ фаза орасида; газ (ёки буғ) оқими ва қаттиқ фаза орасида.

Масса ўтказишнинг асосий қонунлари бўлиб молекуляр диффузия (Фикнинг 1- қонуни), масса бериш (Ньютон – Шукарев қонуни) ва масса ўтказувчанлик қонунлари ҳисобланади.

Молекуляр диффузия қонуни (Фикнинг 1- қонуни). Молекула, атом, ион ва коллоид заррачаларнинг хаотик ҳаракати натижасида моддаларнинг тарқалиши **молекуляр диффузия** деб номланади. Маълумки, моддалар ҳар доим концентрацияси юқори зонадан концентрацияси паст зонага қараб тарқалади. Ушбу қонунга биноан, диффузия йўли билан тарқалган модда миқдори концентрациялар градиенти, диффузион оқим йўналишидаги перпендикуляр ажратувчи юза ва жараён давомийлигига тўғри пропорционалдир:

$$dM = -D \frac{\partial c}{\partial t} F d\tau \quad \text{ёки} \quad M = -D \frac{dc}{dn} F \tau \quad (5.10)$$

бу ерда dM - диффузия йўли билан тарқалган масса миқдори; D - диффузия коэффициенти; $\partial c / \partial t$ концентрациялар градиенти, F - диффузия ўтаётган юза; $d\tau$ - диффузия давомийлиги.

Диффузия коэффициенти, 1 м^2 ажратувчи юза орқали 1 соат давомида 1 м ораликдаги концентрациялар фарқи 1 га тенг бўлганда тарқалган модда миқдорини характерлайди.

Тенгламадаги «минус» ишора молекуляр диффузия жараёнида концентрация камайиб боришини ифодалайди.

(5.10) тенгламадаги диффузия коэффициентининг ўлчов бирлигини аниқлаймиз:

$$[D] = \left[\frac{M}{dc} \frac{dn}{F \tau} \right] = \left[\frac{\kappa\text{г}}{\kappa\text{г}} \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right] = \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right]$$

Молекуляр диффузия коэффициенти ўзгармас физик катталиқ бўлиб, модданинг диффузия йўли билан қўзғалмас муҳитга кириш қobiliятини характерлайди. Ушбу коэффициент жараёнинг гидродинамикасига боғлиқ эмас. Лекин, у тарқалувчи модда ва муҳитнинг иссиқлик-диффузион хоссалари, температура ва босимга боғлиқдир. Яъни температура ошиши ва босим пасайиши билан унинг қиймати ортади.

Одатда, диффузия коэффициентининг қийматлари адабиётлардан ёки қуйидаги формулалардан аниқланади:
газлар учун:

$$D = 4,35 \cdot 10^{-10} \frac{T^2}{P(V_A^{0,33} + V_B^{0,33})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (5.11)$$

суюқликлар учун:

$$D = \frac{8,2 \cdot 10^{-12} T}{\mu \cdot V^{0,33}} \left[1 + \left(\frac{3V_B}{V_A} \right)^{0,66} \right] \quad (5.12)$$

бу ерда T – температура, К; P – босим, Па; V_A ва V_B – жараёнда иштирок этувчи моддалар моль ҳажми, см³/моль; M_A ва M_B – моддаларнинг молекуляр массаси, кг/кмоль; μ – динамик қовушоқлик, мПа·с; A ва B – модданинг табиатига боғлиқ тажрибавий константа.

Диффузия коэффициенти системанинг агрегат ҳолатига боғлиқ. Газлар учун D нинг қийматлари $(0,1 \dots 1,0) \cdot 10^{-4}$ м²/с. Суюқликларнинг диффузия коэффициенти тўрт даражага паст бўлади. Маълумки, температура ортиши билан D ортади, босим ошиши билан эса – камаяди.

Газлардаги диффузия коэффициенти концентрацияга умуман боғлиқ эмас. Лекин, суюқликларда эса, диффузия коэффициенти концентрацияга боғлиқлиги бор. Пахта ёғининг нормал шароитда экстракцион бензиндаги диффузия коэффициенти $D = 0,71 \cdot 10^{-5}$ см²/с; газнинг бошқа бир газдаги тарқалиш диффузия коэффициенти $\sim 0,1 \dots 1,0$ см²/с; газнинг суюқликлардаги диффузия коэффициенти $10^4 \dots 10^5$ мартаба кам бўлиб, тахминан 1 см²/суткага тенг.

Хулоса қилиб айтганда, молекуляр диффузия жуда секин ўтадиган жараён дир.

Турбулент диффузия. Турбулент тебраниш таъсирида оқимнинг ҳаракатида бир фазадан иккинчисига модданинг тарқалиши **турбулент диффузия** деб номланади.

Турбулент диффузия тезлиги оқимнинг турбулентлик даражасига, жараённинг гидродинамик режимида боғлиқдир. Исталган фазада турбулент диффузия йўли билан тарқалган модданинг миқдори ушбу тенгламадан топилади:

ёки

$$M = -\varepsilon_d \frac{\partial c}{\partial n} F \cdot \tau \quad (5.13)$$

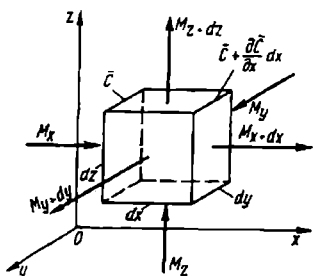
бу ерда ε_d – турбулент диффузия коэффициенти.

(5.13) тенгламадан ε_d – аниқлаймиз

$$[\varepsilon_d] = \left[\frac{M}{dc} \frac{dn}{F \tau} \right] = \left[\frac{кг}{с} \frac{м}{м^2} \frac{м^2}{кг} \right] = \left[\frac{м^2}{с} \right]$$

Турбулент диффузия коэффициенти вақт бирлиги ичида концентрация градиенти бирга тенг бўлганда ажратувчи юза бирлигидан турбулент диффузия йўли билан тарқалган модданинг миқдорини билдиради. Унинг қиймати жараённинг гидродинамик режимида боғлиқ. Бу ерда гидродинамик режим деганда оқимнинг тезлиги ва турбулентлик масштаби назарда тутилади.

Молекуляр диффузиянинг дифференциал тенгламаси (Фикнинг 2-қонуни).
Бирор фазанинг оқимида ажратиб олинган элементар параллелепипед учун тарқалувчи модданинг моддий баланси кўриб чиқилади ва ундан конвектив диффузия ёки масса бериш жараёнининг тенгламасини келтириб чиқариш мумкин (5.3-расм).



5.3-расм. Молекуляр диффузиянинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

Элементар кичик параллелепипед орқали молекуляр диффузия йўли билан модда тарқалаётган бўлсин.

Агар, $dydz$, $dx dy$ ва $dx dz$ томонлари орқали M_x , M_z ва M_y миқдорда моддалар ўтаётган бўлса, қарама-қарши томонлардан эса M_{x+dx} , M_{z+dz} ва M_{y+dy} миқдорда моддалар чиқади. Яъни, параллелепипеднинг элементар ҳажми $dM = (M_x - M_{x+dx}) + (M_y - M_{y+dy}) + (M_z - M_{z+dz})$ миқдорда тарқалган модда ютиб олади. Бунда, модданинг концентрацияси $(\partial C / \partial \tau) d\tau$ миқдорга ортади. Фикнинг 1 қонунига биноан:

$$M_x = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dy dz d\tau$$

$$M = -D \frac{\partial \left(\bar{C} + \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dy dz d\tau = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} dy dz d\tau - D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dy dz d\tau$$

демак:

$$M_x - M_{x+dx} = D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} dx dy dz d\tau$$

Худди шундай қилиб параллелепипеднинг қолган томонлари учун ҳам ўтган моддалар фарқини аниқлаб оламиз.

Параллелепипед билан ютилган умумий модда миқдори:

$$dM = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) dx dy dz d\tau \quad (5.14)$$

Ушбу модда миқдорини параллелепипед ҳажмини тарқалаётган модда концентрациясининг $d\tau$ вақт ичида ўзгаришига кўпайтириб ҳам топса бўлади:

$$dM = dx dy dz \frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} d\tau \quad (5.15)$$

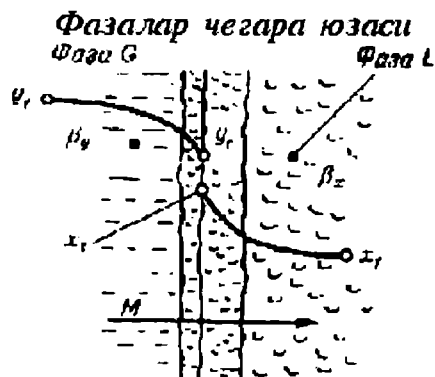
(5.14) ва (5.15) ларни тенглаштириб, ушбу кўринишдаги молекуляр диффузиянинг дифференциал тенгламасини оламиз:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.16)$$

(5.16) тенглама Фикнинг 2-қонуни деб юритилади. $\partial C/\partial t$ - фазода олинган исталган нуқтадаги концентрациянинг вақт бўйича ўзгариш тезлигини ҳарактерлайди.

Масса беришнинг асосий қонуни. Ушбу қонун қаттиқ jismlar эришини ўрганиш пайтида рус олими Шукарев томонидан аниқланган. Бу қонунга биноан, фазаларни ажратиб турувчи юзадан бирор фаза ядросига ёки тескари йўналишда масса бериш йўли билан ўтган модда миқдори фазалар концентрацияси фарқига фазога ва жараён давомийлигига тўғри пропорционалдир.

Диффузион чегаравий қатлам назариясига асосан тарқалувчи модда суюқлик оқими ядросидан фазаларни ажратувчи юзага суюқлик конвектив оқимлари ва молекуляр диффузия йўли билан ўтади. Кўрилатган системада оқим ядроси ва чегаравий диффузион қатламлар бор (5.4-расм). Фаза ядросида



5.4-расм. Масса бериш тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

модданинг тарқалиши асосан суюқлик ёки газ оқими билан амалга оширилади. Оқимларнинг турбулент ҳаракати даврида тарқалувчи модда концентрацияси ўзгармас бўлади. Чегаравий диффузион қатламга яқинлашган сари модданинг турбулент тарқалиши камаяди ва молекуляр диффузия ҳисобига масса бериш улуши ортади.

Бунда, тарқалувчи модданинг концентрация градиенти ҳосил бўлади ва фазаларни ажратувчи чегарага яқинлашиб борган сари, унинг қиймати ошиб боради. Шундай қилиб, чегаравий диффузион қатлам атрофи—бу концентрация градиенти ҳосил бўлиши ва ўсиши соҳасидир. Ундан

ташқари, бу ер — умумий масса ўтказишга молекуляр диффузия тезлигининг таъсири кўпаядиган соҳадир.

G фазадан L фазага тарқалаётган модда миқдори M бўлсин. Агар, фазалар ядросидаги моддалар концентрациясини y_f ва x_f деб, фазаларни ажратиб турувчи юзадаги концентрацияларни эса — y_g ва x_g деб белгиласак, унда масса бериш жараёнида ўтган модда миқдорларини қуйидаги тенгламалардан аниқлаш мумкин:

$$dM = \beta_y (y_f - y_g) F d\tau; \quad dM = \beta_x (x_g - x_f) F d\tau \quad (5.17)$$

бу ерда β_y, β_x — конвектив ва молекуляр оқимлар билан модда узатилишини характерловчи масса бериш коэффициентлари; $y_g = y_M$ ва $x_g = x_M$ деб қабул қилинади.

Масса бериш коэффициентининг ўлчов бирлиги қуйидагича:

$$[\beta] = \left[\frac{M}{(y_f - y_g) F \tau} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ом}^2} \right] = \left(\frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{ом}^2} \right)$$

Масса бериш коэффициенти вақт бирлигида жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи бирга тенг бўлганда, юза бирлигидан фазаларни ажратувчи юзадан фазанинг ядросига ёки тескари йўналишда ўтган модда миқдорини характерлайди.

Масса бериш коэффициенти фазаларнинг зичлиги, қовушоқлиги ва бошқа хоссаларига, суyoқлик ҳаракат режимига, қурилманинг тузилиши ва ўлчамларига боғлиқдир. Шунинг учун ҳам унинг қийматини тажриба ёки ҳисоблаш йўли билан аниқлаш қийин. Лекин, ҳар бир аниқ шароит ва суyoқликлар учун β нинг қийматини тажриба йўли билан топиш мумкин.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, масса бериш коэффициенти физик маъноси бўйича масса ўтказиш коэффициентида фарқ қилса ҳам, лекин бир хил ўлчов бирлигига эга.

5.5. Қаттиқ жисм иштирокида масса алмашиниш

Бундай жараёнларга адсорбция, десорбция, кристалланиш, қуриштириш, эритиш, қаттиқ материаллардан экстракциялаш кабилар кирилади. Албатта, бу нотурғун жараёнларнинг ўзига хос алоҳида хусусиятлари бор. «Қаттиқ жисм-суyoқлик» системасида масса алмашиниш жуда мураккаб жараён деб ҳисобланади.

Говаксимон қаттиқ жисмдан фазаларни ажратиш турувчи чегара орқали газ (ёки буғ) суyoқлик муҳитга ёки газ (ёки буғ) муҳитдан қаттиқ жисмга модданинг тарқалиши, ўтказиш потенциали градиенти мавжуд бўлгандагина рўй беради. Бошқача қилиб айтганда, «қаттиқ жисм – суyoқлик» системада масса ўтказиш жараёни ички ва ташқи диффузиялардан ташкил топган бўлади. Бу системада масса алмашиниш жараёнига қаттиқ жисмнинг тузилиши қатта таъсир кўрсатади. Маълумки, қаттиқ жисм мураккаб, геометрик система бўлиб, говаклилик, полидисперслик, капиллярлар шакли ва ковакчаларни ўлчами бўйича тақсимланиши билан ажралиб туради.

Капилляр-ковакли тузилишига қараб қаттиқ жисмлар қуйидаги синфларга ажратилади: йирик ковакли ($d_{кр} \leq 100 \text{ нм}$); ўртача ковакли ва ультрамикроковакли материаллар бўлади.

«Қаттиқ жисм – суyoқлик» системасида масса бериш жараёни билан **масса ўтказувчанлик** (қаттиқ жисмда модданинг тарқалиши) бир вақтда ўтади.

Бу системада кечадиган жараёнларнинг тезлиги вақт ўтиши билан молекуллар диффузия тезлигига қараганда камайиб бориш хосдир. Шунинг учун ушбу жараёнларни ифодалашда «сиқик диффузия» деган атамадан фойдаланилади.

Эритманинг «сиқик диффузия»си учун Кади ва Вильямслар томонидан ушбу формула таклиф этилган:

$$D_{си} = D \frac{1}{1 + a \left(\frac{r}{R} \right)} \quad (5.18)$$

бу ерда $D_{си}$ – «сиқик диффузия» коэффициенти; D – молекуллар диффузия коэффициенти; r – тарқалаётган молекула ўлчами; R – қаттиқ жисм ковакчаларининг кўндаланг ўлчами.

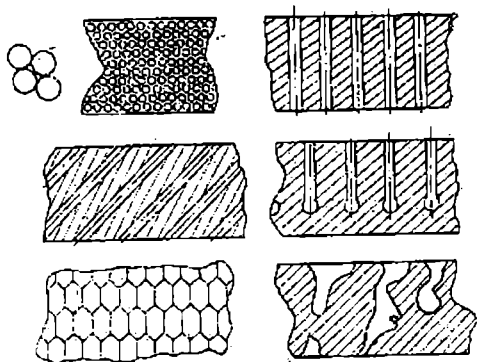
«Сиқик диффузия» ўрнига жараёни ҳар томонлама тўлиқ ифодаловчи умумий кинетик характеристика – масса ўтказувчанликни аниқлаш мақсадга мувофиқдир. Унда, қаттиқ жисмда тарқалган модданинг узатилишини ифодаловчи қонун сифатида қабул қилиниш мумкин: қаттиқ жисмда масса ўтказувчанлик ҳисобига тарқалган масса миқдори концентрациялар градиенти, оқим йўналишига перпендикуляр юза ва жараён давомийлигига тўғри пропорционалдир, яъни:

$$dM = -k \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} dF d\tau \quad (5.19)$$

бу ерда k — масса ўтказувчанлик коэффициентини, $\text{м}^2/\text{с}$.

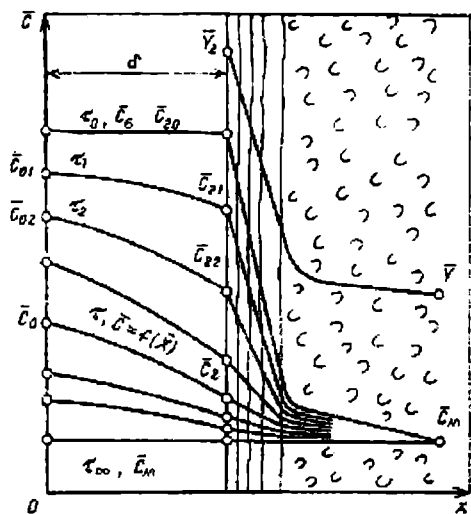
Ушбу коэффициент температура ва қаттиқ жисмда тарқалган модда концентрацияларига боғлиқдир.

5.5-расмда говаксимон қаттиқ жисмларнинг типик тузилишлари келтирилган. Кўриниб турибдики, бундай тузилишли жисмларда жараённинг кинетики турлича бўлиши табиийдир.



5.5-расм. Говаксимон жисмлар тузилиши модификациялари.

раси ўзгармайди ва у ҳўл термометр температурасига тенг бўлади. Материал устидаги буғ босими эса, суюқликнинг тўйинган буғлари босимига баробардир. Шу даврда материалдан намликнинг буғ ҳолатида чиқиб кетиши ўзгармас тезликда содир бўлади.



5.6-расм. Капилляр - говакли жисмда масса алмашиниш модели.

Қаттиқ жисмдан намликни десорбцияси мисолида масса алмашиниш жараёнини кўриб чиқамиз (5.6-расм).

Бошланғич вақт $\tau = \tau_0$ да пластинанинг бутун ҳажмида концентрация ўзгармас бўлади ($c = \text{const}$). Қаттиқ жисм билан масса алмашинувчи суюқлик фазада тарқалувчи модданинг концентрацияси ўзгармас ва y_f га тенгдир. Дастлабки даврда, тарқалаётган модда қаттиқ жисмдан суюқликка қараб ҳаракат қилади.

Қаттиқ материалдан эркин боғланган намликнинг чиқиб кетиши билан жисмнинг температу-

Вақт ўтиши билан жисмнинг концентрацияси узлуксиз равишда пасайиб боради.

Бирор критик концентрация $x_{кр}$ дан бошлаб, буғланиш зонаси жисмнинг ичига сурилади. Бу ҳол, албатта ўтказиш потенциали градиентининг камайишига ва жараённи секинлашувига олиб келади. Намликни буғланиши на фақат ўзгарувчан координатли юзларда бўлибгина қолмасдан, балки жисмнинг «аввалги» қатламларида ҳам боради. Лекин, жисмнинг ташқи юзасига яқинлашган сари, жараён интенсивлиги камаяди. Бундай ҳол намликни материал билан турли усулларда боғланганлигидан далолат беради.

Жараён тезлиги пасайиши даврида масса алмашиниш жараёнининг тезлиги масса ўтказувчанлик тезлиги билан белгиланади. Ўз навбатида, масса ўтказувчанлик тезлиги масса алмашиниш механизмига боғлиқдир.

Қаттиқ фаза иштирок этадиган масса алмашиниш жараёнларининг энг мураккаби - бу қуришиш жараёндир, чунки бунда масса ва иссиқлик алмашиниш жараёнлари бир вақтда рўй беради.

Масса ўтказувчанлик дифференциал тенгламаси иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасига ўхшаш келтириб чиқарилади ва у ушбу кўринишга эга:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = k \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.20)$$

Кўриниб турибдики, масса ўтказувчанлик коэффиценти ўзгарувчан катталик ва у жараён тури (адсорбция, қуришиш, эритиш), қаттиқ жисм тузилиши ва молекуляр диффузия коэффиценти таъсир этувчи параметрларга боғлиқ.

(5.20) дифференциал тенглама фазаларни ажратувчи чегарасида масса ўтказиш шартларини белгиловчи тенглама билан биргаликда кўрилиши керак. Ушбу шартларни (5.19) тенгламани $dM = \beta(y_v - y_M)F \cdot d\tau$ тенглама билан таққослаб топиш мумкин. Тенгламаларнинг ўнг томонларини бир-бирига тенглаб, ушбу кўринишга эга ифодани оламиз:

$$-k \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = \beta \Delta \bar{y} \quad (5.21)$$

Ўхшашлик назариясини қўллаб қуйидаги ўлчамсиз комплексни келтириб чиқарамиз:

$$Bi_{\text{д}} = \frac{\beta \cdot l}{k} \quad (5.22)$$

Ушбу комплекс **Био диффузион критерийси** деб номланади.

Био критерийси қаттиқ фазадан ювиб турувчи суюқ фазага модда тарқалиши тезлигининг масса ўтказувчанлик тезлигига нисбатани ифодалайди.

Масса ўтказувчанлик тенгламасидан Фурье диффузион критерийсини келтириб чиқариш мумкин:

$$Fo_{\text{д}} = \frac{k\tau}{l^2} \quad (5.23)$$

Фурье критерийси қаттиқ жисм ичида масса алмашиниш тезлигининг вақт ўтиши билан ўзгаришини характерлайди.

(5.21) тенглама таҳлили шуни кўрсатадики, масса ўтказиш тезлиги масса ўтказувчанлик ва масса беришга боғлиқ. Экстракция жараёнининг масса ўтказишга таъсири 3 хил бўлади:

масса бериш жараёни тезлиги масса ўтказиш тезлигига нисбатан анча катта. Бунда масса ўтказиш тезлиги масса ўтказувчанлик орқали топилади;

- масса ўтказувчанлик тезлиги масса бериш жараёнининг тезлигига нисбатан анча катта бўлади. Бунда масса ўтказиш тезлиги масса бериш жараёни β асосида ҳисобланади;

масса ўтказувчанлик ва бериш жараёнларининг тезлигини ўзаро солиштириш мумкин бўлади. Бунда масса ўтказишнинг тезлигини топишда D_u ва β коэффицентлар ҳисобга олинади.

Қаттиқ жисмдан керакли компонентни ажратиш олиш мураккаб жараёндир. Бунда, қаттиқ жисм ичида ва атроф - муҳитда концентрациялар миқдори вақт давомида ёки қурилманинг узунлиги бўйича ўзгартириб туради (5.6-расм).

Қаттиқ жисмда концентрациялар миқдорининг ўзгариш тезлигига қуйидаги омиллар сабабчи бўлади:

1. Қаттиқ жисм ва тарқалаётган модданинг диффузия хоссалари, бу хоссалар масса ўтказувчанлик коэффициенти D_u орқали ифодаланади;
2. «Қаттиқ жисм – суюқлик» чегарасида масса ўтказиш шароитлари;
3. Қаттиқ жисм ва суюқ фазалар миқдорларининг нисбати

$$\frac{C_\delta - C_0}{C'_\delta - C'_0} = n$$

билан ифодаланади.

бу ерда C'_δ ва C'_0 – жараённинг бошланиш ва охирида суюқ фазадаги экстракцияланган модданинг концентрациялари; C_δ ва C_0 жараённинг бошланиши ва охирида қаттиқ фазадаги экстракцияланиши зарур бўлган модданинг концентрацияси; $n=W/N$ – ўзаро тўқнашиш ҳолатида бўлган суюқлик миқдори W нинг қаттиқ жисм миқдори N га нисбати.

4. Қаттиқ материал заррачаларининг суюқлик билан ўзаро таъсир қилиш усули;

5. Қаттиқ материал заррачаларининг шакли ва ўлчамлари.

Масса ўтказувчанлик йўли билан масса алмашилиш жараёнининг ўхшашлигини ифодалашда геометрик ўхшашлик ҳам инobatга олиниши зарур.

Бир ўлчамли оқим учун масса ўтказувчанликнинг критериял тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{C - C_M}{C_\delta - C_M} = f\left(Bi_\delta, Fo_\delta, \frac{x}{\delta}\right) \quad (5.24)$$

бу ерда C – вақт momenti τ да қаттиқ фазанинг берилган нуқтасидаги концентрацияси; C_δ – қаттиқ фазадаги бошланғич концентрация; C_M – қаттиқ фазадаги экстракцияланаётган модданинг мувозанат концентрацияси; δ – қаттиқ жисмнинг аниқловчи ўлчами; x – қаттиқ жисмнинг берилган нуқтасидаги координатаси.

(5.24) тенгламанинг ечими фақат энг оддий шаклдаги жисмлар (шар, цилиндр ва чексиз пластина) учун бор.

“Қаттиқ жисм – суюқлик” системасида масса ўтказиш жараёнини ифодалаш учун масса ўтказишнинг асосий тенгламасидан фойдаланиш мумкин. Унда, масса ўтказиш коэффициенти ушбу формуладан ҳисобланади:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{(\psi + n) \cdot km} \quad (5.25)$$

бу ерда ψ – шакл коэффициенти, пластина учун 1 га, цилиндр учун 2 ва шар учун 3 тенг; n – даража кўрсаткичи.

Ташқи диффузия соҳасида жараён ўтказилганда ва $Bi_\delta \leq 3,0$ бўлганда (5.25) формула ушбу кўринишни олади:

$$K \approx \beta_y \quad (5.25a)$$

Ушбу ҳолатда жараён тезлиги фақат ички диффузия омиллари билан аниқланади.

Иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнлари биргаликда содир бўлганда, иссиқлик ва масса бериш коэффициентларини топиш учун ушбу критериял тенглама тавсия этилади:

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \quad (5.26)$$

бу ерда Gu — адиабатик шароитда суюқликнинг ҳажмий бугланишини характерловчи Гухман критерийси. Константа A ва даража кўрсаткичи n қурилмадаги гидродинамик режимга боғлиқ бўлади.

5.6. Конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламаси

Диффузион чегаравий қатлам назариясига биноан, суюқлик оқими фазаларни ажратувчи чегарасида тарқалаётган модда молекуляр диффузия ва бевосита суюқлик оқими билан узатилади (5.7-расм). Кўрилатган системада оқимни 2 қисмдан иборат деб ҳисобласа бўлади, яъни ядро ва чегаравий диффузион қатламдан. Турбулентлик анча юқори бўлганда ҳам, ядрода модданинг тарқалиши асосан суюқлик ҳаракати туфайли рўй беради. Турғун режимда ушбу кўндаланг кесимда тарқатувчи модда концентрацияси ўзгармасдир. Чегаравий диффузион қатламга яқинлашган сари, турбулентлик даражаси пасаяди. Шунинг учун, фазаларни ажратувчи чегарада модданинг тарқалиши асосан молекуляр диффузия ҳисобига ўтади. Ундан ташқари, бу зонага яқинлашиш билан концентрациялар градиенти ҳам ортади.

Шундай қилиб, чегаравий диффузион қатлам — бу концентрация градиенти ҳосил бўладиган ва ортадиган, ҳамда молекуляр диффузия қийматининг минимумдан максимумгача кўпаядиган зонасидир.

Конвектив диффузия жараёнида фазанинг элементар ҳажмида тарқалувчи модданинг концентрацияси ҳам молекуляр диффузия, ҳам механик ҳаракат таъсири остида ўзгаради. Бундай ҳолларда, тарқалаётган модданинг концентрацияси x, y, z координаталар ва вақт τ нинг функцияси бўлиб қолмай, балки элемент силжиш тезлиги w_x, w_y ва w_z ларга ҳам боғлиқ бўлади.

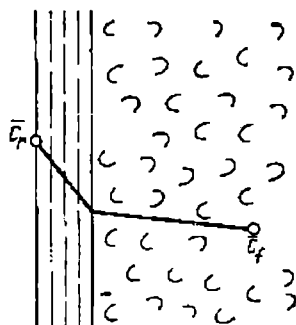
Молекуляр диффузия йўли билан модданинг тарқалиши (5.16) тенглама ёрдамида топилади.

Конвектив диффузия пайтида эса, элемент фазонинг бир нуқтасидан иккинчисига кўчади. Бунда, элементда тарқалаётган модда концентрациясининг ўзгариши субстанционал ҳосила орқали ифодаланади:

$$\frac{D\bar{c}}{D\tau} = \frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} w_z \quad (5.27)$$

Ушбу тенгламадаги қўшилувчилар йиғиндиси $\frac{\partial \bar{c}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} w_z$ концентрациянинг конвектив ўзгаришини $\frac{\partial \bar{c}}{\partial \tau}$ эса — локал ўзгаришини характерлайди.

Молекуляр диффузия ҳисобига тарқалаётган модданинг ортиши (5.16) тенглама ёрдамида аниқланади. Агар, (5.16) ва (5.27) тенгламаларни тенглаш-



5.7-расм. Конвектив диффузия қонуни келтириб чиқаришга оид.

тирсак ва концентрациянинг локал ўзгариши $\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau}$ ни (5.27) даги тўлиқ $\frac{D\bar{C}}{\partial \tau}$

га алмаштирсак, конвектив диффузиянинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқариш мумкин:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} + \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} w_x + \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} w_y + \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} w_z = D \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad (5.28)$$

Фазаларни ажратувчи чегара атрофида фазадан фазага тарқалаётган модда миқдори конвектив диффузия қонуни (5.17) ёрдамида аниқланади. Юқорида айтилгандек, фазаларни ажратувчи юза олдида, модданинг бир фазадан иккинчисига ўтиши эса, молекуляр диффузия (5.10) ҳисобига амалга ошади.

(5.10) ва (5.17) тенгламаларни бир-бирига тенглаштириб, ушбу формулани оламиз:

$$\beta \Delta \bar{C} = -D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \quad (5.29)$$

бу ерда $\Delta \bar{C} = \bar{C}_q - \bar{C}_f$ жараёни ҳаракатга келтирувчи куч.

Конвектив диффузиянинг критериал тенгламалари. Бундай формулалар (5.28) ва (5.29) тенгламалардан келтириб чиқарилади. Диффузион критерийларни олиш учун ўхшашлик назариясидан фойдаланамиз. (5.29) тенгламадан ўлчамсиз $\beta \Delta \bar{C} \partial x / D \partial \bar{C}$ комплексни оламиз ва баъзи қисқартиришлардан сўнг Нуссельт диффузион критерийсини ҳосил қиламиз:

$$Nu_{\Delta} = \frac{\beta \cdot l}{D} \quad (5.30)$$

бу ерда β - масса бериш коэффициенти; l - аниқловчи ўлчам; D - молекуляр диффузия коэффициенти.

(5.28) тенгламанинг иккала қисмини $D \partial^2 \bar{C} / \partial x^2$ га бўлиб, ушбу ўлчамсиз комплексни олиш мумкин:

$$\frac{\partial \bar{C} \cdot \partial x^2}{\partial \tau \cdot \partial^2 \bar{C}} \quad \text{ва} \quad \frac{\partial \bar{C} \cdot w_x \cdot \partial x^2}{\partial x \cdot D \cdot \partial^2 \bar{C}}$$

Булардан эса Фурье диффузион критерийси:

$$Fo_{\Delta} = \frac{D \tau}{l^2} \quad (5.31)$$

ва Пекле диффузион критерийси:

$$Pe_{\Delta} = \frac{w l}{D} \quad (5.32)$$

келтириб чиқарилади.

Бу ерда τ - жараён давомийлиги; w - оқим тезлиги.

Фурье критерийси вақт ўтиши билан тарқалаётган масса оқими тезлиги ўзгаришини ифодалайди ва нотурғун масса бериш жараёнларни характерлайди.

Пекле критерийси ўхшаш системаларнинг ўхшаш нуқталарида конвектив ва молекуляр диффузиялар орқали ўтаётган массаларнинг нисбатини ифодалайди.

Пекле критерийсини ўзгартириб, ушбу кўринишда ёзамиз:

$$Pe = \frac{wl}{D} = \frac{wl}{\nu} \cdot \frac{\nu}{D} = Re \cdot Pr_{\lambda}$$

бу ерда

$$Pr_{\lambda} = \frac{\nu}{D} \quad (5.33)$$

Прандтл критерийси физик катталиклар майдонларининг ўхшашлигини характерлайди ва моддалар физик хоссалари нисбатининг ўзгармаслигини ифодалайди.

Масса бериш жараёнини характерловчи ўхшашлик критерийлари аниқлангандан сўнг, конвектив диффузиянинг умумий критериял тенгламаси тузилиши мумкин:

$$f(Re, Gr, Nu_{\lambda}, Pr_{\lambda}, Fo_{\lambda}) = 0 \quad (5.34)$$

Нуссельтнинг диффузион критерийси асосий аниқланувчи критерий бўлгани учун (5.34) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Nu_D = f(Re, Gr, Pr_{\lambda}, Fo_{\lambda}) \quad (5.35)$$

(5.39)даги Грасгоф критерийси эркин конвекция пайтида конвектив диффузияни характерлайди.

Агар, жараён турғун бўлса, умумий критериял тенгламадан, Фурье критерийси туширилиб қолдирилади:

$$Nu_D = f(Re, Gr, Pr_{\lambda}) \quad (5.36)$$

Суюқлик оқимининг мажбурий ҳаракати пайтида эркин конвекцияни ҳисобга олмаса бўлади. Бу ҳолда (5.36) тенгламадан Грасгоф критерийси тушиб қолади:

$$Nu_D = f(Re, Pr_D) \quad (5.37)$$

Критериял тенгламалардан аниқланган Нуссельт критерийси қийматларидан масса бериш коэффицентини ҳисоблаб топиш мумкин:

$$\beta = \frac{Nu \cdot D}{l} \quad (5.38)$$

Масса бериш коэффицентларининг қийматлари ёрдамида масса ўтказиш коэффицентини K ни топиш мумкин.

Гидродинамик ўхшашлик асосида масса бериш коэффицентини β ни оқим ўртача тезлиги w га нисбатини аниқлаш мумкин. Бу ўлчамсиз катталик Стантон диффузион критерийси деб номланади ва ушбу кўринишга эга:

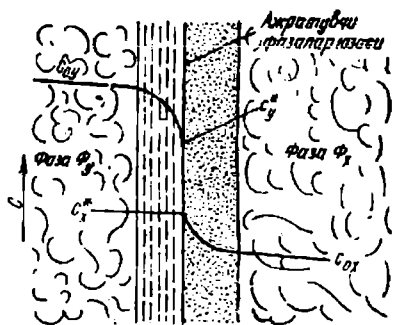
$$St_D = \frac{\beta}{w} = \frac{Nu_D}{Pe_D} = \frac{\beta \cdot l / D}{w \cdot l / D} \quad (5.39)$$

Стантон критерийси турбулент оқимларда масса бериш жараёнида концентрация ва тезлик майдонлари ўхшашлигини характерлайди.

5.6.1. Масса алмашиниш жараёни механизми

Маълумки бирор модда массасининг иккинчи фазага ажратиб турувчи юза орқали ўтиши **масса ўтказиш** деб номланади. Бу жараён жуда мураккабдир, чунки масса бериш ва турбулент оқимларнинг гидродинамик қонуниятлари яхши ўрганилмаган.

5.8-расмда суюқлик ва газ (буғ) ёки иккала фаза орасида масса ўтказиш жараёнини тушунтирувчи схема келтирилган.



5.8-расм. Масса ўтказиш жараёнида фазаларда концентрациялар тақсимланиш схемаси.

Фазалар бир - бирига нисбатан турбулент режимга оид тезликка ҳаракат қилмоқда ва улар ўртасида ажратувчи юза мавжуд.

Тарқатувчи модда массаси M фаза Φ_y (аммиакнинг ҳаво билан аралашмаси)дан суюқ фаза Φ_x (сув) га ўтмоқда. Шундай қилиб, Φ_y фаза ядросидан фазаларни ажратиб турувчи юзага ва ажратиб турувчи юзадан Φ_x фазанинг ядросига масса бериш жараёни содир бўлади.

Ажратувчи юза қаршилигини (агар унинг миқдори сезиларли бўлса) енгиб, бир фазадан иккинчисига масса ўтади, яъни масса ўтказиш жараёни рўй беради.

ни рўй беради.

Маълумки, масса алмашиниш жараёни ҳар бир фазадаги оқим турбулентлик тузилиши билан узвий равишда боғлиқ.

Гидродинамикадан маълумки, суюқлик оқимининг девор яқинида ҳаракат пайтида чегаравий қатлам ҳосил бўлади. Ҳар бир фаза ядро ва чегаравий қатламдан ташкил топган бўлади. Фаза ядросида модданинг тарқалиши кўпчилик ҳолларда турбулент пульсация ёрдамида амалга ошади ва тарқатувчи модданинг концентрацияси, 5.8-расмда кўрсатилгандек, ўзгармас бўлади. Чегаравий қатламда эса, турбулентлик аста секин сўниб, концентрация эса ўзгариб боради. Ажратувчи юзага яқинлашган сари, концентрация ўзгариши кескинлашади. Бевосита ажратувчи юзада модданинг тарқатиш тезлиги жуда кичик бўлади ва у молекуляр диффузиянинг тезлигига боғлиқ бўлиб қолади. Фазалараро ишқаланиш ва сиртий таранглик кучлари таъсирида ажратувчи юза яқинида концентрация кескин, тўғри чизиқли қонун бўйича ўзгаради.

Шундай қилиб, суюқлик оқимининг турбулент ҳаракати пайтида фаза ядросидан ажратувчи юзагача ёки тескари йўналишда массанинг берилиши ҳам молекуляр, ҳам турбулент диффузиялар усулида боради. Лекин, тарқалаётган массанинг асосий қисми турбулент диффузия усулида ўтади.

Демак, масса алмашиниш жараёнини интенсивлаш учун оқим турбулентлик даражасини кўпайтириб, чегаравий қатлам қалинлигини камайтириш зарур.

Маълумки, оқим турбулентлик даражасини кўпайтириш учун суюқлик тезлигини ошириш керак бўлса, чегаравий қатлам қалинлигини камайтириш учун аралаштириш, пульсация, тебраниш, электромагнит майдон ёки ультра-товуш каби усуллارни қўллаш мумкин.

5.6.2. Масса ўтказиш ва бериш коэффициентлари ўртасидаги боғлиқлик

Ишчи ва мувозанат концентрациялари орасида чизиқли боғлиқлик шароитида, бирор G фазадан L фазага масса ўтказиш жараёнини кўриб чиқамиз (5.4-расм). Фазаларни ажратувчи чегарада мувозанат ҳолатига эришилади деб қабул қиламиз.

G фазадан фазаларни ажратувчи чегаравий юзага тарқалган модда миқдори ушбу тенгламадан топилади:

$$dM = \beta \cdot y(y - y_v) \cdot dF$$

Фазаларни ажратувчи чегаравий юзадан L фаза ядросига берилган модда миқдори эса қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$dM = \beta_x(x_v - x) \cdot dF$$

Мувозанат концентрация $y_m = mx$ эканлиги маълум бўлгани учун, L фазадаги концентрация x ни G фазадаги мувозанат концентрацияси орқали ифодаласа мумкин:

$$dM = \beta_x(x_v - x) \cdot dF = \frac{\beta_x}{m}(y_{mv} - y_m) \cdot dF$$

бундан:

$$y_{mv} - y_v = \frac{dM \cdot m}{\beta_x dF}; \quad y - y_v = \frac{dM}{\beta_y dF}$$

Юқорида келтирилган охириги икки тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларининг йиғиндиси, ҳамда $y_v = y_m$ га тенглигини ҳисобга олсак ушбу кўринишдаги тенгламани оламиз:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF \left(\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \right)} \quad (5.40)$$

Масса ўтказишнинг асосий тенгламасидан:

$$y - y_m = \frac{dM}{dF} \cdot \frac{1}{K} \quad (5.41)$$

(5.40) ва (5.41) тенгламаларни ўнг томонларини тенглаштириб, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \quad \text{ёки} \quad K_y = \frac{1}{\frac{m}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y}} \quad (5.42)$$

Худди шу усулда L фаза учун масса ўтказиш коэффициентини аниқлаш формуласини келтириб чиқарамиз:

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x} \quad \text{ёки} \quad K_x = \frac{1}{\frac{1}{m\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} \quad (5.43)$$

Бу тенгламаларнинг чап томонлари массанинг бир фазадан иккинчисига ўтиши учун умумий диффузион қаршилиқни, ўнг томонлари эса — фазалардаги масса бериш жараёнлари диффузион қаршилиқларнинг йиғиндисини ифодалайди. Шунинг учун ҳам, (5.42) ва (5.43) тенгламалар фазавий қаршилиқларнинг **аддитивлик тенгламалари** деб юритилади.

K_y ва K_x коэффициентлар $K_y = K_x/m$ тенглик билан боғлиқ бўлади. Масса ўтказиш коэффициентларнинг қиймати масса бериш коэффициентларининг сон қийматлари ва мувозанат чизигининг қиялик бурчаги билан белгиланади. Масса бериш коэффициентлари критериял тенгламалардан аниқланади.

5.6.3. Масса алмашилиш жараёнларининг моделлари

Масса бериш механизми бир вақтда ҳам молекуляр, ҳам конвектив усулларда масса ўтиш билан характерланади. Масса ўтказиш эса, ундан ҳам мураккаб жараёндир, чунки фазаларни ажратувчи чегаранинг иккала томонида масса бериш жараёнлари рўй беради. Шу қунгача фазалар орасидаги ҳаракатчан юза чегарасида борадиган масса ўтказиш жараёнининг назарияси яратилмаган. Шунинг учун ҳам масса ўтказиш механизмининг бир қатор соддалаштирилган назарий моделлари ишлаб чиқилган.

Кўпчилик моделлар қуйидаги тахминлар асосида яратилган:

1. Бир фазадан иккинчисига масса ўтиш жараёнидаги умумий қаршилиқ иккала фаза ва уларни ажратувчи юза қаршилиқларининг йиғиндисига тенг. Лекин, кўпинча ажратувчи юзадаги қаршилиқ нольга тенг деб ҳисобланади. Унда, умумий қаршилиқни фазалар қаршилиқлари йиғиндиси деб қараш мумкин;

2. Ажратувчи юзада фазалар мувозанат ҳолатида бўлади.

Юпқа қатламли модель. Бу модель энг биринчиларидан бўлиб, Льюис ва Уитменлар томонидан таклиф этилган. Ушбу модельга биноан, ҳар бир фазادا унинг бевосита чегарасига қўзғалмас ёки ламинар ҳаракатланувчи юпқа қатлам ёндашиб туради.

Юпқа қатламда масса фақат молекуляр диффузия усулида тарқалади. Масса беришга қаршилиқнинг ҳаммаси юпқа қатламда мужассамлашган. Шунинг учун, концентрациялар градиенти фақат чегаравий юпқа қатлам ичида ҳосил бўлади, чунки фазалар ядросида концентрациялар ўзгармас ва сон жиҳатидан ўргача концентрацияларга тенгдир.

Ундан ташқари, юқорида қабул қилинган тахминлар бу модельга ҳам тааллуқли. Шундай қилиб, ушбу модель схемасининг 5.8-расмдагидан фарқи шундаки, чегаравий қатламда турбулент пульсациялар ёрдамида аралаштириш тўғри чизик қонунига бўйсинади.

Юпқа қатламли модельга биноан, вақт бирлигида тарқалган масса миқдори қуйидаги тенгламадан аниқланиши мумкин:

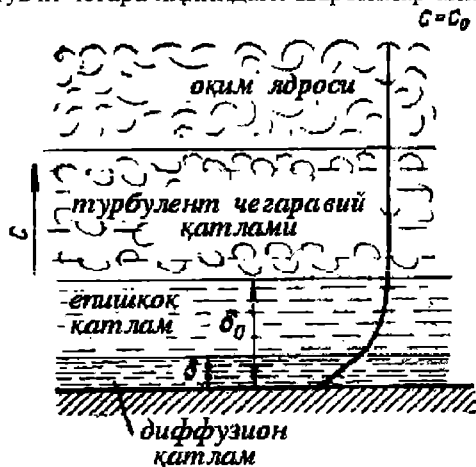
$$M = \frac{D}{\delta_{\text{эф}}} (C_0 - C_*) \quad (5.44)$$

бу ерда C_0 ва C_* — фаза ядроси ва уларни ажратиб турувчи чегарадаги концентрациялар; δ — чегаравий юпқа қатламнинг эффектив қалинлиги; $D/\delta_{\text{эф}}$ — масса бериш тезлигини характерловчи коэффициент.

Ушбу модельда ажратувчи юза атрофидаги гидродинамик шароитлар анча соддалаштирилган. Молекуляр ва турбулент диффузияларни ажратиб турувчи чегарасида турбулент пульсацияларнинг сўниши, системанинг физик ва геометрик катталиклари ҳисобга олинмаган. Шу сабабларга кўра, кўпчилик тажрибаларда олинган натижаларда $M-D$ боғлиқлик исботланмаган.

Ундан ташқари, чегаравий қатламнинг эффектив қалинлигини ўлчаш ёки формулалар ёрдамида ҳисоблаш қийин.

Диффузион чегаравий қатламли модель. Ушбу модельда фазаларни ажратувчи чегара яқинидаги шароитлар аниқроқ ҳисобга олинган (5.9-расм).



5.9-расм. Фазадаги оқимнинг тузилиши ва концентрациянинг ўзгариши.

«Қаттиқ жисм — суяқлик» системасидагига нисбатан юқори аниқликка эга модель рус олимлари Ландау ва Левич томонидан яратилган. Кўриниб турибдики, фаза ядросида концентрация ўзгармас ($C_0 = \text{const}$) бўлиб, турбулент чегаравий қатламда аста-секин камайиб бошлайди. Қовушоқ қатламга яқинлашган сари турбулент пульсациялар сўниб боради. Лекин, қовушоқ қатламда концентрация сезиларли даражада камаяди. Бу қатламда ишқаланиш кучлари катта бўлгани учун суяқлик ҳаракати ламинар режимга тўғри келади. Натижада молекуляр диффузия усулида тарқалаётган модданинг улуши ортиб боради.

Лекин, қовушоқ қатлам δ_0 нинг катта қисмига турбулент диффузия усулида тарқаладиган массанинг миқдори молекуляр диффузияникига қараганда нисбатан кўп. Фақат диффузион қатлам δ дагина массанинг ўтиши бутунлай молекуляр диффузия йўли билан тарқалади.

Диффузион қатламда концентрация кескин ўзгаради ва бу ўзгариш тўғри чизиқ бўйича боради.

Қовушоқ қатлам қалинлиги ва δ_0 диффузион қатлам қалинлиги δ ўртасида қуйидаги боғлиқлик бор:

$$\delta = \left(\frac{D}{\nu} \right)^{1/m} \cdot \delta_0 \quad (5.45)$$

δ нинг қийматини (5.44) га қўйиб, ушбу тенгламани оламир:

$$M = \frac{D^{m-1}}{\nu^{1/m} \delta_0} (C_0 - C_w) \quad (5.46)$$

бу ерда ν - кинематик қовушоқлик; m — фазаларни ажратувчи чегарада турбулент диффузия усулида масса тарқалишининг сўниш қонуниятини ифодаловчи даража кўрсаткичи.

Кўпинча, тажриба йўли билан аниқланади ва «қаттиқ жисм — суяқлик» системаси учун $m=3$, «суяқлик — газ», «суяқлик — суяқлик» системаси учун $m=2$ ва (5.46) тенгламага асосан $M-D^{0.66}$, ҳамда $M-D^{0.5}$.

Шундай қилиб, турбулентлик аста-секин ва узлуксиз равишда сўниб боради ва қаттиқ жисм юзаси яқинида пульсацион тезлик нольга тенглашади, $\varepsilon_D = 0$

Ҳаракатчан ажратувчи юзага эга бўлган «суюқлик газ» ва «суюқлик суюқлик» системаларидаги сиртий таранглик кучлари, худди қаттиқ юзада ишқаланиш кучи каби таъсир этади. Лекин, шу кунгача турбулент пульсацияларнинг сўниш қонуни топилмаганлиги учун m нинг қийматини назарий йўл билан аниқлаб бўлмайди.

Юқорида кўриб чиқилган моделларда модда ўтиши узлуксиз деб тахмин қилинган. Лекин, тўқнашиш юзасининг янгиланиш модели (Данквертс ва Кишиневскийлар томонидан яратилган) да масса алмашилиш жараёни узлукли бўлади, яъни вақт ўтиши билан ўзгариб туради.

Кишиневский М.Х томонидан таклиф этилган модельга биноан, фазаларни ажратувчи чегарагача масса беришда молекуляр ва турбулент диффузия биргаликда боради деб қабул қилинади. Шунинг учун, бу модельда ўтаётган масса миқдори қуйидаги формуладан ҳисобланади:

$$M = 2\sqrt{\frac{D + \varepsilon_d}{\pi\tau}}(C_0 - C_q) \quad (5.47)$$

бу ерда τ - фазаларнинг тўқнашиш вақти; $C_0 - C_q$ - фазалар чегараси ва ядросидаги концентрациялар фарқи.

Данкверс моделига биноан, фазаларни ажратувчи юзалар чегарасида модданинг тарқалиши фақат молекуляр диффузия ҳисобига боради деб қабул қилинган. Лекин, ҳар бир элемент янгиси билан алмашиш эҳтимоли бор деб қаралади. Шу билан бирга, элементларнинг ажратувчи юзада бўлиш вақти бир хил эмас ва модданинг тарқалиши экспоненциал қонунга бўйсинади, яъни (5.47) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$M = \sqrt{Ds}(C_0 - C_q)$$

бу ерда s - вақт бирлиги ичида янгиланаётган юзанинг улуши, s^{-1} .

Маълумки, турбулент ҳаракат шу кунгача мукаммал ўрганилмаган. Шунинг учун ҳам, аниқ ва мукаммал масса ўтказиш моделлари ишлаб чиқилмаганлиги учун (5.17) тенглама ишлатилади.

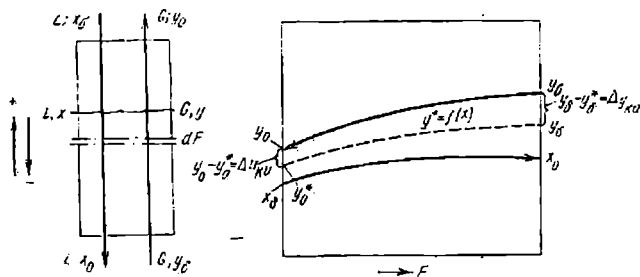
5.6.4. Масса алмашилиш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи куч

Иссиқлик алмашилиш жараёнларида каби, масса алмашилишда ҳам фазалар йўналиши параллел, қарама қарши, ўзаро кесишган ва мураккаб бўлиши мумкин.

Маълумки, фазалар ҳаракатининг ўзаро йўналиши ва уларнинг таъсир қилиш усули масса алмашилиш жараёнининг ҳаракатга келтирувчи куч қийматини белгилайди. Фазалар, ажратувчи юза бўйича ҳаракатланганда, уларнинг концентрацияси ўзгаради. Бу ҳол эса ўз навбатида ҳаракатга келтирувчи кучнинг ўзгаришига олиб кетади. Шунинг учун, масса ўтказишнинг асосий тенгласида ўртача ҳаракатга келтирувчи куч катталиги ишлатилади.

Масса ўтказиш жараёнининг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучи. Ушбу кучнинг ифодаланиши мувозанат чизиги тўғри ёки эгри чизик шаклида эканлигига боғлиқ.

Қарама қарши йўналишли колоннада масса алмашилиш жараёнини кўриб чиқамиз (5.10-расм).



5.10-расм. Масса ўтказиш жараёнининг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучини аниқлашга оид.

Жараён қуйидаги шартларга амал қилган ҳолатда юз бермоқда:

- 1) мувозанат эгри чизиги $y^* = f(x)$;
- 2) фазалар сарфлари ўзгармас ($G = \text{const}$, $L = \text{const}$), яъни ишчи чизик тўғри чизик функциясидир.
- 3) масса ўтказиш коэффиценти қурилманинг баландлиги бўйича ўзгармайди, яъни $K_x = \text{const}$, $K_y = \text{const}$.

Масса ўтказиш жараёнида dF элементар юзадан Φ_y фазанинг концентрацияси dy га камаяди ва тарқалган масса dM нинг миқдори қуйидагича аниқланади:

$$dM = -Gdy$$

Тенглама ўнг томонидаги манфий ишора Φ_y фазадаги концентрациянинг камайтилишини ифодалайди.

Худди шу миқдордаги dM масса Φ_x фазага ўтиб, унинг концентрациясини dx қийматга оширади. Унда, dF элементар юза учун масса ўтказиш тенгламасини ушбу кўринишда ёзиш мумкин:

$$dM = -Gdy = K_y (y - y^*) \cdot dF \quad (5.48)$$

Ўзгарувчи y ва F қийматларни ажратиб (5.48) тенгламани интегралласак (концентрация бўйича y_6 дан y_{ox} гача, тўқнашиш юзаси бўйича O дан F гача), қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\int_{y_6}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y^*} = \int_0^F \frac{K_y}{G} dF$$

бундан

$$\int_{y_6}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y^*} = \frac{K_y}{G} F \quad (5.49)$$

Моддий баланс тенгламасига биноан, бутун қурилма учун бир фазадан иккинчисига ўтган модда массаси қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$M = G \cdot (y_6 - y_{ox})$$

Охирги ифодадаги G нинг қийматини (5.49) тенгламага қўйсак, ушбу кўринишга эришамиз:

$$\int_{y_{ox}}^{y_6} \frac{dy}{y - y^*} = \frac{K_y \cdot F}{M} (y_6 - y_{ox})$$

бундан:

$$M = K_y F \frac{y_{\delta} - y_{\alpha x}}{\int_{y_{\alpha x}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y^*}} \quad (5.50)$$

(5.50) тенгламани (5.4) билан таққослаб, (5.50) тенгламанинг охириги кўпайтмаси масса алмашиниш жараёнининг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучини ифода этишини биламиз:

$$\Delta y_{yp} = \frac{y_{\delta} - y_{\alpha x}}{\int_{y_{\alpha x}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y^*}} \quad (5.50a)$$

Худди шундай Φ_x фазадаги Δx_{yp} ни қуйидагич ифодалаш мумкин:

$$\Delta x_{yp} = \frac{x_{\alpha x} - x_{\delta}}{\int_{x_{\delta}}^{x_{\alpha x}} \frac{dx}{x^* - x}} \quad (5.50b)$$

Мувозанат чизиги тўғри чизиқ ($y^* = mx$) функцияси бўлган ҳолда ўртача логарифмик ёки арифметик катталиқ сифатида аниқлаш мумкин.

Шундай қилиб, Φ_y фазаси учун масса ўтказишнинг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучи ушбу тенглама билан ифодаланади:

$$\Delta y_{yp} = \frac{(y_{\delta} - y_{\delta}^*) - (y_{\alpha x} - y_{\alpha x}^*)}{\ln \frac{y_{\delta} - y_{\delta}^*}{y_{\alpha x} - y_{\alpha x}^*}} = \frac{\Delta y_{ka} - \Delta y_{ku}}{2,3 \lg \frac{\Delta y_{ka}}{\Delta y_{ku}}} \quad (5.51)$$

Φ_x фазаси учун масса ўтказишнинг ўртача логарифмик ҳаракатга келтирувчи кучини эса қуйидаги тенглама орқали топиш мумкин:

$$\Delta x_{yp} = \frac{(x_{\alpha x}^* - x_{\alpha x}) - (x_{\delta}^* - x_{\delta})}{\ln \frac{x_{\alpha x}^* - x_{\alpha x}}{x_{\delta}^* - x_{\delta}}} = \frac{\Delta x_{ka} - \Delta x_{ku}}{2,3 \lg \frac{\Delta x_{ka}}{\Delta x_{ku}}} \quad (5.52)$$

Агар $\Delta y_{ku} / \Delta y_{ka} < 2$ бўлган шароитда, техник ҳисоблашлар учун етарли аниқликда, масса ўтказишнинг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучи, ўртача арифметик қиймат сифатида топилади:

$$\Delta y_{yp} = \frac{\Delta y_{ka} + \Delta y_{ku}}{2} \quad (5.53)$$

Худди шундай, Φ_x фазаси учун:

$$\Delta x_{yp} = \frac{\Delta x_{ka} + \Delta x_{ku}}{2} \quad (5.54)$$

Ўтказиш бирлигининг сони. (5.50a) ва (5.50b) тенгламалари маҳражидаги интеграл ўтказиш бирлигининг сони деб номланади ва у n_{oy} , $n_{\alpha x}$ билан белгиланади:

$$n_{oy} = \int_{y_{\alpha x}}^{y_{\delta}} \frac{dy}{y - y^*}$$

$$n_{ox} = \int_{x_6}^{x_{ox}} \frac{dx}{x^* - x}$$

(5.55) тенгламадан кўриниб турибдики, ўтказиш бирлигининг сони ва ўртача ҳаракатга келтирувчи куч ўртасида маълум боғлиқлик бор:

$$n_{oy} = \frac{y_6 - y_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.56)$$

$$n_{ox} = \frac{x_{ox} - x_6}{\Delta x_{yp}}$$

Шундай қилиб, ўтказиш бирлиги сони жараённинг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучига тескари пропорционалдир.

Ўтказиш бирлигининг баландлиги. Фараз қилайлик, Φ_y фазадан Φ_x га масса ўтказиш жараёни содир бўлиб, ўртача ҳаракатга келтирувчи куч Φ_y фаза концентрациясида ифодаланганда, тарқалган модда M миқдори ушбу тенгламадан аниқланади:

$$M = G \cdot (y_6 - y_{ox})$$

бу ерда G — Φ_y фаза сарфи.

Ундан ташқари, тарқалган модда миқдори ҳажмий масса ўтказиш коэффициенти орқали ифодаланган масса бериш тенграмаси ёрдамида топилиши мумкин:

$$M = K_y \cdot aSH\Delta y_{yp}$$

Агар, охирги икки тенграмаларнинг ўнг томонларини тенглаштирсак, ушбу ифодани оламиз:

$$K_y \cdot aSH\Delta y_{yp} = G (y_6 - y_{ox})$$

бундан, қурилманинг ишчи баландлиги:

$$H = \frac{G}{K_y \cdot aS} \cdot \frac{y_6 - y_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.57)$$

(5.57) тенглама ўнг томонидаги биринчи кўпайтмасини n_{oy} деб белгилаб, (5.49) ва (5.55) тенграмаларни ҳисобга олган ҳолда қуйидагига эришамиз:

$$h_{oy} = \frac{H}{n_{oy}} = \frac{HG}{K_y F}$$

Агар, фазалар тўқнашиш юзаси $F = aSH$ эканлигини инобатга олсак:

$$h_{oy} = \frac{HG}{K_y aSH} = \frac{G}{K_y \cdot aS} \quad (5.58)$$

ёки

$$h_{ox} = \frac{L}{K_x \cdot aS}$$

$K_y \cdot a = K_v$ ва $G/S = W$ – суюқлик массавий тезлиги, бўлгани учун:

$$h_{oy} = \frac{W}{K_v}$$

ёки

$$h_{ox} = \frac{L}{K_v} \quad (5.59)$$

Шундай қилиб, ўтказиш бирлигининг баландлиги битта ўтказиш бирлигига эквивалент бўлган қурилма баландлигини ифодалайди. Ўтказиш бирлигининг баландлиги масса ўтказишнинг ҳажмий коэффициентига тескари пропорционалдир. Демак, қурилмада масса ўтказиш интенсивлиги қанчалик юқори бўлса, ўтказиш бирлигининг баландлиги шунчалик кичик бўлади.

Ўтказиш бирлиги баландлиги узунлик ўлчов бирлиги (м) ёрдамида ўлчанади.

Ажратиб олиш коэффициенти. Масса алмашиниш жараёни нуқтаи назаридан қаралганда, қурилманинг самарадорлиги тарқалувчи компонентни газ (ёки суюқлик) фазадан ажратиб олиш даражаси ёрдамида характерланади.

Қурилмада бир фазадан иккинчисига ўтган компонент ҳақиқий массасининг максимал ўтиши мумкин бўлган компонент массасига нисбати масса алмашиниш қурилмаларининг асосий характеристикаси бўлиб, **ажратиб олиш ёки бойитиш коэффициенти** деб номланади.

$$\varphi = \frac{y_6 - y_{ox}}{y_6 - y_{ox}^*} \quad (5.60)$$

5.7. Масса алмашиниш қурилмаларининг асосий ўлчамларини ҳисоблаш

Масса алмашиниш қурилмаларини технологик ҳисоблаш уларнинг асосий ўлчамлари: қурилма унумдорлигини характерловчи – диаметр ва унда рўй бераётган жараён интенсивлигини ифодаловчи – ишчи баландликлар аниқланиши зарур.

Қурилма диаметри. Ушбу параметрни ҳисоблаш учун суюқлик сарфи тенгламасидан фойдаланилади:

$$V = F w_0$$

бу ерда V – фазанинг ҳажмий сарфи; w_0 – фазанинг сохта тезлиги; F қурилма кўндаланг кесимининг юзаси.

Думалоқ кўндаланг кесим юзаси $F = \pi D^2 / 4$ Демак:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} w_0$$

Бундан қурилманинг диаметри:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi w_0}} \quad (5.61)$$

Одатда, V катталиқ берилган бўлади ва қурилма диаметрини аниқлаш учун тегишли фазанинг сохта тезлигини танлаш зарур. Фаза тезлигини танлаш қуйидаги талаблар асосида амалга оширилади: суюқлик оқимининг тезлиги ортиши билан масса ўтказиш коэффициенти кўпаяди; суюқлик тезлиги орти-

ши билан қурилманинг гидравлик K_y иги ҳам ошади; гидравлик қаршилиқ ортиши билан жараёни ўтказиш учун зарур энергия сарфи кўпаяди. Шунинг учун газ ёки суюқликнинг оптимал тезлигини топиш техник-иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир. Лекин, амалиётда сохта тезликни ҳисоблаб чиқиш ва унинг максимал қийматини топиш билан чегаралинади.

Қурилма баландлиги. Масса алмашилиш қурилмасининг баландлиги жараёнда иштирок этувчи фазалар тўқнашуви узлуксиз ёки поғонали бўлишига қараб аниқланиши мумкин.

Узлуксиз тўқнашишли қурилманинг баландлиги. Фазалари узлуксиз тўқнашувда бўлган қурилмаларда унинг баландлиги ҳажмий масса ўтказиш коэффиценти орқали ифодаланган масса ўтказиш формуласи асосида ҳисоблаш мумкин:

$$M = K_y \cdot a \cdot V \cdot \Delta y_{yp} \quad (5.62)$$

ёки

$$M = K_x \cdot a \cdot V \cdot \Delta x_{yp} \quad (5.63)$$

Қурилманинг ишчи ҳажми:

$$V = FH$$

бу ерда F - қурилма кўндаланг кесими юзаси, м; H - қурилманинг ишчи баландлиги, м.

Агар, V нинг қийматини (5.63) га қўйиб, тенгламани H га нисбатан ечсак, қурилманинг баландлигини топамиз:

$$H = \frac{M}{K_y \cdot a \cdot F \cdot \Delta y_{yp}} \quad (5.64)$$

ёки

$$H = \frac{M}{K_x \cdot a \cdot F \cdot \Delta x_{yp}}$$

(5.64) тенгламадан H ни аниқлашда солиштирма юза a ва масса ўтказишнинг сиртий коэффиценти (K_y ёки K_x) ни ёки ушбу катталикларнинг кўпайтмаси бўлмиш ҳажмий масса ўтказиш коэффиценти K_V ни билиш керак.

Қурилманинг ишчи баландлигини аниқлашда ўтказиш бирлиги сони ёрдамида ҳам топиш мумкин, яъни:

$$H = h_{oy} \cdot n_{oy}$$

ёки

$$H = h_{ox} \cdot n_{ox} \quad (5.65)$$

Поғонали тўқнашишли қурилманинг баландлиги. Бундай турдаги қурилмаларнинг, шу жумладан, тарелкали колонналарнинг баландлиги ҳажмий масса ўтказиш коэффиценти орқали ифодаланади.

Лекин, K_V ни аниқлаш учун керакли ҳаракатчан фаза ҳажмини топиш жуда қийин. Шундай учун, H ни ҳисоблашда қурилма поғоналарининг сони аналитик ёки график усулда топилиши мумкин.

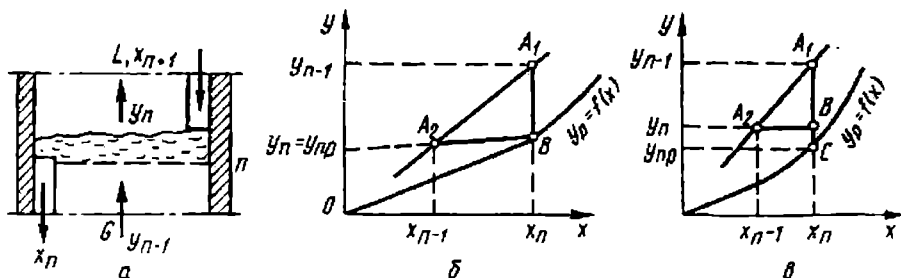
Қурилманинг ишчи баландлиги поғоналарнинг ҳақиқий сони орқали аниқланиши мумкин:

$$H = n_x \cdot h$$

бу ерда h — поғоналар орасидаги масофа.

Поғоналар сонини аниқлашнинг аналитик усули. n - поғонали, қарама-қарши йўналишли, колоннали қурилмада масса алмашилиш жараёнини кўриб чиқамиз (5.11-расм).

Колонна тарелкасига y_{n-1} концентрацияли G газ фаза ва x_{n+1} концентрацияли L суюқ фаза узатилмоқда. Масса алмашилиш натижасида газ фазанинг концентрацияси y_n миқдоргача пасайса, суюқ фазаники x_n миқдоргача кўпаяди. Тарелкадан чиқиб кетаётган газ y_n ва ундан оқиб тушаётган суюқлик x_n таркибларининг мувозанат ҳолати концентрациялари мувозанат чизигида B нуқта билан ифодаланади (5.11-расм).



5.11-расм. Тарелкада масса алмашилиш (а) ва жараёни y - x координатларида тасвирлаш

б – тарелка мувозанат бўлган шароитда – идеал жараён; в – тарелкада мувозанат бўлмаган шароитда – ҳақиқий жараён.

Назарий поғонада газ фазаси концентрациясининг ўзгаришига A_1B вертикал чизик тўғри келади. Суюқ фазада концентрациянинг x_n дан x_{n+1} гача ўзгариши BA_2 горизонтал чизик билан ифодаланади.

Шундай қилиб, A_1BA_2 “поғона” назарий тарелкада иккала фазалар концентрацияларининг ўзгаришини тасвирлайди. Колоннали қурилмаларда назарий тарелкалар сонини аниқлаш учун бошланғич ва охириги концентрациялар оралиғида кетма-кет шундай “поғоналар” қурилади.

Ҳақиқий тарелкалар сонини топиш учун қурилманинг ф.и.к. дан фойдаланилади. Ушбу коэффициент ҳақиқий тарелкадаги масса алмашилиш жараёнининг реал кинетикасини ҳисобга олади ва тарелкалар тузилишига қараб $\eta=0,5...0,8$ оралиқда бўлади.

Ф.и.к. ҳисобга олинган ҳолларда, тарелкаларнинг ҳақиқий сони ушбу нисбатдан топилади:

$$n_x = \frac{\eta_H}{\eta} \quad (5.66)$$

бу ерда η_H - назарий тарелкалар сони; η - ф.и.к.

Тарелкалар ф.и.к. унинг тузилишига, газ ва суюқликларнинг физик – кимёвий хоссаларига, ҳамда оқимлар гидродинамикасига боғлиқдир.

Шуни назарда тутиш керакки, назарий тарелкалар сони ёрдамида қурилма баландлигини аниқлаш тахминий усул бўлиб ҳисобланади. Бундан, фақат масса ўтказиш коэффициенти ёки ф.и.к. нинг ишончли қийматлари бўлмаган ҳолатларда фойдаланиш мумкин.

Кўпинча, масса алмашилиш жараёнларида мувозанат ҳолатига эришиб бўлмайди. Шунинг учун, ҳақиқий тўқнашиш поғоналарини аниқлаш бу жараёнларда асосий масаладир.

Поғонанинг самарадорлиги фазанинг поғонадаги концентрациялар ўзгаришини шу фазанинг поғонага киришдаги ҳаракатга келтирувчи кучи нисбати билан белгиланади.

n - поғона тарелкасидаги концентрациянинг ўзгариши $y_{n-1} - y_n$ фарқ билан (5.11в-расм, A_1B кесма), суюқликни идеал аралаштириш пайтидаги ҳаракатга келтирувчи куч эса, $y_{n-1} - y_{np}$ (5.11в-расм, A_1C кесма) фарқ билан ифодаланади.

Унда, поғоналарнинг самарадорлиги ёки ф.и.к. қуйидагича ҳисобланади:

$$E_y = \frac{y_{n-1} - y_n}{y_{n-1} - y_{np}} \quad (5.67)$$

Қурилма баландлиги эса ушбу нисбатдан топилади:

$$H = \frac{n_x \cdot h_x}{\eta} \quad (5.68)$$

$y > y_p$ бўлганда, n - тарелка учун ҳаракатга келтирувчи куч қуйидагича аниқланади:

$$\Delta y_{yp} = \frac{(y_{n-1} - y_{np}) - (y_n - y_{np})}{\ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}}} = \frac{y_{n-1} - y_n}{\ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}}} \quad (5.69)$$

Ўтказиш бирлигининг сони эса,

$$m_y = \ln \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}} \quad (5.70)$$

бундан

$$e^{m_y} = \frac{y_{n-1} - y_{np}}{y_n - y_{np}} \quad (5.71)$$

5.11-расмдан кўриниб турибдики, $e^{m_y} = AC/BC$ ёки $BC = ACe^{-m_y}$. Агар, e^{-m_y} маълум бўлса, BC кесма бўйича B , B_1 , B_2 нуқталар ўрнини топиш мумкин. B , B_1 , B_2 ,... нуқталарни бирлаштириб, ҳар бир тарелкадан чиқишдаги фазанинг концентрациясини ифодаловчи жараённинг кинетик чизигини оламиз.

Масса ўтказиш коэффициенти β_y ва β_x ларни ҳисобга олган ҳолда аниқланади:

$$K_q = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}$$

Шундай қилиб, K_y ва e^{m_y} қийматларни, ҳамда CB кесмани ҳисоблаб, кинетик чизик ўрнини топиш мумкин.

Поғоналар самарадорлиги ва ўтказиш бирлигининг сони орасида эса қуйидаги боғлиқлик бор:

$$e^{-m_y} = 1 - \frac{y_{n-1} - y_n}{y_n - y_{np}} = 1 - E_y \quad (5.72)$$

бундан

$$E_y = 1 - e^{-m_y} \quad (5.73)$$

5.8. Умумий тушунчалар

Газ ёки буғларни газ ёки буғли аралашмалардаги компонентларининг суюқликда ютилиш жараёни **абсорбция** деб номланади. Ютилатган газ ёки буғ **абсорбтив**, ютувчи суюқлик эса — **абсорбент** деб аталади. Ушбу жараён селектив ва қайтар жараён бўлиб, газ ёки буғ аралашмаларини ажратиш учун хизмат қилади.

Абсорбтив ва абсорбентларнинг ўзаро таъсирига қараб, абсорбция жараёни 2 га бўлинади: физик абсорбция; кимёвий абсорбция (ёки хемосорбция).

Физик абсорбция жараёнида газнинг суюқтик билан ютилиши пайтида кимёвий реакция юз бермайди, яъни кимёвий бирикма ҳосил бўлмайди. Агар, суюқлик билан ютилатган газ кимёвий реакцияга киришса, бундай жараён **хемосорбция** дейилади.

Маълумки, физик абсорбция кўпинча қайтар жараён бўлгани сабабли, яъни суюқликка ютилган газни ажратиб олиш имкони бўлади. Бундай жараён **десорбция** деб номланади. Абсорбция ва десорбция жараёнларини узлуксиз равишда ташкил этиш, ютилган газни соф ҳолда ажратиб олиш ва абсорбентни кўп марта ишлатиш имконини беради.

Абсорбция жараёни саноат корхоналарида углеводородли газларни ажратиш, сульфат, азот, хлорид кислоталар ва аммиакли сувларни олишда, газ аралашмаларидан қимматбаҳо компонентларни ажратиш ва бошқа ҳолларда кент миқёсда ишлатилади.

Абсорбция жараёни иштирок этадиган технологияларни қурилмалар билан жиҳозлаш мураккаб эмас. Шунинг учун, кимё, озиқ - овқат ва бошқа саноатларда абсорберлар кўп қўлланилади.

5.9. Абсорбция жараёнининг физик асослари

Газ фаза суюқлик билан ўзаро таъсири натижасида иккита фаза ($\Phi=2$) ва учта компонент, яъни тарқатувчи модда ва иккита модда ташувчи ($K=3$) лардан иборат система ҳосил бўлади.

Фазалар қондасига биноан, бундай система 3 та эркинлик даражасига эга:

$$C = K + 2 - \Phi = 3 + 2 - 2 = 3$$

Системадаги фазавий мувозанатни белгиловчи асосий учта параметрлар қуйидагилардир: босим, температура ва концентрация. Демак, «газ -суюқлик» системада иккала фазанинг босими p , температураси t ва концентрацияси x ўзгариши мумкин. Абсорбция жараёни ўзгармас босим ва температурада бораётган бўлса, бир фазада тарқалаётган модданинг ҳар бир концентрациясига, иккинчи фазадаги аниқ концентрация тўғри келади.

Ўзгармас температура ($t=const$) ва умумий босимли шароитда мувозанат концентрациялари орасидаги боғлиқлик Генри қонуни билан ифодаланади. Бу қонунга биноан, бирор температурада эритмадаги эритма устидаги газ парциал босими, унинг моль улушига тўғри пропорционалдир:

$$p = Ex$$

ёки

$$x = \frac{p}{E} \quad (5.74)$$

бу ерда p — мувозанат ҳолатидаги эритмада x концентрацияли ютилаётган газнинг парциал босими; E — Генри константаси.

Генри константаси абсорбтив ва абсорбентларнинг хоссаларига, ҳамда температурага боғлиқ бўлади:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C \quad (5.75)$$

бу ерда q — газнинг эриш иссиқлиги, кЖ/кмоль; $R = 8,325$ кЖ/(кмоль·К) — универсал газ доимийси; T — абсолют температура, К, C — ютаётган суюқлик ва газларнинг табиатига боғлиқ бўлган ўзгармас катталиқ.

(5.75) тенгламадан кўриниб турибдики, температура ортиши билан газнинг суюқликда эриши камаяди.

Дальтон қонунига биноан, газ аралашмасидаги компонентнинг парциал босими, ушбу компонент моль улушининг умумий босимга кўпайтирилганига тенгдир, яъни:

$$p = P \cdot y \quad \text{ва} \quad y = \frac{p}{P} \quad (5.76)$$

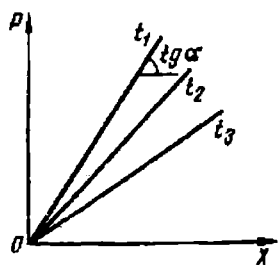
бу ерда P — газ аралашмасининг умумий босими; y — тарқалаётган модданинг аралашмадаги концентрацияси; моль улуши.

(5.74) ва (5.76) тенгламаларни таққослаб, қуйидаги ифодага келамиз:

$$y = \frac{p}{P} = \frac{E}{P} x$$

ёки фазавий мувозанат константаси E/P ни m орқали белгилаб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$y = m \cdot x \quad (5.77)$$



5.12-расм. Турли температураларда ($t_1 > t_2 > t_3$) газнинг суюқликда эриши.

(5.77) тенглама, газ аралашмаси ва суюқликда тарқалаётган моддаларнинг мувозанат концентрациялари орасидаги боғлиқлик тўғри чизик билан ифодаланишини кўрсатади. Ушбу чизик координаталар бошидан ўтади ва унинг қиялик бурчаги тангенс m га тенг. Қиялик бурчак тангенс температура ва босимга боғлиқ. 5.12-расмдан кўриниб турибдики босим ошиши ва температура камайиши билан газнинг суюқликда эрувчанлиги ортади (m эса камаяди). Суюқлик билан газлар аралашмаси мувозанат ҳолатида бўлганида,

аралашма газ компонентининг ҳар бири Генри қонунига бўйсунди.

Абсорбция жараёни нисбий моль концентрацияларда ҳам ҳисобланиши мумкин. Бунда, газ фазасининг суюқликдаги кичик концентрациялари x да Генри қонуни ушбу кўринишда ёзилади:

$$Y = m \cdot X$$

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ўта суюлтирилган эритмалар, ҳамда кичик босимларда ўз хоссалари бўйича идеал суюқликларга ўхшаш эритмалар ҳам Генри қонунига бўйсунди.

Юқори концентрацияли эритмалар ва катта босимларда газ билан суюқликнинг ўзаро мувозанат ҳолати Генри қонунига бўйсунмайди, чунки фазаларнинг мувозанат концентрациялари орасидаги боғлиқлик эгри чизиқ билан ифодаланади.

5.10. Адсорбциянинг моддий баланси ва кинетик қонуниятлари

Адсорбция жараёнининг моддий баланси қуйидаги кўринишдаги умумий тенглама билан ифодаланади:

$$-G \cdot (dy) = L \cdot dx$$

Охирги тенгламани бошланғич ва охирги концентрациялар оралигида интеграллагандан сўнг, ундан абсорбент сарфини (кмоль/с) аниқлаш мумкин:

$$L = G \frac{y_6 - y_{ox}}{x_{ox} - x_6} \quad (5.78)$$

1 кмоль инерт газ учун зарур солиштирма сарф:

$$l = \frac{L}{G} \cdot \frac{y_6 - y_{ox}}{x_{ox} - x_6} \quad (5.79)$$

Абсорберда концентрациянинг ўзгариши (5.8) ва (5.9) тенгламалар билан ифодаланади. Жараён ишчи чизиғи $y-x$ координаталарида тўғри чизиқ кўринишида бўлади. Унинг қиялик бурчағи тангенс $l = L/G$.

Абсорбент солиштирма сарфининг абсорбер ўлчамига ва суюқ фазада тарқалаётган модданинг охирги концентрациясига таъсирини кўриб чиқамиз.

Абсорберда фазалар йўналиши параллел деб қабул қиламиз.

$y-x$ координаталарнинг B нуқтасида аниқланаётган суюқ фазада тарқалаётган модданинг бошланғич концентрацияси x_6 , газ фазасидаги бошланғич концентрация y_6 охиригиси эса y_{ox} (5.13-расм).

Фазалар мувозанат ҳолати $y_m = f(x)$ тенгламага биноан турли қиялик бурчағи остида бир нечта ишчи чизиқлар ўтказамиз. Расмдаги A_1, A_2, A_3 нуқталар газ фаза ва абсорбентдаги бошланғич ва охирги концентрацияларни характерлайди. Жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи ишчи ва мувозанат чизиқлар ўртасидаги фарқ билан аниқланади, яъни $\Delta y = y - y_m$. Бутун қурилма учун ўртача ҳаракатга келтирувчи куч ўртача логарифмик қиймат сифатида топилади. Агар, ишчи чизиқ BA вертикал чизиқ билан устма-уст тушса, ҳаракатга келтирувчи куч энг катта қийматга эга бўлади. Агар, (5.79) тенгламага $x_{ox} = x_6$ қўйилса, абсорбентнинг сарфи чексиз бўлади.

Бошқа ҳолатда эса, яъни ишчи чизиқ BA_3 мувозанат чизиғи билан туташса, абсорбентнинг сарфи минимал ва туташуш нуқтасида ҳаракатга келтирувчи куч нольга тенг бўлади, чунки $y_6 = y_m$.

Биринчи ҳолатда абсорбернинг ўлчамлари минимал бўлади, чунки абсорбентнинг чексиз сарфида $\Delta y_{\text{ср}}$ максимал қийматга эгадир. Иккинчи ҳолатда эса, абсорбентнинг сарфи минимал бўлганда абсорбентнинг ўлчамлари чексиз бўлади.

Масса алмашилиш, шу жумладан, абсорбция жараёнида ҳам мувозанатга эришиб бўлмайди, чунки ҳар доим ($x_{ox} < x_m$). Демак, абсорбентнинг сарфи

ҳар доим минимал қийматдан катта бўлиши керак. Абсорбентнинг минимал сарфини қуйидаги тенгламадан топиш мумкин:

$$l_{\min} = \left(\frac{L}{G} \right)_{\min} - \frac{y_{\delta} - y_{ox}}{x_{kr} - x_{\delta}} \quad (5.80)$$

Абсорбентнинг оптимал сарфи техник-иқтисодий ҳисоблашлар асосида аниқланади.

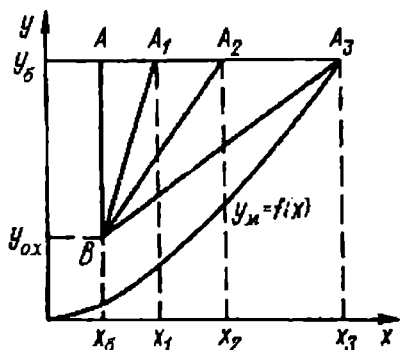
1 кмоль газни ютиш учун зарур сарфлар газ ва эксплуатация нархи S_1 , амортизация ва таъмирлаш учун сарфлар, энергия нархи S_2 , газни узатиш ва десорбция S_3 га кетадиган ҳаражатлар йиғиндисига тенг:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

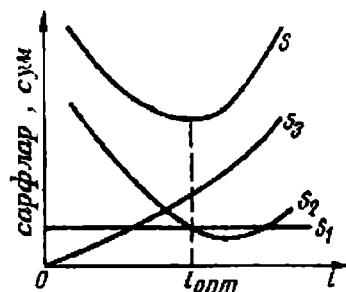
Маълумки, S_1 катталиқ абсорбентнинг солиштирма сарфига боғлиқ эмас. Агар, l ортса, абсорбернинг ишчи баландлиги ва унинг гидравлик қаршилиги камаяди. Лекин, бунда қурилманинг диаметри катталашади.

Шундай қилиб, $S_2 = f(l)$ функция минимумга эга бўлиши мумкин.

Абсорбентнинг солиштирма сарфи l ошиши билан газни узатиш ва десорбциясига кетадиган сарфлар S_3 кўпаяди. 5.14-расмда юқорида келтирилган боғлиқликлар характеристикалари тасвирланган. Ҳамма эгри чизиқлар ординаталарини қўшсак, 1 кмоль газни абсорбция қилиш учун зарур сарфлар йиғиндиси эгри чизигини оламиз. Ушбу эгри чизиқнинг минимуми, абсорбент оптимал солиштирма сарфига тўғри келади.



5.13-расм. Абсорбентнинг солиштирма сарфини аниқлашга оид.



5-14-расм. Абсорбентнинг оптимал солиштирма сарфини аниқлашга оид.

Абсорбция жараёнининг асосий тенгламаси абсорбция жараёни икки фазаги системаларнинг масса ўтказиш тенгламаси билан ифодаланиши мумкин:

$$M = K_y F \Delta y_{yp} \cdot \tau$$

ёки

$$M = K_x F \Delta x_{yp} \cdot \tau$$

Кўпинча, абсорбция жараёнининг масса ўтказиш тенгламасида, ҳаракатга келтирувчи куч $y - y_m$ босимлар фарқи билан ифодаланади:

$$M = K_v (p - p_v) \cdot F \tau$$

ёки

$$M = K_u \cdot \Delta p_{yp} \quad F\tau \quad (5.81)$$

бу ерда p - газ аралашмасида тарқалаётган газнинг ишчи парциал босими; p_m - абсорбент устидаги газнинг мувозанат босими; K_m - масса ўтказиш коэффициенти; M - газ фазасидан суюқ фазага ўтган масса миқдори; Δp_{yp} - жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи.

Агар, мувозанат чизиғи тўғри бўлса, жараёнинг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучи ушбу формуладан топилади:

$$\Delta p_{yp} = \frac{\Delta p_{ka} - \Delta p_{ki}}{2,3 \lg \frac{\Delta p_{ka}}{\Delta p_{ki}}}$$

бу ерда $\Delta p_{ka} = p_{\delta} - p_{ox}^*$ ва $\Delta p_{ki} = p_{ox} - p_{\delta}^*$ абсорбернинг охириги қисмларидаги ҳаракатга келтирувчи кучлар; p_{δ} ва p_{ox} абсорберга кираётган ва чиқаётган газнинг парциал босими; p_{ox}^* , p_{δ}^* - абсорберга кираётган ва чиқаётган газнинг мувозанат парциал босими.

Абсорбция жараёнида масса алмашилиш механизми қуйидагича: ҳар бир фаза асосий масса ва чегаравий юпқа қатламдан иборат бўлади. Асосий массага ютиливчи компонент конвектив диффузия йўли билан ўтади.

Иккала чегаравий юпқа қатламда эса, ютиливчи компонентнинг ўтиши молекуляр диффузия усулида боради. Шунинг учун, абсорбция жараёнида масса ўтказишга бўлган қаршилиқ чегаравий юпқа қатламлар йиғиндисидан иборат бўлади. Суюқ, юпқа қатламдаги масса ўтказишга бўлган қаршилиқ $1/\beta_y$, газдаги эса - m/β_x бўлса, масса ўтказиш коэффициенти ушбу тенгламадан ҳисобланади.

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{m}{\beta_y}} \quad (5.82)$$

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y m}} \quad (5.83)$$

бу ерда β_y - газ оқимидан фазаларни ажратувчи юзасига масса бериш коэффициенти; β_x - фазаларни ажратувчи юзадан суюқлик оқимида масса бериш коэффициенти; m - пропорционаллик коэффициенти, абсорбтив ва абсорбент хоссаларига ва температурага боғлиқ.

Коэффициент m нинг катталиги масса ўтказиш тенгласининг тузилишига ҳам таъсир этади. Яхши эрийдиган газлар учун m нинг қиймати жуда кичик бўлади. Шунинг учун, суюқлик фазасидаги диффузион қаршилиқ ҳам кичикдир. $1/\beta_y \gg m/\beta_x$ бўлгани учун, (5.82) тенглама қуйидагича ёзилади:

$$K_y \cong \beta_y$$

Қийин эрийдиган газлар учун пропорционаллик коэффициент m нинг қиймати жуда каттадир. Шунинг учун газ фазасидаги диффузион қаршилиқни

инобатга олмаса ҳам бўлади. $1/\beta_x \gg 1/\beta_y m$ бўлгани учун, (5.83) тенглама куйидагича ёзилади:

$$K_x \cong \beta_x$$

яъни, ҳамма диффузион қаршилик суюқ фазада мужассамланган бўлади.

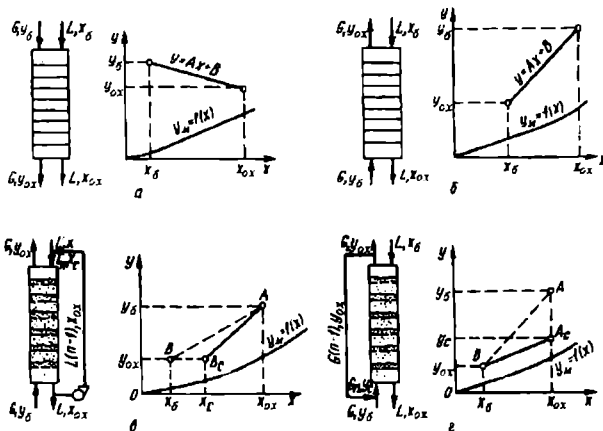
5.11. Абсорбция жараёнини олиб бориш усуллари

Халқ ҳўжалигининг турли тармоқларида абсорбция жараёнини ташкил этишда куйидаги принципиал схемалар қўлланилади:

- параллел йўналишли;
- қарама - қарши йўналишли;
- бир поғонали, қисман рециркуляцияли;
- кўп поғонали, қисман рециркуляцияли.

Параллел йўналишли схема 5.15а-расмда кўрсатилган. Бунда газ оқим ва абсорбент параллел (бир хил) йўналишда ҳаракатланади. Абсорберга киришда, абсорбтив концентрацияси катта бўлган газ фаза, абсорбтив концентрацияси паст бўлган суюқ фаза билан тўқнашувда бўлса, қурилмадан чиқишда эса абсорбтив концентрацияси кичик бўлган газ фаза, абсорбтив концентрацияси юқори бўлган суюқлик билан ўзаро таъсирда бўлади.

Қарама - қарши йўналишли схема 5.15б-расмда кўрсатилган.



5.15-расм. Абсорбция схемалари ва жараёни y - x координатларда тасвирлаш.

- а - параллел; б - қарама - қарши;
- в - абсорбент рециркуляцияси билан;
- г - абсорбтив рециркуляцияси билан.

Ушбу схемали абсорберларнинг бир учиди абсорбтив концентрацияси юқори газ ва суюқлик тўқнашувда бўлса, иккинчи учиди эса - концентрациялари паст фазалар ўзаро таъсирда бўлади.

Қарама-қарши йўналишли схемаларда параллел йўналишлига қараганда, абсорбентдаги абсорбтив энг юқори қийматига эришса бўлади. Лекин, жараёнинг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучи параллел йўналишлига нисбатан кам бўлгани учун, қарама-қарши йўналишли абсорбернинг габарит ўл-

чамлари катта бўлади.

Абсорбент ёки газ фазанинг рециркуляцияли схемалари (5.15в,г расм). Бундай схемаларда абсорбент кўп марта ўтади.

5.15в расмда абсорбент бўйича рециркуляцияли схема келтирилган. Бунда, газ фаза абсорбернинг тепа қисмидан кириб, паст қисмидан чиқиб кетса, суюқ фаза эса қурилмадан бир неча марта қайтариб ўтказилади. Абсорбент қурилманинг тепа қисмига узатилади ва газ фазасига қарама - қарши йўналишда ҳаракатланади. Янги, $x_б$ концентрацияли абсорбент абсорбердан чиқаётган суюқ фаза билан аралашishi натижасида унинг концентрацияси $x_с$ га кўтарилади. Жараёнинг ишчи чизиги y - x диаграммада AB тўғри чизиги билан ифодаланади. Абсорбтивнинг аралаштиришдан кейинги концентрацияси $x_с$ ни моддий баланс тенгласидан топиш мумкин.

Агар, абсорберга киришдаги абсорбент миқдорини янги абсорбент миқдорига нисбатини n деб белгиласак, моддий баланс тенгламаси ушбу кўринишда ёзилади:

$$G \cdot (y_{\delta} - y_{ox}) = L \cdot (x_{ox} - x_{\delta}) = Ln \cdot (x_{ox} + x_{\delta})$$

бундан

$$x_c = \frac{x_{ox}(n - 1) + x_{\delta}}{n} \quad (5.84)$$

Газ фазаси рециркуляцияли абсорбция схемаси 5.15г-расмда келтирилган. Ишчи чизик ҳолати $A_c (y_{\delta}, x_{ox})$ ва $B (y_{ox}, x_{\delta})$ нуқталари билан белгиланади. y_c концентрация моддий баланс тенгламасидан аниқланади:

$$y_c = \frac{y_{ox}(n - 1) + y_{\delta}}{n} \quad (5.85)$$

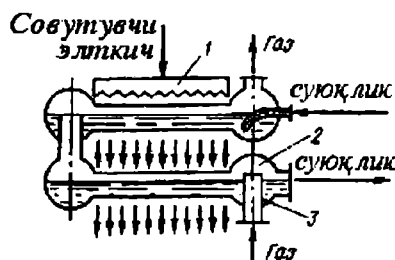
Абсорбент ҳаракат тезлиги ортиши билан масса бериш коэффициенти кўпаяди, бу эса ўз навбатида масса ўтказиш коэффициентини ўсишига олиб келади.

Қийин эрувчан газларни абсорбция қилиш пайтида абсорбентни рециркуляция қилиш усулини қўллаш мақсадга мувофиқдир. Агар, абсорбтив рециркуляция қилса, газ фазасида масса бериш коэффициенти кўпаяди. Бу усул яхши эрийдиган газларни абсорбция қилишда юқори самара беради.

5.12. Абсорберлар конструкциялари

Абсорбция жараёни фазаларни ажратувчи юзада содир бўлади. Шунинг учун ҳам, суюқлик ва газ фазалар тўқнашувда бўладиган абсорберлар юзаси иложи борича катта бўлиши керак. Масса алмашиниш юзаларини ташкил этиш ва лойиҳалаш бўйича абсорберлар 4 гуруҳга бўлинади: сиртий ва юпқа қатламли абсорберлар; насадкали абсорберлар; барботажли абсорберлар; пурковчи абсорберлар.

Сиртий абсорберларда ҳаракатланаётган суюқлик устига газ узатилади. Бундай қурилмаларда суюқлик тезлиги жуда кичик ва тўқнашув юзаси кам бўлган учун бир нечта қурилма кетма - кет қилиб ўрнатилади.



5.16-расм. Сиртий абсорбер.

- 1 - тақсимлагич;
2 - труба; 3- остана.

Суюқлик ва газ қарама қарши йўналишда ҳаракатлантирилади. 5.16 расмда горизонтал трубалардан таркиб топган ювилиб турувчи абсорбер тасвирланган. Трубалар ичида суюқлик оқиб ўтса, унга тескари йўналишда газ ҳаракат қилади. Трубалар ичидаги суюқлик сатҳи остана 3 ёрдамида бир хил баландликда ушлаб турилади.

Абсорбция жараёнида ҳосил бўлаётган иссиқликни ажратиб олиш учун трубалар тақсимлаш мосламаси 2 дан оқиб тушаётган сув билан ювилиб туради. Совутувчи сувни бир меъёрда тақсимлаш учун тишли тақсимлагич 1 қўлланилади. Бу турдаги абсорберлар яхши эрийдиган газларни ютиш учун ишлатилади.

Юпқа қатламли абсорберлар ихчам ва юқори самаралидир. Бу абсорберларда фазаларнинг тұқнашиш юзаси оқиб тушаётган суюқлик юпқа қатлами ёрдамида ҳосил бўлади. Юпқа қатламли қурилмалар гуруҳига труба, лист-насадкали, кўтариладиган қатламли абсорберлар киради.

Труба, абсорберларда суюқлик вертикал трубаларнинг ташқи юзасидан пастга қараб оқиб тушса, газ фаза эса қарама қарши йўналишда юқорига қараб ҳаракатланади. Қолган турдаги абсорберларда ҳам фазаларнинг ҳаракат йўналиши труба, абсорберларникига ўхшашдир.

Труба, абсорберлар тузилишига қараб қобиқ - труба, абсорбер алмашиниш қурилмасига ўхшайди. Қурилмада ҳосил бўлган иссиқликни ажратиш учун трубалар ичига сув ёки бошқа совуқлик элтикчи юборилади.

5.17-расмда текис, параллел насадкали абсорбер тасвирланган.

Насадкалар вертикал листлар кўринишида бўлиб, абсорбер ҳажмини бир нечта секцияга бўлади. Абсорберга суюқлик труба орқали узатилади ва тақсимлаш мосламаси ёрдамида насадкага тақсимланади. Натижада текис листнинг иккала томони ҳам суюқлик билан ювилиб туради. Газ ва юпқа қатламли суюқликларнинг нисбий ҳаракат тезлигига қараб, суюқлик юпқа қатлами пастга оқиб тушиши ёки газ оқимиغا илакишиб, тепага ҳам ҳаракатланиши мумкин. Агар, фазалар оқимининг тезлиги кўпайса, масса бериш коэффициентининг қиймати ва фазалар тұқнашиш юзаси ошади. Бунга сабаб, чегаравий қатламнинг турбулизацияси ва унда уюрмалар ҳосил бўлишидир.

Юпқа қатламнинг ўртача тезлиги ушбу тенгламадан топилиши мумкин:

$$w_{yp} = \sqrt[3]{\frac{gL_c^2}{3\rho\mu}} \quad (5.86)$$

бу ерда L_c — түкиш мосламаси периметрининг суюқлик билан солиштирма пуркалиш зичлиги, кг/(м·с); ρ - суюқлик зичлиги, кг/м³; μ - суюқлик динамик қовушоқлиги, Па·с.

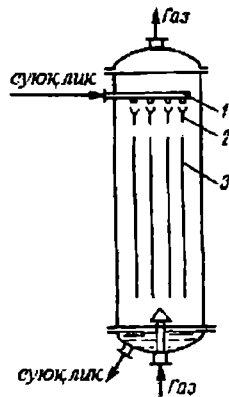
Юпқа қатлам яқинидаги суюқликнинг тезлиги:

$$w = 1,5 \cdot w_{yp} \quad (5.87)$$

Юпқа қатламнинг қалинлиги:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot L_c \cdot \mu}{g\rho^2}} \quad (5.88)$$

Юпқа қатламнинг ҳаракат тезлиги Рейнольдс критерийсидан аниқланади:



5.17-расм. Юпқа қатламли абсорбер.

1 - труба; 2 - тақсимлаш мосламаси; 3 - текис параллел насадка.

$$Re = \frac{w_{yp} \cdot d_s \cdot \rho}{\mu} \quad (5.88a)$$

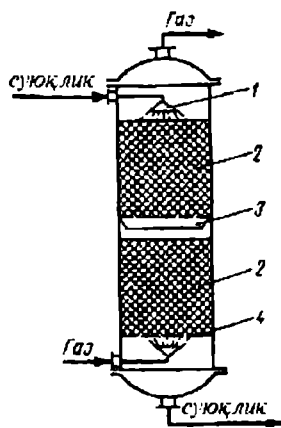
бу ерда d_s — юпқа қатламнинг эквивалент диаметри, м.

Юпқа қатламнинг эквивалент диаметри:

$$d_s = \frac{4\Pi \cdot \delta}{\Pi} = 4\delta \quad (5.89)$$

бу ерда Π — суюқлик оқиб чиқаётган түкиш мосламасининг периметри, м.

Насадкали абсорберлар. Турли шакли қаттиқ насадкалар билан тўлдирилган вертикал цилиндрсимон колонналарнинг тузилиши содда, ихчам ва юқори самарадор бўлгани учун саноатда кўп ишлатилади. Одатда, насадкалар қатлами тешикли панжараларга жойлаштирилади. Газ фаза тешикли панжара остига юборилади ва ундан ўтиб, қатлам орқали юқорига қараб ҳаракатланади (5.18-рasm).



5.18-рasm. Насадкали абсорбер.

1 — тақсимлагич; 2 — насадкаи; 3 — суюқликни қайта тақсимлаш мосламаси; 4 — тешикли панжара.

Суюқлик фаза абсорбернинг юқори қисмидан тақсимлаш мосламаси 1 ёрдамида пуркалади ва насадкаи қатламида газ фазаси билан ўзаро таъсир этади. Қурилма самарали ишлаши учун суюқ фаза бир текисда пуркалиши ва тақсимланиши зарур. Бу турдаги абсорберларда насадкалар ҳам суюқликни бир метърда тақсимлашга салмоқли хисса қўшади. Насадкалар қуйидаги талабларга жавоб бериш керак: катта солиштирма юзага эга бўлиши; газ оқимида кўрсатадиган гидравлик қаршилиги кичик бўлиши; ишчи суюқлик билан яхши ҳўлланилиши; абсорбер кўндаланг кесим юзаси бўйлаб суюқликни бир текисда тақсимлаши; иккала фаза таъсири остида емирилмайдиган бўлиши; енгил ва арзон бўлиши керак.

Саноатда қўлланиладиган насадкаларнинг баъзи бир турлари ва уларни қурилмада жойлаш усуллари 5.19-рasmда келтирилган. Бу насадкаларнинг ичида энг кенг тарқалган насадкаи Рашиг ҳалқаларидир. Ундан ташқари, керамик жисм, кокс, майдаланган кварц, полимер ҳалқа, металл тўр ва панжара, шар, пропеллер ва паррак, эгарсимон элемент ва бошқа жисмлар ишлатилади.

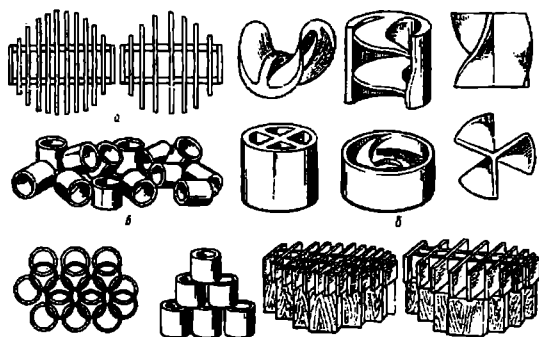
Рашиг ҳалқалари 15x15x2,5; 25x25x3; 50x50x5 мм ўлчамли қилиб ясалди. Насадкаларнинг геометрик хaрактеристикаси бўлиб эквивалент диаметр ҳисобланади:

$$d_s = \frac{4V_{ax}}{a} \quad (5.90)$$

бу ерда V_{ax} — бўш ҳажм, м³/м³; a — солиштирма юза, м²/м³.

Рашиг ҳалқаларининг ўлчамлари катталашиши билан солиштирма юзаси 300; 204; 87,5 м²/м³ ва бўш ҳажми 0,7; 0,74; 0,785 м³/м³ микдорларга тенг бўлади.

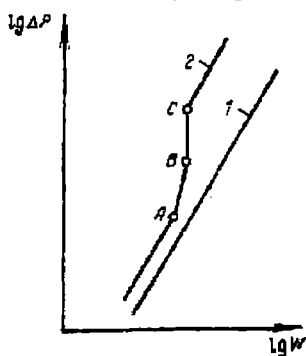
Насадкали абсорберларда тақсимловчи мослама орқали пуркалаётган суюқлик, газнинг кичик тезликларида, насадка устида юпқа қатлам кўринишида оқади. Насадканинг ҳўлланган юзаси фазаларга тўқнашиш юза вазифасини бажаради. Шунинг учун, насадкали абсорберларни юпқа қатламли қурилмалар деб қараш мумкин. Суюқ фаза қурилмалар девори атрофида йиғилиб қолмаслиги учун насадка бир неча секцияга юкланади. Суюқликни бир текисда тақсимлаш учун секциялар орасида қайта тақсимлаш мосламалари ўрнатилади. Насадкали колонналарда газ ва суюқлик қарама - қарши ҳаракат қилади.



5.19-рasm. Насадка турлари.

а - ясси параллел; б - керамик фасонли ва уларни жойлаш усуллари (в-бетартиб; г-тартибли).

Гидродинамик режимлар. Абсорбция жараёнининг самарадорлиги гидродинамик режимларга боғлиқ. Бу режимлар узатилаётган суюқлик миқдори (намлаш зичлиги) ва газ оқимининг тезлиги билан белгиланади. Қурилмада рўй берадиган режимлар насадка гидравлик қаршилигини газ оқимининг сохта тезлигига боғлиқлик функцияси сифатида тасвирланади (5.20-рasm).



5.20-рasm. Насадка гидравлик қаршилигининг колоннадаги газ тезлигига боғлиқлиги.

1 - қуруқ насадка;
2 - намланган насадка.

ортади. Шу билан бирга фазалар орасидаги тўқнашиш юзаси кўпаяди, жараёнининг самарадорлиги бирмунча каттароқ бўлади. Бу режим иккинчи ўтиш нуқтаси (В) да тамом бўлади.

Шуни таъкидлаш керакки, осилиб туриш режимида қатламнинг секин оқиши бузилади; уярма ва томчилар ҳосил бўлади, яъни барботаж ҳолатига ўтиш шароитлар туғилади. Юқорида қайд этилган масса алмашилиш жараёнини интенсивлаштиради.

3 режим - **эмульгацион режим** насадканинг бўш ҳажмида суюқлик йиғилиши натижасида пайдо бўлади. Суюқлик йиғилиши кўтарилаётган газ ва

оқиб тушаётган суюқлик орасидаги ишқаланиш кучи билан оғирлик кучи тенг бўлгунга қадар давом этади. Натижада «газ – суюқлик» дисперс системаси ва ташқи кўриниши бўйича барботажли (кўпикли) қатлам ёки газ суюқликли эмульсия ҳосил бўлади. Маълумки, қурилма кўндаланг кесимида юкланган насадка қатламининг зичлиги бир хил эмас. Шунинг учун, қатламининг энг тор жойларида эмульгацион режим пайдо бўлиб бошлайди. Газ узатишни ўта аниқ ростлаш йўли билан насадка қатламининг бутун баландлигида эмульгацион режим ўрнатиш мумкин. Колоннанинг гидравлик қаршилиги кескин равишда ортади (ВС кесма).

Шунинг учун, юқори босимда ишлайдиган абсорберларда гидравлик қаршилиқнинг таъсири суғ ёки бўлмагани учун абсорбция жараёни эмульгацион режимда олиб борилади.

Эмульгацион режим самарали режим деб ҳисобланади. Бу режимда фазалар тўқнашиш юзаси катта бўлгани учун жараён жуда интенсив кечади.

Атмосфера босимида ишлатиладиган абсорберларда гидравлик қаршилиқ жуда юқори бўлгани учун, уларни юпқа қатламли режимда ишлатиш мақсадга мувофиқдир.

Шундай қилиб, ҳар бир аниқ шароит учун, энг оптимал гидродинамик режим техник – иқтисодий ҳисоблашлар асосида топилади.

Агар, газ оқими тезлигини эмульгацион режим тезлигидан озгина оширсак, тиқилиб қолиш ҳодисасига дуч келамиз.

Тиқилиб қолиш ҳолатига тўғри келадиган газ тезлиги проф. Касаткин А.Г. томонидан келтириб чиқарилган формула ёрдамида ҳисобланади:

$$\lg \left(\frac{w_T^2 \cdot a}{g V_{\text{бх}}^3} + \frac{\rho_T}{\rho} \mu^{0,16} \right) = 0,076 - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_T}{\rho} \right)^{0,125} \quad (5.91)$$

бу ерда a насадканинг солиштирма юзаси, $\text{м}^2/\text{м}^3$; $V_{\text{бх}}$ насадканинг бўш ҳажми, $\text{м}^3/\text{м}^3$; L ва G – суюқлик ва газнинг массавий сарфлари, $\text{кг}/\text{с}$; w_T тиқилиб қолиш тезлиги, $\text{м}/\text{с}$.

Колоннадаги газ ёки буғнинг оптимал тезлигини ушбу критериял тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$\text{Re} = 0,045 \cdot \text{Ar}^{0,57} \cdot \left(\frac{G}{L} \right)^{0,43} \quad (5.92)$$

бу ерда

$$\text{Re} = \frac{w d_2 \rho_T}{\mu_T} \quad \text{Ar} = \frac{g d_2^3 \rho_T}{\mu_T^2} (\rho - \rho_T) \rho_T$$

w – газ (ёки буғ) оптимал тезлиги; d_2 – насадканинг эквивалент диаметри; ρ ва ρ_T – суюқлик ва газнинг зичлиги; μ_T – газ (ёки буғ) динамик қовушқлиги; G ва L – газ (ёки буғ) ва суюқлик массавий тезликлари.

4 – режим - **учиб чиқиш режимида** суюқ фаза колоннадан газ оқими билан ташқарига чиқа бошлайди. Ушбу режим саноатда ишлатиладиган қурилмаларда қўлланилмайди.

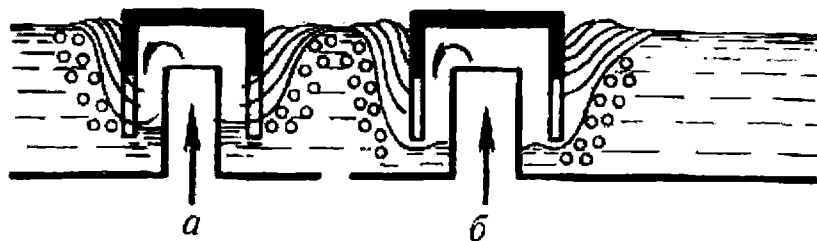
Насадкаларни танлашда уларнинг ўлчамларига катта аҳамият бериш керак. Агар, насадка элементлари қанчалик кичик бўлса, гидравлик қаршилиқ шунчалик кам ва газнинг тезлиги юқори бўлади. Бундай насадкали абсорберлар нархи нисбатан арзон бўлади.

Агар, абсорбер юқори босим остида ишлайдиган бўлса, кичик ўлчамли насадкалар қўлланилади. Чунки, бу турдаги қурилмаларда гидравлик

қаршиликнинг аҳамияти йўқ. Ундан ташқари, насадкаларнинг ўлчами кичик бўлганда, унинг солиштирма юзаси нисбатан катта бўлади ва абсорбция жараёнида бир фазадан иккинчисига ўтган масса миқдори кўп бўлади.

Абсорберларда газлар ютилиши пайтида ажралиб чиқадиган иссиқликни нейтраллаш қийин. Бундай қурилмалардаги иссиқликни камайтириш ва насадкалар ҳўлланишини ошириш мақсадида суюқликни насос ёрдамида рециркуляция қилиш зарур. Бу усулда ишлайдиган абсорберлар тузилиши мураккаблашади ва нархи ортади. Ундан ташқари, ифлосланган суюқликларни ажратиш учун қайновчи абсорберларда пластмассада ясалган шарлар ишлатилиб, газ тезлиги ошиши билан мавҳум қайнай бошлайди. Одатда, қайновчи абсорберларда газнинг тезлиги жуда катта бўлади, аммо қатламнинг гидравлик қаршилига жуда оз миқдорга ортади.

Тарелкали абсорберлар самарали ва энг кенг тарқалган қурилмалардан бўлиб, унинг ичида бутун баландлиги бўйича бир хил масофада бир нечта тарелкалар ўрнатилган. Тешикли тарелкалар орқали ҳам газ, ҳам суюқлик ҳаракатланади ва ундан ўтиш пайтида бир фазадан иккинчисига масса ўтади. Газ фазанинг суюқлик қатламидан ўтиши даврида пуфакча ва кўпикларнинг ҳосил бўлиш жараёни **барботаж** деб номланади. Суюқлик ва газ (ёки буғ) ни бир-бири билан тўқнашиши зарур бўлган ҳолларда барботаж қўлланилади. 5.21-расмда қалпоқчали насадкадан газ ёки буғнинг ўтиши тасвирланган.



5.21-расм. Барботаж жараёни схемалари.

а - кичик тезликда қалпоқчали насадкадан газнинг чиқиши;
б - катта тезликда қалпоқчали насадкадан газнинг чиқиши.

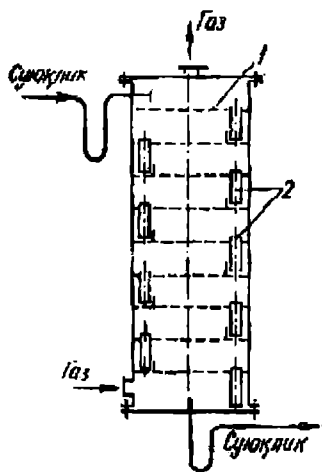
Баробатаж асосан икки режимда кечиши мумкин: пуфакчали ва оқимчали. Газ ёки буғнинг сарфи кичик бўлса, пуфакчали режимни кузатиш мумкин. Бунда, газ пуфакчалари суюқлик қатламини битта-битта бўлиб ёриб чиқади. Пуфакчалар ўлчами барботёр тузилишига, суюқлик ва газ хоссаларига боғлиқ.

Агар, газ тезлиги ошириб берилса, оқимчали режим пайдо бўлади. Барботёрдан чиқаётган газ оқими шакли ва ўлчами ўзгармайдиган "машғала" ҳосил бўлади. Одатда, машғала баландлиги 30...40 мм дан ошмайди.

Тарелкали колонналар қалпоқчали, клапанли, пластинали ва элаксимон тарелкали бўлади. Фазаларнинг бир тарелкадан иккинчисига ўтишига қараб қуйилиш мосламали ва қуйилиш мосламасиз абсорберларга бўлинади.

5.22-расмда қуйилиш мосламали, тарелкали абсорбер конструкцияси тасвирланган.

Кўриниб турибдики, қуйилиш трубагининг пастки қисми қуйида жойлашган тарелка устидаги остонага тушиб туради ва гидравлик тамба вазифасини бажаради. Одатда, суюқ фаза қурилманинг тепа қисмидан тарелкага узатилади ва унинг пастки қисмидан чиқарилади. Газ фаза эса, қурилманинг пасткидан узатилиб, тарелкалар орқали пуфакчалар кўринишида чиқиб кетади. Тарелкада ҳосил бўладиган газ – суюқлик кўпик қатламида асосий иссиқлик ва масса бериш жараёнлари юз беради. Абсорбция жараёнида тозаланган газ



5.22-рasm. Куйилиш мосламали, тарелкали абсорбер.

ҳолатида ўтиш даврида пуфакчали режимни кузатиш мумкин. Бу режимда тарелкадаги фазалар тўқнашиш юзаси кам бўлади.

Кўпикли режим. Газ фазасининг тезлиги ортиши билан тешиклардан чиқаётган пуфакчалар қўшилиб оқимча ҳосил қилади. Тарелкадан маълум бир масофада қатлам қаршилиги туфайли оқимча бузилади ва кўп миқдордаги пуфакчаларга ажраб кетади. Натижада, "газ – суюқлик" дисперс система, яъни кўпик пайдо бўлади. Ушбу режимда газ ва суюқ фазалар тўқнашиши пуфакчалар ва газ оқимчаси, ҳамда суюқ томчилар сиртига тўғри келади. Кўпикли режимда барботажли тарелкаларда фазаларнинг тўқнашиш юзаси максимал миқдорга эгадир.

Оқимчали (инжекцион режим). Агар газ тезлиги янада оширилса, газ оқимчасининг узунлиги кўпаяди ва у барботаж қатлампидан чиқиб қолади. Шу билан бирга, барботаж қатлам бузилмайди ва кўп миқдорда йирик томчилар ҳосил бўлади. Бундай режимда фазаларнинг тўқнашиш юзаси кескин равишда камайиб кетади. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, бир режимдан кейингисига ўтиш аста-секин бўлади. Барботажли тарелкалар гидравлик режимлари чегарасини ҳисоблашнинг умумий усуллари шу кунгача яратилмаган. Шунинг учун ҳам, тарелкали абсорберларни лойиҳалашда тарелка ишлашининг пастки ва тепа ораликлари ҳисоблаш йўли билан топилади. Сўнг эса, газни ишчи тезлиги топилади.

Элаксимон тарелкали абсорбер. Бу турдаги қурилма 5.23-рasmда тасвирланган.

Бу колонна горизонтал тарелка қуйилиши ва остоналардан таркиб топган бўлади.

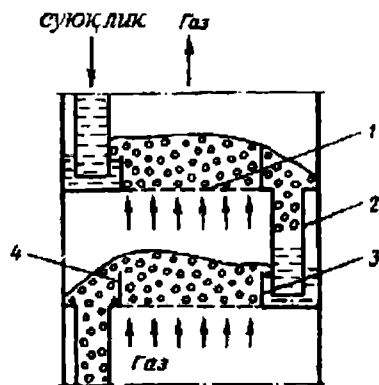
Одатда бу турдаги тарелка юзаси 1...5 мм ли тешиклардан иборатдир ва тарелкадан тушаётган кўпикни парчалаш учун остона тарелкадаги суюқлик сатҳини бир хил ба-

қурилманинг тепа қисмидан чиқиб кетади. Тарелка, қуйилиши трубази ва остона шундай жойлаштириладики, суюқ фаза албатта қарама қарши йўналишда ҳаракат қилади.

Тарелкали абсорберлар гидродинамик режими маълумки, исталган конструкцияли тарелкаларнинг самарадорлиги унинг гидродинамик режимларига узвий боғлиқдир.

Газнинг тезлигига ва суюқликни пуркаш зичлигига қараб барботажли тарелкаларнинг 3 та асосий гидродинамик режими бўлади: пуфакчали, кўпикли ва оқимчали (ёки инъекцион).

Пуфакчали режим. Газнинг тезликлари жуда кичик ва суюқлик қатлампидан алоҳида пуфакчалар

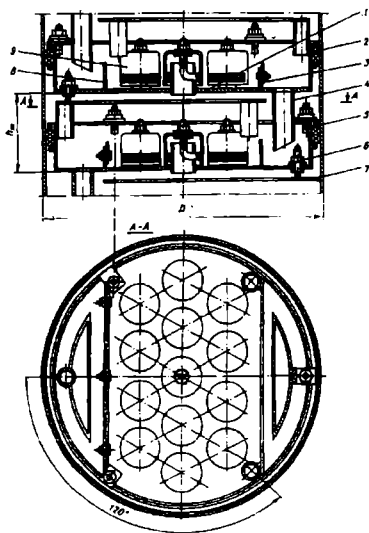


5.23-рasm. Элаксимон тарелкали колонна.

1 - тарелка;
2 - қуйилиш мосламаси; 3, 4 - остоналар.

ландликда ушлаб туриш учун эса, остона 3 хизмат қилади. Суюқ фаза тепадаги тарелкага узатилади ва қуйилиши мосламаси 2 дан, ўтиб, қурилманинг пастки қисмидан чиқиб кетади. Газ фаза ҳар доим қурилманинг пастки қисмига кири-тилади ва тарелкалардан пуфакча шаклида ўтиб, юқори қисмидаги лүтуцердан чиқади.

Қалпоқча тарелкали абсорбер. Бу турдаги қурилма капсула қалпоқча ва сегмент қуйилиш мосламасидан таркиб топган (5.24-расм). Тарелка кўплаб дисклардан иборат бўлиб, таянч ҳалқага қистирма ёрдамида болтлар билан маҳкамланади.



5.24-расм. Қалпоқчали тарелка.

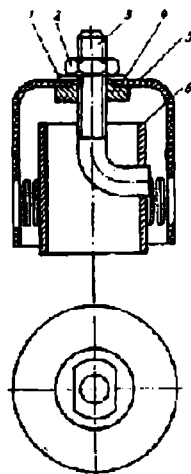
1-тарелка; 2-қистирма; 3-ростловчи қуйилиш остонаси; 4-қуйилиш патруб-каси; 5-болт; 6-ростловчи болт; 7-ҳалқа; 8-қуйилиш остонаси; 9-қалпоқча.

тарелкадаги суюқлик қатлами баландли-гига боғлиқ.

Тарелкада катта масса алмашиниш юзасини барпо қилиш учун ўрнатила-диган қалпоқчалар сони кўпайтирилади. Капсулали қалпоқчанинг бўйлама қир-қими 5.25-расмда келтирилган. Тарелка ва қалпоқчанинг пастки қисми орасида-ги масофа втулка 4 ва гайка 2 ёрдамида амалга оширилади. Бу турдаги тарелка-лар саноатда кенг қўламда қўлланилади. Элаксимон тарелкали абсорберларга қараганда қалпоқчали қурилмалар газ аралашмалари ифлос бўлганда ҳам узоқ муддатда барқарор ишлай олади. Ундан ташқари, газ ёки суюқ фазалар бўйича юклама катта миқдорда ўзгарса ҳам, қалпоқчали тарелка бир текисда яхши

Суюқ фаза юқорида жойлашган тарелкадаги остона 3 дан ўтиб, қуйида ўрнатиш тарелкага тушади. Тарелка юзасида суюқликни бир меъёра тақсимлаш учун остона 8 хизмат қилади. Суюқликни тарелка юзасида бир хил баландликда ушлаб туриш учун ростловчи остона 3 дан фойдаланилади. Газ тарелкаларга патрубк 6 орқали кириб, бир неча оқимчалар ҳолида қалпоқчалар теши-гидан чиқиб бошлайди.

Қалпоқчадаги ҳаво тешиклари тишли бўлиб, тўғри учбурчак шакли-да ясалади. Суюқлик қатлами орқали ўтаётган газ ёки буғ оқими алоҳида-алоҳида пуфакчаларга бўлиниб кета-ди. Тарелкалардан суюқлик қуйилиш патрубкasi 4 орқали тўкилади. Бу турдаги тарелкаларда газ кўпиклари ва пуфакчаларнинг ҳосил бўлиш ин-тенсивлиги буғ (ёки газ) тезлиги ва



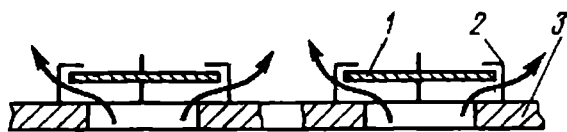
5.25-расм. Капсулали қалпоқча.

1- шайба; 2- гайка; 3- болт; 4- втулка; 5- қалпоқча; 6- патрубкa.

ишлайди. Ушбу тарелка камчиликлари: конструкцияси мураккаб, қиммат ва гидравлик қаршилиги юқори. Ундан ташқари, газ фаза сарфи кам бўлганда, қурилма самарадорлиги кескин равишда камайиб кетади.

Клапанли тарелкалар. Бу турдаги тарелкалар газ фазасининг тезлиги тез ўзгариб турадиган жараёнларда қўлланиши мақсадга мувофиқдир.

Клапанли тарелкалар элаксимон ва қалпоқчали тарелкаларнинг яхши хоссаларини ўзида мужассам қилган (5.26-расм).



5.26-расм. Клапанли тарелка.

1 - клапан; 2 - кронштейн-чеклагич; 3 - тарелка.

панлардан ўтадиган газ оқимининг тезлигига қараб, клапан вертикал, тепага силжийди.

Газ ёки буғ бўйича юклама кенг қўламда ўзгарганда ҳам, клапанли тарелкалар бир меъёردа, барқарор ишлайди. Лекин, уларнинг гидравлик қаршилиги нисбатан юқори.

Оқимчали (ёки пластина) тарелкалар. Бу турдаги тарелкалар қия, параллел пластиналар кўринишида тайёрланади (5.27-расм).

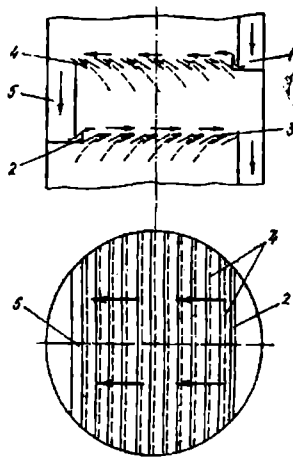
Қалпоқчали, клапанли ва оқимчали тарелкаларда фазаларнинг йўналиши ўзаро кесишган бўлади. Газ ёки буғ тарелкадаги тешиклардан ўтади, суюқлик эса, горизонтал ҳаракатланиб, тарелкадан тарелкага қўйилиш мосламаси 5 орқали ўтади.

Юқорида қайд этилган тарелкалар самарадорлиги гидродинамик режимларга боғлиқ. Газ (ёки буғ) тезлиги ва суюқлик сарфига қараб 3 хил режимлар мавжуд: пуфакчали, кўпикли ва оқимчали. Ҳар бир режимда барботажли қатлам ўзига хос тузилишига эга бўлиб, у қатламнинг гидравлик қаршилиги ва масса алмашилиш юзаси катталигини характерлайди. Бундай тарелкаларнинг гидравлик қаршилиги кам, уларни яшаш учун металл кам сарфланади ва таркибида ифлосликлар бўлган суюқликларни ҳам ишлатиш мумкин. Ундан ташқари, бу тарелкали қурилмаларда жараёни ҳаракатга келтирувчи куч катта бўлади.

Оқимчали тарелкалар камчиликлари: тарелкага иссиқлик бериш ва ажралиб чиққан иссиқликни ажратиш олиш мураккаб; суюқлик сарфи нисбатан кам бўлгани учун, унинг самарадорлиги пастроқ.

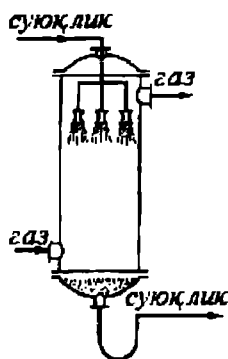
Пурковчи абсорберлар. Бундай қурилмаларда фазаларнинг тўқнашиши суюқ фазани — газ оқимига пуркаб бериш усули ёрдамида амалга оширилади. Пурковчи абсорберларнинг энг содда конструкцияси 5.28-расм келтирилган.

Клапанлар 1 думалоқ пластина шаклида, диаметри эса 40...50 мм бўлади. Кронштейн-чеклагич 2 даги тешик диаметри эса 30...40 мм ва улар орасидаги масофа эса 70...150 мм га тенг. Клапанларнинг кўтарилиш баландлиги 6...8 мм. Кла-



5.27-расм. Оқимчали тарелкалар.

1 - гидравлик тамба;
2 - қўйилувчи тўсиқ;
3 - тарелка; 4 - пластина;
5 - қўйилиш мосламаси.



5.28-расм. Пурковчи абсорбер.

кин. Бундай қурилмаларда суюқлик айланма механизм ёрдамида сочиб берилади. Суюқликдаги тешикли дисклар қўзғалмас цилиндрик қобик ичида айланади. Натижада, диск ёрдамида суюқлик майда томчилар шаклида атрофга сочилди. Механик абсорберлар ихчам ва юқори самарали.

Бу абсорбер ичи бўш қобик ва суюқликни пурковчи механик форсункадан таркиб топган бўлади.

Суюқликни пуркаш пайтида масса ўтказиш коэффициенти энг катта миқдорга эга. Вақт ўтиши ва фазалар ўзаро таъсир юзаси камайганлиги сабабли жараён самарадорлиги пасаяди. Шунинг учун ҳам, кўпинча форсункалар қурилманинг бутун баландлиги бўйича ўрнатилади.

Одатда, пурковчи абсорберлар яхши эрийдиган газларни абсорбция қилиш учун ишлатилади. Пурковчи абсорберлар қаторига механик абсорберларни ҳам киритиш мумкин.

5.13. Абсорберларни ҳисоблаш

Абсорберларни ҳисоблашда қуйидаги параметрлар аниқланади: абсорбент сарфи, қурилманинг диаметри, баландлиги ва гидравлик қаршилиги. Бунинг учун эса қуйидаги параметрлар маълум ёки берилган бўлиши керак: газ сарфи, газ аралашманинг таркиби, бошланғич ва охири концентрациялари, абсорбентдаги газнинг бошланғич концентрацияси.

Абсорбентнинг сарфи моддий баланс тенгламаси (5.7) дан топилади.

Абсорбернинг гидравлик қаршилиги қурилманинг конструкцияси ва унинг гидродинамик режимига боғлиқ. Одатда гидравлик қаршилик газнинг оптимал тезлиги бўйича ҳисобланади, у эса ўз навбатида техник-иқтисодий ҳисоблашлар асосида аниқланади.

Абсорбер диаметри газнинг чизикли тезлигига биноан (5.61) тенгламадан ҳисобланади.

Абсорбер баландлиги эса, масса ўтказишнинг модификациялашган тенгламаси (5.65) дан топиш мумкин.

Юпқа қатламли ва насадкали абсорберларни ҳисоблаш схемалари бир хилдир.

Юпқа қатламли абсорберларни ҳисоблашда гидравлик қаршилик Дарси Вейсбах тенгламасидан аниқланади:

$$\Delta p = \lambda \frac{H}{d_s} \frac{\rho w_H^2}{2}$$

бу ерда λ - гидравлик қаршилик коэффициенти; H - юпқа қатлам оқиб тушаётган юзанинг баландлиги, м; d_s - газ ҳаракатланаётган каналнинг эквивалент диаметри, м; $w_H = w + w_{up}$ - газнинг нисбий тезлиги, м/с; w_{up} - юпқа қатлам ҳаракатининг ўртача тезлиги, м/с; ρ - газ зичлиги, кг/м³.

Юпқа қатлам ҳаракатининг ўртача тезлиги w_{up} (5.86) тенгламадан аниқланади.

Гидравлик қаршилик коэффициенти, газ ва юпқа қатламлар, Рейнольдс критерийининг қийматларига боғлиқ. Суюқлик юпқа қатламининг ҳаракат режимини аниқловчи Рейнольдс критерийси (5.88a) тенгламадан топилади.

Трубали абсорберлар диаметри газнинг сарфи ва тезлиги орқали (труба ички диаметрини маълум қийматига тенг деб қабул қилинади) аниқлаш мумкин.

Трубалар сони эса:

$$n = \frac{G}{0,785wd^2\rho_r} \quad (5.93)$$

бу ерда G - газнинг массавий сарфи, кг/с.

Трубалар сони маълум бўлса, улар орасидаги масофа $t = (1,25...1,5) \cdot d_m$ ва трубаининг қалинлиги δ ни аниқлаб, абсорбернинг диаметри секундли сарф тенгламасидан аниқланади.

Трубалар баландлиги ҳамма трубаларнинг ички юзалари орқали аниқланади:

$$H = \frac{F_m}{n \pi d_{ув}} \quad (5.94)$$

бу ерда $F_m = n\pi d_{ув} \cdot H$.

Модификациялашган масса ўтказиш тенгламаси (5.63) ни ҳисобга олсак:

$$H = \frac{\mu}{n\pi d_{ув} \cdot K_{ув} \cdot \Delta y_{ув}}$$

Газ фазасидаги масса бериш коэффицентини ҳисоблаш учун қуйидаги критериал тенглама таклиф этилади:

$$Nu_{дг} = 0,023 \cdot Re_r^{0,83} \cdot Pr_{дг}^{0,43} \quad (5.95)$$

бу ерда Re_r - газ оқими учун Рейнольдс критерийси; $Pr_{дг}$ - газ учун Прандтл критерийси.

Ушбу тенгламада аниқловчи ўлчам сифатида газ оқими ҳаракатланаётган каналнинг эквивалент диаметри қўлланилади.

Суюқ фазасидаги масса бериш коэффицентини ушбу тенглама ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$Nu_{жк} = 0,069 Re_c^{0,33} \cdot Pr_{жк}^{0,3} \cdot Ga^{0,167} \left(\frac{h}{d_j} \right)^{-0,5} \quad (5.96)$$

бу ерда Re_c - суюқлик юпқа қатлами учун Рейнольдс критерийси; Pr_c - суюқлик учун Прандтл критерийси; Ga - Галилей критерийси; h - қурилма ишчи қисмининг баландлиги, м; d_j - юпқа қатламнинг эквивалент диаметри, м.

Re_c ни ҳисоблашда суюқлик юпқа қатламининг оқиб тушиш тезлиги ишлатилади.

Насадкали абсорберларни ҳисоблашда қуруқ насадкадаги напорнинг йўқотилиши ушбу тенгламадан аниқланади:

$$\Delta p = \lambda \frac{H}{d_s} \frac{\rho_r \cdot w^2 r}{2}$$

Маълумки, напорнинг йўқотилиши насадка характери, газ тезлиги ва намлиги зичлигига боғлиқ.

Хўлланган насадка қаршилигини проф. А.Н.Плановский томонидан таклиф этилган формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$\Delta p = \Delta p_k \left[1 + 8,4 \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_c} \right)^{0,23} \right] \quad (5.97)$$

бу ерда Δp_k - қуруқ насадка гидравлик қаршилиги.

Абсорбер диаметри эса қуйидаги формуладан топилади:

$$D = \sqrt{\frac{G}{3600 \pi \rho_r \cdot w}}$$

бу ерда G - газ сарфи, кг/соат; ρ_r - газ зичлиги, кг/м³; w - колонна бўш кўндаланг кесимидаги тезлик, м/с. Газ тезлиги (5.92) тенгламалардан ҳисоблаб топилади.

Абсорбер баландлигини модификациялашган масса ўтказиш тенгламаси (5.65) дан аниқлаш мумкин.

Газ фазасидаги масса бериш коэффицентини ҳисоблаш учун қуйидаги критериял тенгламани қўллаш мумкин:

$$Nu_{ди} = 0,407 Re_r^{0,655} Pr_{ди}^{0,33} \left(\frac{h}{d_{эк}} \right)^{-0,47}$$

Ушбу тенгламада аниқловчи ўлчам сифатида насадканинг эквивалент диаметри $d_{эк}$ хизмат қилади. Re_r критерийсига насадка бўш каналларидаги газнинг тезлиги қўйилади.

Суюқ фазадаги масса бериш коэффицентини ҳисоблаш ушбу формула-ни қўллаш мумкин:

$$Nu_{ДС} = 0,00216 Re_c^{0,77} \cdot Pr_{ДС}^{0,5} \quad (5.98)$$

Формуладаги $Nu_{ДС}$ юпка қатлам келтирилган қалинлигида ҳисобланган:

$$\delta_{юк} = \left(\frac{\mu_c^2}{g \rho_c^2} \right)^{0,33} \quad (5.99)$$

Тарелкали абсорберларни ҳисоблашда қурилманинг гидравлик қаршилиги, диаметри, баландлиги ва тарелкалар сони аниқланади.

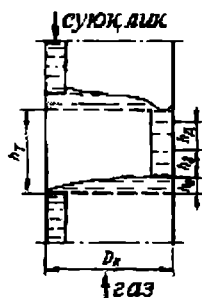
Тарелка тури танлангандан сўнг, буғ ёки газнинг рухсат этилган энг катта тезлиги аниқланади. Бунинг учун Киршбаум томонидан таклиф этилган формуладан фойдаланиш мумкин:

$$w_k = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_r}} \quad (5.100)$$

Колонна бўш кўндаланг кесимидаги газнинг тезлиги (0,8...0,9) w_k га тенг деб қабул қилинади.

Замонавий қурилмаларда тарелкалар орасидаги масофа иложи борица кам бўлиши керак.

Тарелкалар орасида керакли гидравлик тамба ҳосил қилувчи минимал масофа ушбу ифодадан топилади (5.29-расм).



5.29-расм. Тарелкалар орасидаги минимал масофани ҳисоблашга оид.

$$h_T \geq h_{\text{л}} + h_3 + h_0 \quad (5.101)$$

бу ерда $h_{\text{л}}$ - суяқлик тезлигини ҳосил қилиш учун қуйилиш патрубкисидаги суяқлик устунининг баландлиги, м²; h_3 гидравлик тамба ҳосил қилиш учун қуйилиш патрубкисидаги суяқлик устунининг баландлиги, м; h_0 - тарелкадан қуйилиш патрубкисининг пастки учиғача бўлган масофа, м.

Қуйилиши патрубкисидаги суяқлик устунининг баландлиги:

$$h_{\text{л}} = \frac{w^2}{2g} (1 + \xi_1 + \xi_2) \quad (5.102)$$

бу ерда w - қуйилиш патрубкисидаги суяқлик тезлиги, одатда 0,02...0,06 м/с ораликда бўлади; ξ_1 - патрубкдан чиқишдаги қаршилиқ коэффициент; ξ_2 - қуйилиш патрубкисининг қаршилигини ифодаловчи коэффициент.

Ушбу коэффициентни қуйидаги формуладан топиш мумкин:

$$\xi_2 = \lambda \frac{l_k}{d_k}$$

бу ерда λ - гидравлик қаршилиқ коэффициент; l_k - қуйилиш патрубкиси ишчи узунлиги, ($h_{\text{л}} + h_3$) м; d_k - қуйилиш патрубкиси диаметри, м.

Суяқлик устунининг баландлиги h_3 тарелкалар орасидаги босимни тенглаштириб туради.

Элаксимон тарелканинг гидравлик қаршилиги (Па) қуйидаги тенгламадан аниқланиши мумкин:

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_a + \Delta p_c \quad (5.103)$$

бу ерда Δp_k - қуруқ тарелка қаршилиги; Δp_a - сиртий таранглик кучларини енгилш учун зарур босимлар фарқи; Δp_c - тарелкадаги суяқлик устунининг қаршилиги.

Δp_a суяқликнинг сиртий таранглик катталигига қараб аниқланади:

$$\Delta p_a = \frac{4\sigma}{d_0} \quad (5.104)$$

бу ерда σ - фазалар чегарасидаги сиртий таранглик, Н/м; d_0 - тарелка тешигининг диаметри, м.

Қуруқ тарелка Δp_k ва ундаги суяқлик устунининг қаршилиги Δp_c лар проф. А.Н.Плановский тавсия этган формулалардан ҳисоблаб топилиши мумкин:

$$\Delta p_k = 1,83 \frac{w_0^2}{2} \rho_{\text{г}} \quad (5.105)$$

$$\Delta p_c = 1,3 k h + \sqrt[3]{k \Delta h} \quad (5.106)$$

бу ерда w_0 - тарелка тешикларидаги газ оқимининг тезлиги, м/с; $k=0,5$ - тарелкадаги кўпик зичлигининг сууюқлик зичлигига нисбати; h - қуйилиш остонаси баландлиги, м; Δh - остона атрофидаги барботаж бўлмаган сууюқлик баландлиги, м;

$$\Delta h = \sqrt{\left(\frac{4}{\varphi b}\right)^2} \quad (5.107)$$

бу ерда L сууюқлик массавий сарфи, кг/соат; φ қуйилиш тўсиғидан ўтаётган сууюқликнинг сарф коэффициенти ($\varphi=6400...10000$); b - қуйилиш тўсигининг эни, м.

Қалпоқчали тарелканинг гидравлик қаршилиги ушбу тенгликдан аниқланади:

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_{mur} + \Delta p_c \quad (5.108)$$

бу ерда Δp_k - қалпоқчали тарелкадан газ оқими ўтишидаги босимнинг йўқотилиши, Па; Δp_{mur} - қалпоқчали тарелка тирқишидан газ ўтиши пайтидаги босимнинг йўқотилиши, Па; Δp_c - тарелкадаги сууюқлик устунининг қаршилиги, Па.

Қалпоқчали тарелканинг гидравлик қаршилиги Δp_k ни, маҳаллий қаршиликларни енгил пайтидаги босимлар йўқотилишларнинг йиғиндиси орқали топиш мумкин. Одатда қалпоқчанинг ҳамма кўндаланг кесимларида газ оқими тезликлари тенг бўлса, гидравлик қаршилиқ минимал бўлади:

$$\frac{\pi d_n^2}{4} = \pi d_k \cdot h_k = \frac{\pi}{4} \cdot (d_k^2 - d_n^2) \quad (5.109)$$

бу ерда d_n - патрубкa диаметри, м; d_k - қалпоқча диаметри, м; h_k - қалпоқча ва патрубкa орасидаги масофа, м.

Диаметри 40...60 мм ва буғ патрубкaларининг кесим юзалари колонна кўндаланг кесим юзасига нисбати 0,1...0,15 бўлган қалпоқчалар энг яхши гидродинамик характеристикаларга эга.

Қалпоқчанинг қаршилиги ушбу формуладан топилиши мумкин:

$$\Delta p_k = \sum \xi \left(\frac{w^2 p_r}{2} \right)$$

бу ерда w - патрубкaдаги газ тезлиги, м/с; $\sum \xi$ - ҳамма қаршиликлар йиғиндиси.

Қалпоқча тирқишларининг қаршилиги эса:

$$\Delta p_{mur} = \xi_{mur} \left(\frac{w_{mur}^2 p_r}{2} \right) + \Delta p_a$$

бу ерда $\xi_{mur}=1,5$ - тирқишдан газ ўтишидаги маҳаллий қаршилиқ коэффициенти; w_{mur} - тирқишдаги газ тезлиги, м/с; Δp_a - сиртий таранглик кучлари туфайли ҳосил бўлган қаршилиқ.

Ушбу ҳолатда:

$$\Delta p_a = \frac{4\sigma}{d_f}$$

бу ерда d_f - тирқиш очик тешигининг гидравлик диаметри, м.

Суюқлик устунининг қаршилиги (5.102) формуладан ҳисоблаб топиш ҳам мумкин.

Абсорбер даиаметри (5.62) тенгламадан ҳисобланади.

Агар, тарелкалар сони n ва улар орасидаги масофа h_z маълум бўлса, абсорберлар баландлиги ушбу формуладан топилади:

$$H = h_f \cdot n + h_g \quad (5.110)$$

бу ерда h_g - энг юқори тарелка ва абсорбер қопқоғи орасидаги масофа, м.

Масса ўтказиш коэффициентлари (5.82), (5.83) формулалардан аниқланади.

Тарелкали абсорберларда газ фазасида масса бериш коэффициенти проф. Г.П.Саламаха томонидан келтириб чиқарилган тенглама орқали ҳисоблаб топилиши мумкин:

қалпоқчали тарелкалар учун:

$$Nu_{dz} = 0,265 \cdot Re_z \cdot Pr_{dz}^{0,5} \cdot We^{-0,32} \quad (5.111)$$

қуйилиш мосламали элаксимон тарелкалар учун:

$$Nu_{dz} = 2,5 \cdot Re_z^{0,72} \cdot Pr_{dz}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.112)$$

пластинали ва элаксимон тарелкалар учун:

$$Nu_{dz} = 1,53 \cdot Re_z^{0,72} \cdot Pr_{dz}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.113)$$

бу ерда $We = \sigma / g \rho_c h_{cm}^2$ Вебер критерийси. Бу ерда σ - сиртий таранглик, Н/м; ρ_c суюқлик зичлиги, кг/м³; h_{cm} - тарелкадаги статик суюқлик қатламининг баландлиги, м.

Nu_{de} ва Re критерийларида чизиқли ўлчам бўлиб капилляр константа χ ҳисобланади ва у $\chi = \sqrt{(\sigma / \rho_c \cdot g)}$ ифода орқали аниқланади. Суюқ фазадаги масса бериш коэффициентини ҳисоблаш учун ушбу формуладан фойдаланиш тавсия этилади:

$$Nu_{dz} = 540 \cdot Re_c^{0,33} \cdot Pr_{dc}^{0,45} \quad (5.114)$$

Тенгламадаги Re критерийсини ҳисоблашда w параметр ўрнига колонна бўш кўндаланг кесимидаги газнинг тезлиги қўйилади.

5.14. Умумий тушунчалар

Икки ва ундан ортиқ учувчан компонентлардан таркиб топган бир жинсли суюқлик аралашмаларини ажратиш учун қўлланиладиган усуллардан энг кенг тарқалганлари ҳайдаш ва ректификациядир.

Ҳайдаш ва ректификация жараёнлари кимё, озиқ - овқат ва бошқа саноатларда жуда кенг қўламда ишлатилади. Масалан, техник ва озиқ - овқат этил спиртларини, ароматик моддалар ишлаб чиқаришда, ҳамда аралашмаларни дағал ажратиш учун қўлланилади. Жуда тўла ажратиш учун ректификация жараёнидан фойдаланилади.

Ҳайдаш ва ректификация жараёнлари бир хил температурада аралашма компонентларининг турли учувчанлигига асослангандир. Юқори учувчанликка эга компонент **енгил учувчан**, паст учувчанликка эга **компонент қийин учувчан** деб номланади. Демак, енгил учувчан компонент қийин учувчанга қараганда пастроқ температурада қайнайди. Шунинг учун ҳам, улар паст ва юқори температурада **қайнайдиган компонентлар** деб аталади.

Ҳайдаш ёки ректификация жараёнида бошланғич аралашма енгил учувчан компоненти билан бойитилган **дистиллят** ва қийин учувчан компонент билан бойитилган **куб қолдиғига** ажралади. Ҳайдаш жараёнида ҳосил бўлган буг конденсатор - дефлегматорга конденсациялаш натижасида дистиллят олинади. Қурилма кубида эса - куб қолдиғи қолади.

5.15. Ҳайдаш ва ректификация жараёнларининг назарий асослари

Энг оддий аралашма 2 та компонентдан таркиб топган бўлади ва у **бинар аралашма** деб аталади. Бинар аралашманинг эркинлик даража сони қуйидагига тенг:

$$C = K + 2 - \Phi = 2 + 2 - 2 = 2$$

бу ерда **K** - компонентлар сони; **Φ** - фазалар сони.

Система ҳолатини учта бир - бирига боғлиқ бўлмаган параметр белгилайди: босим **p**, температура **t** ва концентрация **x**. Агар, исталган иккита параметр танланса, учинчисини аниқлаш қийин эмас. Демак, мувозанат чизигини исталган иккита ўзгарувчи параметр орқали ифодалаш мумкин, яъни **p** ва **x**, **t** ва **x**, **p** ва **t**, **x** ва **y**.

Маълумки, суюқлик аралашмалари ўзларининг физик-кимёвий хараakterистикалари бўйича катта фарқ қилади.

Компонентларнинг ўзаро эришига қараб, бинар аралашмаларни 3 гуруҳга бўлиш мумкин:

- компонентлари чексиз эрувчан аралашмалар;
- компонентлари ўзаро эримайдиган аралашмалар;
- компонентлари қисман эрувчан аралашмалар.

Компонентлари чексиз эрувчан аралашмалар ўз навбатида идеал ва ҳақиқий эритмаларга бўлинади.

Идеал аралашмалар деб эритма таркибидаги компонент олиними натижасида иссиқлик ажраб чиқмайдиган ёки ютилмайдиган ва ҳажми ўзгармайдиган аралашмаларга айтилади.

Енгил учувчан **A** ва қийин учувчан **B** компонентли бинар, суюқ аралашмани кўриб чиқамиз. **A** ва **B** тоза компонентлар тўйинган буғларининг босимини P_A ва P_B деб белгилаймиз.

Маълумки, идеал аралашмалар Рауль қонунига бўйсинади. Ушбу қонунга биноан, суюқлик устидаги тоза компонентнинг буғ босими унинг суюқликдаги моль улушига пропорционалдир:

$$p_A = P_A \cdot x \quad p_B = P_B (1 - x) \quad (5.115)$$

бу ерда P_A, P_B - **A** ва **B** компонентларнинг парциал босими; $x, (1-x)$ - суюқ аралашмадаги **A** ва **B** компонентларнинг моль улушлари.

Дальтон қонунига биноан системадаги умумий босим, парциал босимлар йиғиндисиغا тенг:

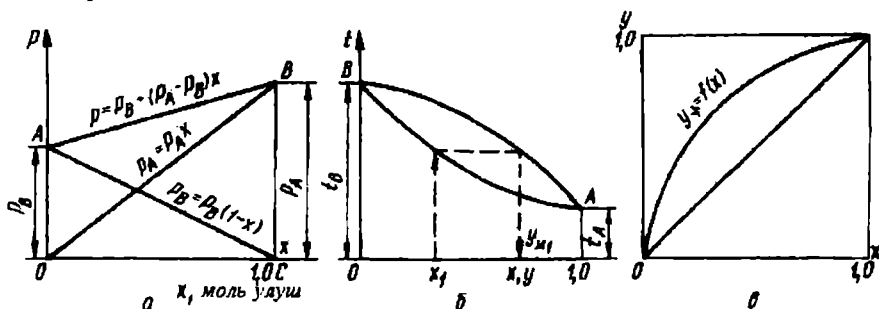
$$P = P_A \cdot x + P_B (1 - x) = P_B + (P_A - P_B) \cdot x \quad (5.116)$$

бундан

$$x = \frac{P - P_B}{P_A - P_B}$$

(5.115) ва (5.116) тенгламалардан кўриниб турибдики, бир хил ўзгармас температурада суюқлик аралашмаси устидаги компонентлар парциал ва буғларнинг умумий босими енгил учувчан компонентнинг моль улуши x билан тўғри чизикли боғлиқликда бўлади.

5.30-расмда компонентлар парциал босими ва умумий босим изотермалари тасвирланган.



5.30-расм. Идеал аралашмалар учун суюқлик-буғ мувозанат диаграммаси.

а - аралашма устидаги компонент парциал босими ва умумий босим изотермалари; б - t - x , y диаграммалари; в - y - x диаграмма.

OB ва **CA** тўғри чизиклар компонентлар парциал босими (p_A ва p_B) ни, **AB** эса - суюқлик устидаги умумий босим ўзгаришини ифодалайди. **OA** ва **CB** вертикал кесмалар тоза компонентлар тўйинган буғ и босими (P_A ва P_B) ни кўрсатади.

Дальтон қонунига кўра, буғдаги компонентнинг парциал босими, ундаги шу компонент моль улушига пропорционалдир:

$$p_A = P \cdot y \quad p_B = P \cdot (1 - y) \quad (5.117)$$

бу ерда P - система умумий босим; $y, (1-y)$ - буғ аралашмасидаги **A** ва **B** компонентлар моль улуши.

Мувозанат шароити учун:

$$P_A \cdot x = P_B \cdot y \quad P_B(1-x) = P \cdot (1-y) \quad (5.118)$$

бундан

$$y = \left(\frac{P_A}{P} \right) x \quad \text{ёки} \quad 1-y = \left(\frac{P_B}{P} \right) \cdot (1-x) \quad (5.119)$$

Одатда, ҳайдаш ва ректификация жараёнлари изобарик жараёнда ўтказилади. Шунинг учун, $P = \text{const}$ бўлган ҳолатдаги бинар аралашмани кўриб чиқамиз.

Бунда мувозанат чизигини $t - x, y$ ёки $y - x$ координатларда тасвирлаш мумкин. Агар, температура маълум бўлса ва x, y катталиклари ҳисоблаб топилса, системадаги мувозанатни ифодаловчи диаграммани қуриш мумкин. Диаграммадаги пастки чизиқ (5.30б-расм) суюқ аралашманинг қайнаш температурасини, юқори чизиқ эса - буғ аралашмани конденсациялаш температурасини ифодалайди. $x = 0$ ва $x = 1,0$ да ордината ўқларидаги кесмалар, қийин ва енгил учувчан компонентлар қайнаш температурасини кўрсатади.

Суюқликнинг маълум таркиби x_1 бўйича буғ таркибини аниқлаш учун суюқлик концентрациясига тегишли абсцисса ўқидаги нуқтадан қайнаш чизиги билан кесишгунча вертикал чизиқ ўтказилади. Сўнг эса, кесилиш нуқтасидан буғ конденсацияланиш чизиги билан кесишгунча горизонтал чизиқ ўтказилади. Кесилиш нуқтасининг абсцисса ўқидаги қиймати буғнинг мувозанат таркиби y_{p1} ни беради.

5.30б-расмда кўриниб турибдики, бир хил қайнаш температурасида буғдаги енгил учувчан компонент концентрацияси унинг суюқлик буғлари мувозанат концентрациясидан катта бўлади. «Суюқлик буғ» системанинг бу ҳоссаси Коноваловнинг биринчи қонунига бўйсунди, яъни эритма билан мувозанатда бўлган буғ доим ўзида шундай компонентни ортиқча ушлайди, бунда эритмага шу компонентдан қўшилганда унинг қайнаш температураси камаяди. Масалан, этил спиртига сув қўшилса, системанинг қайнаш температураси пасаяди. Коноваловнинг 1-қонунига биноан, эритманинг қайнаши даврида сув буғи фазасининг спирт буғлари билан бойиши содир бўлади.

Ректификация жараёнини ҳисоблаш учун $y - x$ диаграммадан фойдаланиш қулайдир (5.30в-расм).

$y_m = f(x)$ функция қуйидаги тенгламага мос келади

$$y = \frac{P_A \cdot x}{P} = \frac{P_A \cdot x}{P_B + (P_A - P_B) \cdot x} \quad (5.120)$$

ҳамда, суюқ ва буғ фазалар мувозанат таркиблари орасидаги боғлиқликни ифодалайди.

Компонентлар нисбий учувчанлиги:

$$\alpha = \frac{P_A}{P_B}$$

маълум бўлса, идсал аралашмалар мувозанат чизигини ҳисоблаш ва қуриш мумкин.

$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + (\alpha - 1) \cdot x} \quad (5.121)$$

Фақат энгил учувчан компонентлардан таркиб топган суюқлик билан шу компонентдан таркиб топган буғ мувозанат ҳолатида бўлади. Мувозанат чизигининг энг четки нуқталари квадратнинг қарама қарши бурчакларида жойлашган. Квадрат диагонали ва мувозанат эгри чизиги суюқ ва буғ фазаларнинг мавжуд бўлиш соҳаларини чегаралайди.

Ҳақиқий суюқлик аралашмалари. Бундай аралашмалардан компонентлар ажратиб олинганда иссиқлик ажраб чиқади, ҳажми ўзгаради ва кўпчилик ҳолларда Рауль қонунига бўйсунмайди.

Ундан ташқари, бу аралашмалар буғ фазасининг молекулалари ўзаро тортишиш кучларини, уларнинг ҳажмларини ва бошқаларни ҳисобга олиш зарур.

Рауль қонунига нисбатан оғиш манфий ёки мусбат бўлиши мумкин. Агар, оғиш мусбат бўлса, эритма устида умумий босим Рауль қонуни бўйича идеал эритма учун ҳисоблангандан катта, манфий оғишида эса - кичик бўлади.

Мусбат оғишда умумий босим чизиги идеал эритманикидан юқори, манфий оғишда - пастроқдан ўтади.

Парциал босимларнинг концентрацияга боғлиқлиги ботиқ ёки бўртиқ чизиклар орқали тасвирланади (5.31-расм);

Ҳақиқий эритмалар учун фазавий мувозанат диаграммалари тажрибавий маълумотлар асосида қурилади.

Мувозанат чизигидан оғишнинг сон қийматлари Рауль қонунидан жуда катта фарқ қилиши ва бир қатор эритмалар учун маълум бир концентрацияда

қайнаш температураси ўзгармас катталикка эга бўлиши мумкин.

Коноваловнинг иккинчи қонунига биноан, суюқ эритма устидаги мувозанат ҳолатидаги буғнинг таркиби суюқ эритма таркибига тенгдир, яъни $y_M = x$ (5.31-расмдаги М нуқта). Бундай аралашмалар **азеотроп** эритмалар деб номланади. Азеотроп эритмалар максимал ва минимал қайнаш температурали бўлиши мумкин.

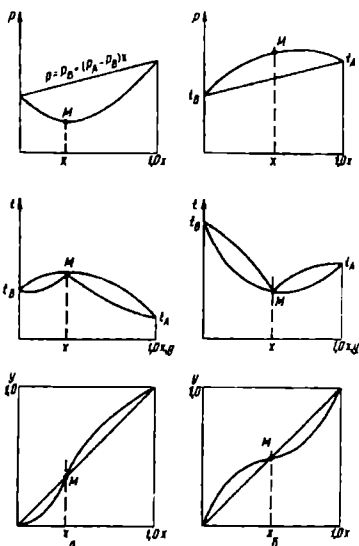
Азеотроп эритмалар таркиби босим (температура) га боғлиқ бўлади.

Бирор системада босим ўзгариши билан унинг мувозанат ҳолати ўзгаради. Бу эса, ўз навбатида буғ фазаси таркибининг ўзгаришига олиб келади.

Ушбу ўзгаришлар механизмини билиш учун **М.С.Вревский** томонидан қуйидаги қонунлар яратилган:

а) икки компонентли эритманинг қайнаш температураси (ёки босими) ортганда, буғлар таркибида буғланиши учун катта энергия талаб этувчи компонентнинг нисбий миқдори ошади;

б) буғ учувчанлиги максимумга эга бўлган эритмаларнинг температураси (ёки босими) оширилганда, азеотроп эритмаларда буғланиши учун катта энергия талаб этувчи компонентнинг нисбий қиймати ортади. Буғнинг учувчанлиги минумум бўлганда, эритманинг қайнаш температураси оширилганда азеотроп эритмада буғланиши учун кам энергия талаб қилувчи компонентнинг нисбий миқдори кўпаяди.



5.31-расм. Ҳақиқий эритмаларнинг фазавий диаграммалари.

а - манфий оғиш;
б - мусбат оғиш.

Вревский қонунига биноан, азеотроп эритмаларни ажратиш учун босимни ўзгартириб ҳайдаш ёки ректификация қилиш жараёнларидан фойдаланиш мумкин.

Бир-бирида эримайдиган ёки қисман эрийдиган суюқлик аралашмалари. Агар, A ва B компонентлар бир-бирида тўлиқ эриса, компонентлар молекулаларининг ўзаро тортишиш кучлари нолга тенг бўлади. Бунда, ҳар бир компонент ўзини мустақил тутади ва қуйидаги босимда қайнайди:

$$P = P_A + P_B$$

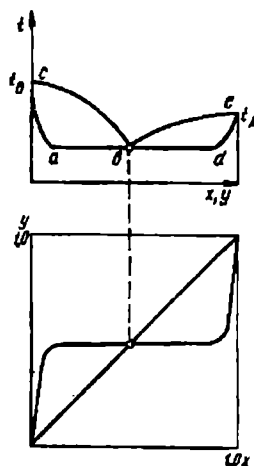
Агар, аралашма компонентлари бир - бирида эримаса, исталган компонент парциал босими, унинг ўша температурада тўйинган буғ босимига тенг.

Аралашманинг қайнаш температураси $t_{ар}$ суюқ аралашманинг таркибига боғлиқ эмас (5.32-рasm acd чизиқ).

Аралашманинг қайнаш температураси ҳар доим тоза компонентлар қайнаш температураларидан паст бўлади.

Табиатда бир - бирида абсолют эримайдиган моддалар камдан-кам учрайди. Агар, қисман эрийдиган суюқлик аралашмаларида қайнаш температураси ac ёки de чизиги бўйлаб эритманинг асосий компонентининг қайнаш температурасигача ўзгаради.

Буғнинг конденсацияланиш температураси cb ва eb чизиқлари бўйлаб ўзгаради. Диаграммадаги b нуқтада $y_0 = P_0/P = \text{const}$ таркибли буғ конденсацияланади.



5.32-рasm. Қисман эрийдиган аралашмаларнинг фазавий диаграммалари.

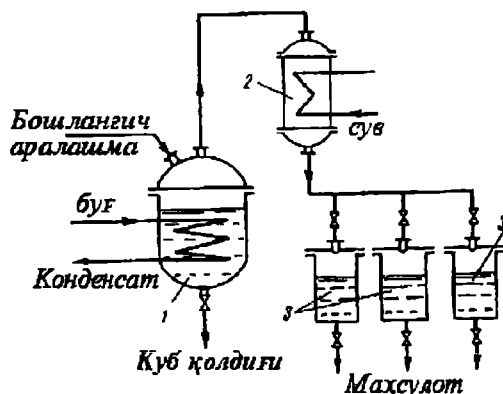
5.16. Оддий ҳайдаш

Суюқлик аралашмаларини бир мартаба қисман буғлатиш йўли билан ажратиш жараёни **оддий ҳайдаш** деб номланади. Оддий ҳайдаш жараёнини эритма компонентлари учувчанлиги орасидаги фарқ катта бўлган ҳоллардагина қўллаш мақсадга мувофиқ ва юқори самара беради.

Оддий ҳайдаш қуйидаги усулларда амалга оширилади: фракцияли ҳайдаш; дефлегмация билан ҳайдаш; сув буғи билан ҳайдаш; молекуляр ҳайдаш.

Фракцияли ҳайдаш Бу усул ҳайдаш кубигади эритмани аста-секин буғлатиш йўли билан олиб бориладиган ажратиш жараёнидир (5.33-рasm).

Жараён давомида ҳосил бўлаётган буғ конденсатор 2 га уза-



5.33-рasm. Оддий ҳайдаш қурилмаси.

1 - куб; 2 - конденсатор;
3 - дистиллят йиғичлар.

тилади ва у ерда конденсацияланиб, дистиллят ҳолатида йиғич 3 га юборилади. Жараён тугагандан сўнг, куб 1 даги куб қолдиғи чиқариб ташланади. Куб 1 тўйинган сув буғи ёки тутун газлари билан қиздирилади.

Эритмани ҳайдаш жараёнида куб қолдиғида енгил учувчан компонент миқдори ва дистиллят таркибидаги миқдори максимал қийматдан минималгача камаяди. Шунинг учун, ҳар хил таркибли дистиллят фракциялари турли йиғичларга ажратиб олинади. Ҳар хил таркибли маҳсулот олишга мўлжалланган эритмаларни ажратиб олиш усули **фракцияли ҳайдаш** деб номланади.

Оддий ҳайдаш даврида ҳосил бўлаётган буғ кубдан чиқариб олинади ва ҳар бир онда кубда қолган эритма билан мувозанатда бўлади.

Бу усулда ҳайдаш атмосфера ёки вакуум остида олиб борилади. Вакуум остида ҳайдаш усули иссиқликка чидамсиз эритмаларни ажратиш имкониятини яратади, чунки бу усулда қайнаш температураси пасаяди. Шунинг учун ҳам бу усулда ҳайдаш даврида паст температурали сув буғларидан фойдаланилади.

Дистиллятнинг ўртача таркиби моддий баланс тенгламасидан аниқланади:

$$Fx_f = Wx_w + (F - W)x_{dyp}$$

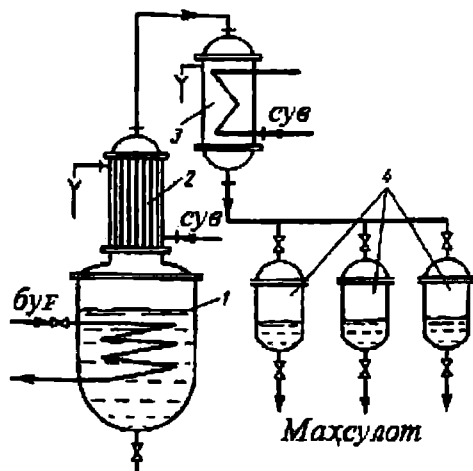
бундан

$$x_{dyp} = \frac{Fx_f - Wx_w}{F - W} \quad (5.122)$$

бу ерда F - бошланғич эритма миқдори; x_f - бошланғич эритма концентрацияси; W - куб қолдиғи миқдори; x_w - куб қолдиғи концентрацияси.

Дефлегмация билан ҳайдаш Бу усул эритмаларни ажратиш даражасини кўтариш учун қўлланилади (5.34-расм).

Бу усулда, куб 1 да ҳосил бўлган буғлар дефлегматор 2 га узатилади ва у ерда қисман конденсацияланади. Қисман конденсацияланиш даврида қийин учувчан компонент миқдори кўп бўлган флегма ҳосил бўлади ва қайтадан кубга туширилади. Куб 1 га тушиш вақтида кўтарилаётган буғлар билан ўзаро таъсирида бўлади.



5.34-расм. Дефлегмацияли оддий ҳайдаш қурилмаси.

1 - куб; 2 - дефлегматор;

3 - конденсатор; 4 - йиғичлар.

Енгил учувчан компонент миқдори юқори бўлган буғлар конденсаторга йўналтирилади. Конденсацияланиш натижасида ҳосил бўлган дистиллят йиғич 4 га тушади. Куб қолдиғининг концентрацияси ўрнатилган x_w қийматига етганда сўнг, кубдан чиқариб юборилади.

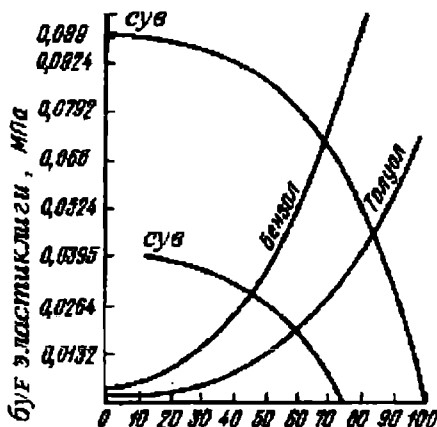
Сув буғи билан ҳайдаш Эритмалар қайнаш температурасини пасайтириш учун жараённи вакуум остида ташкил этиш усули олдиндан маълум эди. Лекин, эритмаларни сув буғи билан ҳайдаш усулида ҳам қайнаш температурасини пасайтириш мумкин. Айниқса, бу усул қайнаш температураси 100°C

дан ортиқ бўлган ва компонентлари сувда эримайдиган эритмалар учун жуда қўл келади. Шунинг учун, эритма компонентлари сувда эримаса, унда ҳайдаш кубига қўшимча компонент сифатида сув буғи юборилади.

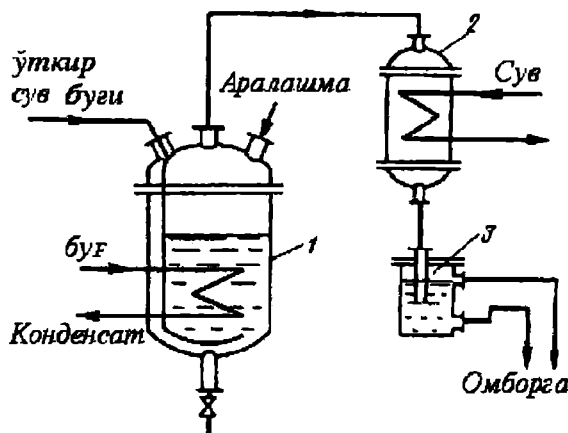
5.35-расмда сув буғи билан оддий ҳайдаш даврида қайнаш температура-сини аниқлаш диаграммаси келтирилган. Бу диаграммада қайнаш температу-расига сув буғининг эластиклик эгри чизиги билан турли суюқликлар эластик-лик эгри чизиқлари кесишган нуқтаси тўғри келади. График-дан кўриниб турибдики, атмо-сфера босимида бензолни сув билан ҳайдаш пайтида жараён температураси $69,5^{\circ}\text{C}$, босим $p = 0,0395 \text{ МПа}$ да 46°C атрофи-да, босим $p = 0,1 \text{ МПа}$ да толу-ол учун эса -85°C .

5.36-расмда аралашма-ларни сув буғи билан ҳайдаш қурилмасининг схемаси келти-рилган.

Бошланғич эритма куб 1 га юкланади ва унинг филофига сув буғи юборилади. Сўнг, куб ичидаги эритмага барботёр орқали кучли сув буғи ҳайда-лади. Эритманинг қайнаш пай-тида ҳосил бўлган буғлар конденсатор 2 га узатилади ва ундан кейин сепаратор 3 да конденсат ажратилади. Сепаратордан сув чиқарилади, сувда эримайдиган енгил учувчан компонент эса махсус идишга йиғилади. Одатда бу усул мувоза-нат бўлмаган шароитларда амалга оширилади.



5.35-расм. Сув буғи билан ҳайдаш пайтида қайнаш температурасини аниқлаш диаграммаси.



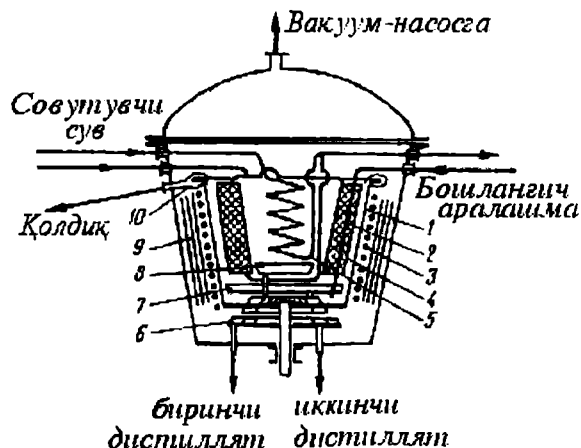
5.36-расм. Сув буғи билан оддий ҳайдаш қурилмаси
1 - куб; 2 - конденсатор;
3 - сепаратор.

Молекуляр ҳайдаш. Бу усул юқори температурада қайнайдиган ва иссиқликка чидамсиз эритмаларни ажратиш учун қўлланилади.

Ушбу жараён ўта паст вакуумда, яъни босим $1,31 \dots 0,131 \text{ Па}$ бўлган оралик-да олиб борилади.

Молекуляр ҳайдаш эритмани ташқи юзасидан буғлатиш орқали амалга оши-рилади. Жараён бир бирига яқин ўрнатилган буғлатиш ва конденсациялаш юзаларида рўй беради. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, улар ора-сидаги масофа одатда $20 \dots 30 \text{ мм}$, яъни молекулаларнинг

эркин ҳаракати узунлигидан кам бўлиши керак. Бундай ҳолатда иссиқ юзадан кўтарилаётган енгил учувчан компонент молекулалари совуқ юзага урилиши билан конденсацияланади. Буғланиш ва конденсацияланиш юзалари ўртасидаги температуралар фарқи 100°C атрофида.



5.37-расм. Молекуляр ҳайдаш қурилмаси.

1 - ротор; 2 бошланғич эритмани узатиш труба; 3 - электр иситкич; 4,5 - конденсаторлар; 6 - ҳалқасимон йиғич; 7,8 - конденсатор таглиги; 9 - концентрик изоляцион плита; 10 - тармоқли нов.

Бошланғич эритма қурилмага труба 2 орқали ротор 1 нинг тубига узатилади. Ротордаги эритма марказдан қочма куч таъсирида конус юзаси бўйлаб юпқа қатлам ҳолида тарқалади. Бугланиш юзасидан ажралиб чиққан молекулалар конденсацияланиш юзасига қараб йўналади.

Учувчанлиги паст компонент буглари конденсатор 4 юзаларида конденсацияланса, учувчанлиги юқори компонент буглари эса конденсатор 5 юзасида конденсацияланади. Биринчи фракция конденсатор 4 дан таглик 8 га, иккинчиси эса, змеевикда конденсацияланиб таглик 7 га оқиб тушади. Эритманинг бугланмаган қисми эса, марказдан қочма куч таъсирида ротор четидан тармоқли нов 10 га тошиб ўтади ва қурилмадан чиқариб юборилади. Ажратиб олинган дистиллят, таглик 8 чеккасидаги секция орқали ҳалқасимон йиғичга, таглик 7 дан эса, марказий секция орқали чиқариб олинади.

5.17. Ректификация

Суюқлик аралашмаларини ташкил этувчи компонентларга бир неча марта қисман буглатиш ва бугларни конденсациялаш натижасида ажратишга **ректификация** дейилади.

Одатда, эритмаларни тўла ажратишни фақат ректификация усули таъминлайди. Бу жараён насадкали ёки тарелкали колонналарда ўтказилади. Колоннада буг ва эритма қарама қарши йўналишда ҳаракатлантирилади ва ҳар бир тўқнашиш мосламасида буг конденсацияланса, эритма эса бугнинг конденсацияланиш иссиқлиги ҳисобига қисман бугланади.

Шундай қилиб, буг енгил учувчан компонент билан, колоннадан пастга оқиб тушаётган суюқлик эса - қийин учувчан компонент билан бойитилади. Буг ва эритманинг кўп марта тўқнашиши ҳисобига дистиллят бутунлай енгил учувчан, куб қолдиги эса қийин учувчан компонентдан таркиб топган бўлади.

Ректификация жараёнини ҳисоблашда қуйидаги тахминлар қабул қилинади:

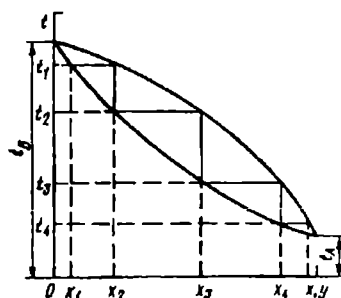
а) 1 кмоль буг конденсацияланиш даврида 1 кмоль суюқлик буғланади. Демак, ректификацион колоннанинг исталган кўндаланг кесимида ҳаракатланаётган буғнинг миқдори бир хилдир;

б) дефлегматорда конденсацияланаётган буғнинг таркиби ўзгармайди. Демак, ректификацион колоннадан чиқиб кетаётган буғнинг таркиби дистиллятникига тенг ($y_d = x_d$) бўлади;

в) эритма буғланиши даврида унинг таркиби ўзгармайди. Демак, буғланиш даврида ҳосил бўлган буғнинг таркиби куб қолдигиникига тенглашади, яъни ($y_w = x_w$).

Кўпинча ректификация жараёни $t - x, y$ диаграмма ёрдамида тасвирланади (5.38-расм).

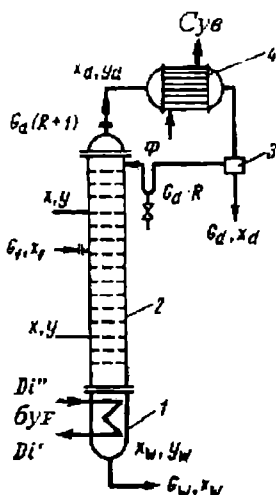
Концентрацияси x_1 бўлган бошланғич эритма қайнаш температураси t_1 гача қиздирилганда, суюқлик билан мувозанатдаги буғ олинади ва у конденсацияланганда енгил учувчан компонентга бойитилган x таркибли суюқлик ҳосил бўлади. Ушбу суюқлик яна қиздирилса, ва унинг температураси t_2 гача етказилса, ҳосил бўлган буғнинг конденсацияланиши натижасида x_2 таркибли суюқликни оламиз. Шундай қилиб, буғланиш ва конденсациялаш жараёни кўп марта қайтарилса, бошланғич эритмани тоза, енгил ва қийин учувчан компонентларга ажратиш мумкин.



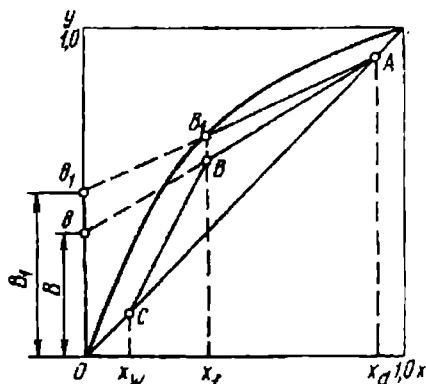
5.38-расм. $t - x, y$ - диаграмма.

5.17.1. Ректификация жараёнининг моддий ва иссиқлик баланслари

Жараённинг принципиал схемаси асосида ректификациянинг моддий ва иссиқлик баланслари тузилади (5.39-расм). Ректификацион колоннага узатилган бошланғич эритма дистиллят ва куб қолдигига ажратилади.



5.39-расм. Ректификация жараёнининг моддий ва иссиқлик балансларини тузишга оид.



5.40-расм. Ректификация жараёни ишчи чизигининг тасвири.

Коллоннадан чиқаётган буғлар дефлегматор 4 да конденсацияланади ва ажратувчи идиш 3 га тушади. Бу ерда суюқлик икки қисмга, яъни флегма Φ ва дистиллятга ажратилади. Флегма колоннада пуркатилиш учун йўналтирилади.

Жараён моддий баланси ушбу кўринишга эга:

$$G_f = G_d + G_w \quad (5.123)$$

Енгил учувчан компонент бўйича эса:

$$G_f \cdot x_f = G_d \cdot x_d + G_w \cdot x_w \quad (5.124)$$

бу ерда G_f , G_d , G_w - бошланғич эритма, дистиллят ва куб қолдиғи массалари, кмоль; x_f , x_d , x_w - бошланғич эритма, дистиллят ва куб қолдиқларидаги енгил учувчан компонентнинг концентрациялари, моль улушлар.

(5.123) ва (5.124) тенгламалардан дистиллят ва куб қолдиғининг массалари аниқланади:

$$G_d = G_f \frac{x_f - x_w}{x_d - x_w} \quad (5.125)$$

$$G_w = G_f \frac{x_d - x_f}{x_d - x_w} \quad (5.126)$$

Бошланғич эритма, куб қолдиғи ва флегмаларнинг 1 кмоль дистиллятга нисбатларини қуйидагича белгилаб оламиз:

$$\frac{G_f}{G_d} = F; \quad \frac{G_w}{G_d} = W; \quad \frac{\Phi}{G_d} = R$$

Флегма миқдорининг дистиллят миқдорига нисбати **флегма сони** деб номланади.

Ректификацион колоннанинг таъминлаш тарелкаси уни 2 га ажратади: юқори ва пастки қисмларга.

Умумий тенглама асосида колоннанинг юқори ва пастки қисмлари учун моддий баланс тенгламаларини тузамиз:

$$G \cdot dy = L \cdot (-dx) \quad (5.127)$$

бу ерда $L = R \cdot G_d$ - колонна юқори қисмида оқиб тушаётган суюқлик миқдори.

Колонна бўйлаб юқорига кўтарилаётган буғ миқдори:

$$G = G_d + \Phi = G_d + R G_d = G_d (1 + R) \quad (5.128)$$

Колоннанинг юқори қисми учун:

$$(R + 1) \cdot dy = R \cdot (-dx) \quad (5.129)$$

Пастки қисми учун:

$$(R + 1) \cdot dy = (F + R) \cdot (-dx) \quad (5.130)$$

Концентрациялари x, y бўлган колонна юқори қисмининг исталган кўндаланг кесими ва концентрациялари x_d, y_d бўлган колоннанинг юқори қисми учун (5.129) тенгламани ёзамиз: ($x_d = y_d$ деб қабул қилинган ҳолда)

$$(R + 1) (y_d - y) = (R + 1) (x_d - y) = R (x_d - x)$$

Бундан

$$y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_d}{R+1} \quad (5.131)$$

Концентрацияси x, y бўлган колоннанинг пастки қисми ва концентрациялари x_w, y_w бўлган кубнинг исталган кўндаланг кесими учун, $x_w = y_w$ ни ҳисобга олиб (5.130) тенгламани ёзамиз:

$$(R + 1) (y - y_w) = (R + 1) (y - x_w) = (F + R) (x - x_w) \quad (5.132)$$

Кўриниб турибдики (5.131) ва (5.132) тенгламалар тўғри чизиқни ифода-лайди. (5.131) тенгламадаги $R/(R + 1) = \tan \alpha$ ишчи чизиқнинг абсцисса ўқиға оғиш бурчаги тангенс $x_d/(R + 1) = B$ чизиқ $y - x$ диаграмма ордината ўқида ажратган кесмаси (5.40-расм).

Шундай қилиб, (5.131) ва (5.132) тенгламалар ректификацион колонна-нинг юқори ва пастки қисмларининг ишчи чизиқ тенгламаларини ифода-лайди.

Агар, жараён даврий бўлса, ректификация жараёни колонна юқори қисмининг ишчи чизиғи билан ифодаланади.

(5.129) тенгламадан колоннанинг таъминловчи тарелка кўндаланг кеси-ми ва тепаси учун қуйидаги ифодани оламиз:

$$(R + 1) \cdot (x_d - y_f) = R \cdot (x_d - x_f) \quad (5.133)$$

бундан

$$R = \frac{x_d - y_f}{y_f - x_f} \quad (5.134)$$

5.17.2. Узлуксиз ишлайдиган ректификацион колоннанинг иссиқлик баланси

Бу турдаги қурилмаларнинг иссиқлик баланси қуйидаги тенглик билан ифодаланади (5.39-расм).

$$Q_1 + G_f c_f t_f + R \cdot G_d c_d t_d = G_d (R + 1) \cdot (r_d - c_d t_d) + G_w c_w t_w + Q_{\text{итук}} \quad (5.135)$$

бу ерда Q_1 - кубдаги иссиқлик сарфи, Ж/соат; c_f, c_d, c_w - бошланғич эритма, дистиллят ва куб қолдиқларининг солиштира иссиқлик сифими, Ж/(кг·К); t_f, t_d, t_w - бошланғич эритма, дистиллят ва куб қолдиқларининг температуралари, К; r_d - дистиллятнинг буғ ҳосил қилиш иссиқлиги, Ж/ кг; $Q_{\text{итук}}$ - атраф муҳитта иссиқликнинг йўқотилиши, Ж/соат.

Ректификацион колонна кубидаги иссиқлик сарфини (5.135) тенгламадан топамиз:

$$Q_1 = G_d(R + 1) r_d + G_d c_d t_d + G_w c_w t_w + G_f c_f t_f + Q_{иук} \quad (5.136)$$

Агар, қайнатгич сув буғи билан иситилаётган бўлса, жараёни ўтказиш учун сарфланаётган буғ сарфи ушбу тенгламадан аниқланади:

$$D = \frac{Q_1}{i'' - i'} \quad (5.136a)$$

бу ерда i'' , i' - сув буғи ва конденсатнинг энтальпиялари, кЖ/кг.

Ишчи чизиқни у-х диаграммада тасвирлаш. Эритма таркибини характерловчи x_w , x_f , x_d концентрация қийматлари абсцисса ўқиға қўйилади (5.40-расм). Агар, $x_d = y_d$ эканлигини ҳисобға олсак, x_d нуқтадан перпендикуляр чиқариб, диагональ чизиқ билан кесишган, координатлари $x_d = y_d$ бўлган, A нуқтаси топилади.

Флегма сони R маълум бўлса, $B = x_d/(R+1)$ кесма аниқланади ва у диаграмманинг ордината ўқиға қўйилади. Сўнг, B кесманинг учи бўлмиш нуқта b ва A лар бирлаштирилади. Бошлангич эритма концентрациясига оид x_f нуқтасидан Ab чизиғи билан B нуқтада кесишгунча вертикаль чизиқ ўтказилади. AB тўғри чизиқ колонна юқори қисмининг ишчи чизиғини ифодалайди. Кейин, x_w нуқтасидан перпендикуляр чиқарилиб, диагональ билан кесишган C нуқтани топамиз. C ва B нуқталарни бирлаштириб, колонна пастки қисмининг ишчи чизиғини топамиз. Диаграммалдан кўриниб турибдики, B нуқта иккала ишчи чизиқ учун умумий бўлиб, таъминловчи тарелкадаги буғ ва суюқликнинг ишчи концентрацияларини характерлайди.

Эритма концентрациялари x_w , x_f , x_d бўлганда, ишчи чизиқнинг ҳолати кесма B нинг қийматига боғлиқ. Ўз навбатида B кесма ишчи флегма сони R нинг катталиғи билан аниқланади. Агар, флегма сони камайса, кесма B нинг қиймати ортади. Бунда ишчи ва мувозанат чизиқларининг B_1 нуқтасида кесишганда, ишчи чизиқ ўзининг максимал юқори ҳолати - Ab га интилади. Ушбу нуқтада жараёни ҳаракатға келтирувчи кучи $\Delta y = y_m - y = 0$ бўлади. Демак, ректификацион колоннанинг фазалар тўқнашиш юзаси чексиз катта бўлиши керак.

Ҳақиқатан ҳам, бундай ҳолатда концентрациялар ўзгаришининг назарий поғоналар сони чексиз бўлади ва эритмани фақат чексиз баландликка эға шартли колоннада ажратиш мумкин. Лекин, иситувчи буғ ва колонна диаметри минимал кўрсаткичли бўлади. Албатта, бундай шароитда флегма сони ҳам минимал бўлади ва уни ушбу тенгламадан аниқлаш мумкин:

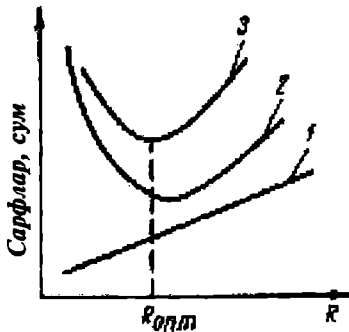
$$R_{\min} = \frac{x_d - y_{f m}}{y_{f m} - x_f} \quad (5.137)$$

Ишчи чизиғининг қўйи чегаравий ҳолатига чексиз катта флегма сони тўғри келади ва у графикда $B=0$ кесма билан ифодаланади. Бу ҳолда иккала ишчи чизиқ диагональ билан устма-уст тушади. Чексиз катта флегма сонига максимал ҳаракатға келтирувчи куч $\Delta y_{\min} = y_m - y$ ва ўз навбатида концентрация ўзгариш назарий поғоналарининг минимал сони ва колоннанинг минимал сони, ҳамда колоннанинг минимал баландлиғи тўғри келади. Лекин, колоннадаги буғ, қайнатгичдаги иситувчи буғ, дефлегматордаги совуқ сув сарфи ва қурилма диаметри максимал бўлади.

5.17.3. Ҳақиқий флегма сони

Ҳақиқий флегма сонини танлаш ўта мураккаб масаладир, чунки унинг миқдорига қараб ректификацион колонна ўлчамлари ва иссиқлик элтиқичлар сарфи ўзгаради. Колонналарни ишлатиш учун зарур сарфлар ва капитал харажатлар, ҳамда энергетик сарфлар флегма сонига боғлиқ.

5.41-расмда ҳақиқий флегма сонининг ректификация жараёни сарфлари-га боғлиқлиги тасвирланган.



5.41-расм. Ректификация жараёнига бўлган сарфларнинг флегма сонига боғлиқлиги.

- 1- эксплуатацион сарфлар;
- 2- капитал сарфлар;
- 3- умумий сарфлар.

Кўриниб турибдики, флегма сони ортиши билани эксплуатацион сарфлар пропорционал равишда ортади. Капитал сарфларнинг флегма сонига боғлиқлиги колонна диаметри ва баландлигига тескари пропорционаллиги билан ифодаланади. Флегма сонининг маълум бир қийматига капитал сарфларнинг минимал катталиги тўғри келади.

Умумий сарфлар ва флегма сони орасидаги боғлиқлик ҳам минимум нуқтаси билан характерланади. Бу нуқтага мос R ҳақиқий флегма сонининг оптимал қийматига тенг бўлади. Ҳақиқий флегма сонини қуйидаги формулада ҳисоблаш мумкин:

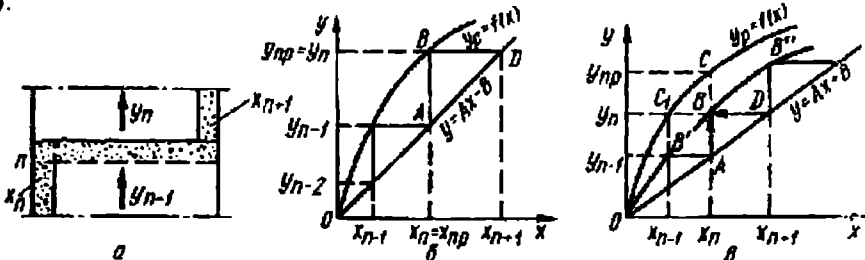
$$R_x = \beta_R R_{\min} \quad (5.138)$$

бу ерда β_R - флегма ортиқчаллигини ифодаловчи коэффициент. Кўпчилик ҳолларда ушбу коэффициент қуйидаги ораликда бўлади - $\beta = 1,04 \dots 1,5$.

5.17.4. Ректификацион колонна ишчи баландлиги ва тарелкалар сонини ҳисоблаш

Одатда ушбу параметрларни аниқлаш концентрациялар ўзгаришининг назарий ёки ҳақиқий погоналари сонига қараб олиб борилади. Бунда, назарий поғонада буг ва оқиб тушаётган суюқлик мувозанат ҳолатида бўлади.

Барботаж тарелкасининг ишлаш принципини кўриб чиқамиз (5.42-расм).



5.42-расм. Тарелкалар сонини аниқлашга оид.

- а - тарелкада буг ва суюқликнинг ўзаро таъсири; б - буг ва суюқлик мувозанатга эришиш жараёнини у-х диаграммада тасвири; в - буг ва суюқлик мувозанатга эришмаган жараёнини у-х диаграммадаги тасвири.

Агар, концентрацияси x_{n+1} бўлган суюқлик юқоридан n – тарелкага оқиб тушса, пастдаги тарелкадан концентрацияси y_{n-1} – бўлган буғ қўтарилади. Масса алмашилиш натижасида суюқликдаги енгил учувчан компонент буғга ўтса, қийин учувчан эса буғдан суюқликка ўтади. Буғдаги енгил учувчан компонент концентрацияси y_n гача ортса, суюқликда эса x_{n+1} дан x_n гача камаяди.

Жараёни таҳлил қилишда қуйидаги таҳмилларни қабул қиламиз: тарелкадаги суюқлик идеал аралаштирилган ва унинг концентрацияси ўзгармас x_n га тенг; идеал сиқиб чиқариш режимидаги суюқлик қатламида буғнинг концентрацияси y_{n-1} дан y_n гача ўзгаради.

Буғ концентрацияси y_{n-1} дан $y_n = y_{np}$ гача ўзгариши даврида мувозанатга эришиши вертикал AB кесма билан тасвирланса, концентрациясининг x_{n+1} дан x_n гача ўзгариши эса, BD кесма билан характерланади (5.42б-расм). Шундай қилиб, ABD поғона битта назарий тарелкала солир бўлаётган жараёни ифодалайди.

Ректификацион колоннада ўрнатиш зарур бўлган назарий тарелкалар сонини аниқлаш учун ишчи ва мувозанат эгри чизиқларининг A ва C нуқталари орасига поғоналар қурилади.

Колоннанинг ҳақиқий тарелкасида ҳеч қачон мувозанат концентрациясига эришиб бўлмайди, яъни $y_n < y_{np}$ (5.42в-расм).

Колоннадаги ҳақиқий тарелкалар сонини аниқлаш учун фойдали иш ко-эффиценти қўлланилади. Одатда унинг катталиги тажрибавий усул билан топилади. Ректификация жараёнида масса бериш коэффицентини ҳисоблаш учун қуйидаги тенгламалар тавсия этилади:

суюқ фазада:

$$Nu_{\text{жк}} = 540 \cdot Re_c^{0,33} \cdot Pr_{\text{жк}}^{0,45} \quad (5.139)$$

элаксимон тарелкаларда газ фазаси учун:

$$Nu_{\text{жл}} = 2.5 \cdot Re_{\text{жл}}^{0,72} \cdot Pr_{\text{жл}}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.140)$$

қалпоқчали тарелкаларда газ фазаси учун:

$$Nu_{\text{жл}} = 0,265 \cdot Re_{\text{жл}} \cdot Pr_{\text{жл}}^{0,5} \cdot We^{-0,25} \quad (5.141)$$

(5.140) ва (5.141) тенгламалардаги $Nu_{\text{жк}}$ ва $Re_{\text{жл}}$ критерийларда аниқловчи ўлчам сифатида капилляр константа $\chi = \sqrt{\sigma / \rho_c g}$ ҳисобланади.

Вебер критерийси $We = (\sigma / \rho_c) h_{\text{см}}^2 g$,

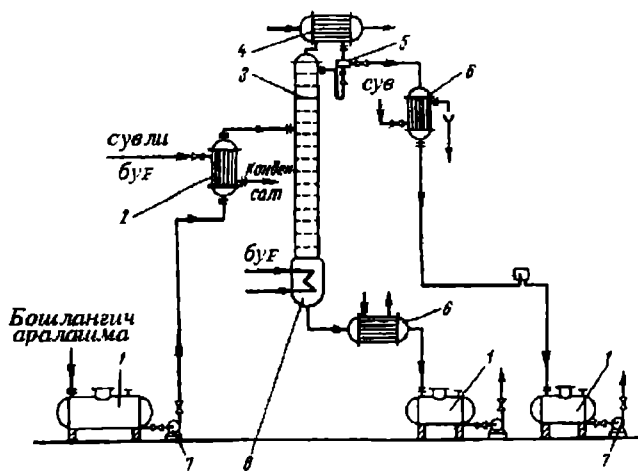
бу ерда σ - сиртий таранглик, Н/м; $h_{\text{см}}$ - тарелкадаги суюқлик қатламининг статик баланлиги, м.

5.18. Ректификация жараёнини ташкил этиш усуллари

Исталган ректификацион схема таркибида колонна (тарелкали ёки насадкали) ва қайнаткич бўлади. Одатда, қобиқ трубади ёки змеевикли ис-сиқлик алмашилиш қурилмасидан қайнаткич сифатида фойдаланилади. Қайнаткич колоннанинг пастки қисмида ёки унинг ташқарисида ўрнатилиши мумкин.

Турли саноат корхоналарида тарелкали ва насадкали колонналар кўп ишлатилади.

Узлуксиз ишлайдиган ректификацион колоннанинг принципиал схемаси 5.43-расмда кўрсатилган. Бошланғич эритма иситкич 2 да қиздирилади ва колоннанинг таъминловчи тарелкасига узатилади. Колоннадаги қайнаткич 8 нинг иссиқлиги таъсирида ректификация жараёни содир бўлади, эритма дистиллят ва куб қолдигига ажралади. Колоннадан чиқаётган буғлар дефлегматор 4 да қисман ёки тўла конденсацияланади. Агар буғ тўла конденсацияланса, ҳосил бўлган дистиллят ажратувчи мослама 5 да икки қисмга бўлинади.



5.43-расм. Узлуксиз ишлайдиган ректификацион колонна.

1 - йиғич; 2 - иситкич; 3 - ректификацион колонна; 4 - дефлегматор; 5 - ажратувчи мослама; 6 - совуткич; 7 - насослар; 8 - қайнаткич.

Биринчи қисм флегма суюқлик тамбаси орқали ўтиб колоннанинг юқори тарелкасида пуркалади, иккинчи қисми эса - дистиллят совуткич 6 дан ўтказилиб совутилади ва йиғич 1 да тўпланади.

Агар, буғлар дефлегматорда қисман конденсацияланса, улар конденсатор-совуткич орқали ўтказилади, у ерда конденсацияланади ва совутилади. Жараён мобайнида ҳосил бўлаётган куб қолдиги унинг қимматлиги ва зарурлигига қараб ёки йиғичда тўпланади, ёки оқава сув сифатида утилизацияга йўналтирилади.

Одатда, саноат миқёсида бошланғич эритма уч ва ундан кўп қисмларга ажратилади.

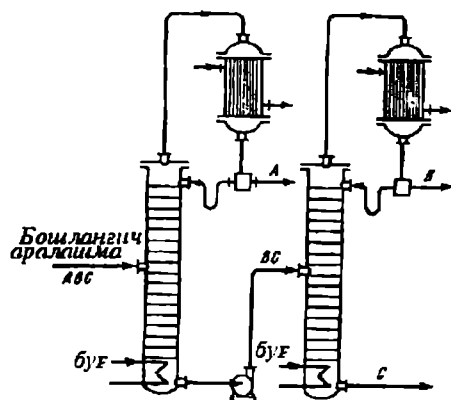
Кўп компонентли эритмаларни ректификация қилиш схемаси 5.44-расмда тасвирланган. Ушбу схема кўп колоннали бўлиб, бошланғич эритмани узлуксиз равишда уч қисм, яъни *A*, *B* ва *C* компонентларга ажратишга мўлжалланган.

Биринчи колонна аралашмани *A+BC* ёки *AB+C* қисмларга ажратади. Аралашмани *n* қисмга ажратиш учун *n-1* ректификацион колонналардан таркиб топган ректификацион схема зарур бўлади.

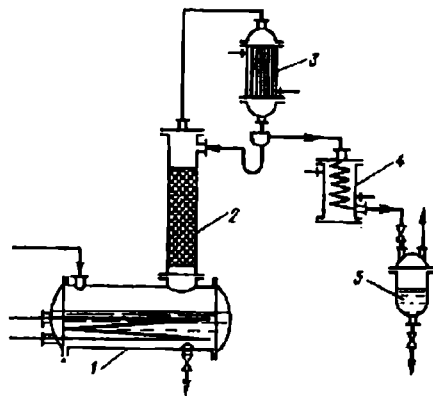
Даврий ишлайдиган ректификацион колоннанинг принципиал схемаси 5.45-расмда келтирилган.

Бошланғич аралашма буғ билан иситилаётган қайнаткичга узатилади. Қайнаш температурасигача иситилган аралашманинг буғлари ректификацион колоннанинг ластки қисмига юборилади. Колонна бўйлаб тсплага кўтари-

лаётган буғлар енгил учувчан компонент билан бойиб боради, сўнг эса дефлегматорга тушади. У ерда конденсацияланади. Худди узлуксиз ишлайдиган ректификация схемасидек, конденсат флегма ва дистиллятга ажрайди. Қурилмадаги куб қолдиғи тўкилади ва у янги бошланғич аралашма билан тўлдирилади.



5.44-расм. Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш ректификацион схемаси.



5.45-расм. Даврий ишлайдиган ректификацион колонна схемаси.

1 - қайнаткич; 2 - колонна; 3 - дефлегматор; 4 - совуткич; 5 - қайноқ

5.19. Ректификацион колонналарни ҳисоблаш

Маълумки, ҳалқ ҳўжалигининг турли соҳаларида ректификация жараёни жуда кўп ишлатилади. Бу жараёни амалга оширишда тарелкали колонналардан кенг қўламда фойдаланилади.

Мисол тариқасида этил спирти-сув аралашмасини ажратиш учун узлуксиз ишлайдиган ректификацион колоннани (тарелкали) ҳисоблашни кўриб чиқамиз. Этил спирти-сув аралашмасининг массавий сарфи $G=800$ кг/соат этил спиртининг бошланғич эритмадаги концентрацияси $a_f = 20\%$ (масс); этил спиртнинг дистиллятдаги концентрацияси $a_d = 91\%$ (масс); этил спиртининг куб қолдиғидаги концентрацияси $a_w = 2,6\%$ (масс); флегманинг ортиқчалик коэффиценти $\beta_R = 1,3$; $\eta = 0,5$; тарелкалар орасидаги масофа $h = 200$ мм; иситувчи буғ босими $p_b = 0,3$ МПа; ректификация жараёни атмосфера босимида ташкил этилган. Дистиллят G_d , куб қолдиғи G_w ва тарелкалар миқдори n , ҳамда колонна баландлиги H , диаметри D_k ва иситувчи буғ сарфи D ларни аниқлаш зарур.

Моддий баланс (5.125) формуладан ҳосил бўлаётган дистиллят миқдорини аниқлаймиз:

$$G_d = G_f \frac{a_f - a_w}{a_d - a_w} = 800 \frac{20 - 2,6}{91 - 2,6} = 157,4 \text{ кг / соат}$$

(5.123) формуладан эса куб қолдиғининг миқдори топилади:

$$G_w = G_f - G_d = 800 - 157,4 = 642,4 \text{ кг / соат}$$

Ректификация жараёнини у-х координатларида қуриш учун бошланғич аралашма, дистиллят ва куб қолдиқлари таркибидаги енгил учувчан компонент

концентрациясини қуйидаги формулалар ёрдамида моль улушларда ифодалаш мумкин:

$$x_{f,d,w} = \frac{\frac{a_{f,d,w}}{M_a}}{\frac{a_{f,d,w}}{M_a} + \frac{100 - a_{f,d,w}}{M_B}}$$

бу ерда M_a ва M_B - енгил спирт ва қийин сув учувчан компонентларнинг молекуляр массалари:

$$x_f = \frac{20/46}{20/46 + (100 - 20)/18} = \frac{0,434}{0,434 + 0,44} = 0,089;$$

$$x_d = \frac{91/46}{91/46 + (100 - 91)/18} = \frac{1,978}{1,978 + 0,5} = 0,798$$

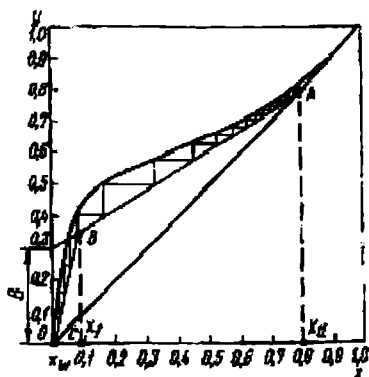
$$x_w = \frac{2,6/46}{2,6/46 + (100 - 2,6)/18} = \frac{0,056}{0,056 + 5,41} = 0,01$$

Тажриба маълумотлари асосида y - x координатларида бошланғич аралашма учун мувозанат чизигини қўрамиз.

(5.137) формула ёрдамида минимал флегма сонини аниқлаймиз:

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_{fm}}{y_{fm} - x_f} = \frac{0,798 - 0,44}{0,44 - 0,089} = 1,25$$

бу ерда y_{fm} - бошланғич аралашма таркибидаги енгил учувчан компонент билан мувозанатда бўлган бугдаги енгил учувчан компонент концентрацияси.



5.46-расм. Ректификацион колонна тарелкаларининг сонини график усулда аниқлаш.

Колонна юқори қисми учун ишчи чизигини қуриш учун (5.138) формуладан ҳақиқий флегма сонини ҳисоблаймиз:

$$R = \beta_R R_{\min} = 1,3 \cdot 1,25 = 1,629$$

Кесма B нинг узунлигини топамиз (5.46-расм):

$$B = \frac{x_d}{R + 1} = \frac{0,798}{0,629} = 0,3$$

Сўнг, ордината ўқида $B=0,3$ кесмани ўлчаб, уни A нуқта ($x_d = y_d$ координатли) билан бирлаштирамиз ва колоннанинг юқори қисми учун ишчи чизиқ оламиз. Пастки қисм учун ишчи чизиқ эса, B нуқтани (x_f, y_f - координатли) C нуқта ($x_w = y_w$ координатли) билан бирлаштириб аниқланади.

Колонна пастки ва юқори қисмларидаги концентрация ўзгариши поғоналарининг сони (n) ни аниқлаймиз. Бунинг учун мувозанат ва ишчи чи-

зиқлари орасига A нуқтадан C гача поғонали чизиқлар ўтказамиз. Тарелка сони (5.66) формула ёрдамида топилади, яъни:

$$n_x = \frac{n}{\eta} = \frac{16}{0,5} = 32$$

Колоннанинг ҳақиқий баландлиги эса

$$H = h \cdot (u_x - 1) = 0,2 \cdot 31 = 6,2 \text{ м}$$

бу ерда h – тарелкалар орасидаги масофа, м.

Қурилма диаметри ушбу формуладан ҳисобланади:

$$D_K = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w_u}}$$

бу ерда V - колоннадаги буғ сарфи; w_u - буғнинг ишчи тезлиги.

$$\begin{aligned} V &= \frac{G_d (R + 1) \cdot (273 + t_{yp})}{3600 M_a} \frac{22,4}{273} = \\ &= \frac{157,4 \cdot 2,629 \cdot 360 \cdot 22,4}{3600 \cdot 46 \cdot 273} = 0,0738 \text{ м}^3 / \text{с} \end{aligned}$$

бу ерда $t_{yp} = 87^\circ\text{C}$ - колоннадаги буғларнинг ўртача температураси.

Колоннадаги буғнинг тезлиги қуйидагича аниқланади:

$$w_{np} = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_b}}$$

бу ерда ρ_c , ρ_b - суюқлик ва буғнинг ўртача зичликлари.

Буғнинг ўртача зичлиги:

$$\rho_b = \frac{\rho_{bw} + \rho_{bd}}{2} = \frac{0,596 + 1,59}{2} = 1,09 \text{ кг / м}^3$$

Кубдан чиқаётган буғнинг зичлиги (буғ фақат тоза сувдан иборат деб тахмин қилинганда),

$$\rho_{bw} = \frac{M_B}{22,4} \frac{273}{(273 + t_w)} = \frac{18}{22,4} \frac{273}{(273 + 95)} = 0,596 \text{ кг / м}^3$$

бу ерда $t_w = 95^\circ\text{C}$ - кубдаги аралашманинг қайнаш температураси.

Дефлегматорга кираётган буғнинг зичлиги (буғ фақат тоза спиртдан иборат деб тахмин қилинганда),

$$\rho_{bd} = \frac{M_a}{22,4} \frac{273}{(273 + t_d)} = \frac{46}{22,4} \frac{273}{351,0} = 1,59 \text{ кг / м}^3$$

бу ерда $t_d = 78^\circ\text{C}$ - спиртнинг қайнаш температураси

Колоннадаги суюқликнинг ўртача зичлигини 78°C ли спирт зичлиги ва кубда сувнинг қайнаш температураларининг ўртача қиймати деб топамиз:

$$\rho_c = \frac{\rho_{cw} + \rho_{cd}}{2} = \frac{958 + 735}{2} = 846,5 \text{ кг / м}^3$$

Унда

$$w_{np} = 0,05 \sqrt{\frac{846,5}{1,09}} = 1,393 \text{ м / с}$$

Ишчи тезликни рухсат этилган чегаравий тезликдан 20% га кам миқдорда қабул қиламиз, яъни

$$w_u = 0,8 \cdot 1,393 = 1,11 \text{ м / с}$$

Унда, колоннанинг диаметри

$$D = \sqrt{\frac{0,0738}{0,785 \cdot 1,11}} = 0,291 \text{ м}$$

Иссиқликнинг умумий сарфи ректификацион колоннанинг иссиқлик балансидан аниқланади:

$$Q = G_d(R + 1) r_d + G_w c_w t_w - G_f c_f t_f - R G_d c_d t_d$$

бу ерда $r_d = 850 \text{ кЖ/кг}$ аралашманинг иссиқлик ҳосил қилиш иссиқлиги; $c_f = 4310$, $c_d = 3600$, $c_w = 4190 \text{ Ж/(кг·К)}$ солиштирма иссиқлик сифимлар; t_f t_d t_w - x_f x_d x_w 5.46-расмдаги эгри чизикларидан топиладиган қайнаш температуралари; $t_f = 87^\circ\text{C}$, $t_d = 78^\circ\text{C}$, $t_w = 95^\circ\text{C}$ га тенг деб қабул қиламиз.

Атроф муҳитга иссиқликнинг йўқотилиши умумий иссиқлик сарфидан 3...5% деб қабул қилинади, яъни

$$Q_{uyk} = 0,03 \cdot Q = 7066,3 \text{ кЖ/соат}$$

Иссиқлик сарфи:

$$Q = 157,4 \cdot 2,629 \cdot 850 + 642,6 \cdot 4,19 \cdot 95 - 800 \cdot 4,31 \cdot 87 - 1,629 \cdot 157,4 \cdot 3,6 \cdot 78 = 235546,4 \text{ кЖ/соат}$$

Иситувчи буғ сарфи:

$$D = \frac{Q_{ym}}{i'' - i'} = \frac{242612,7}{2730 - 558,9} = 111,75 \text{ кг/соат}$$

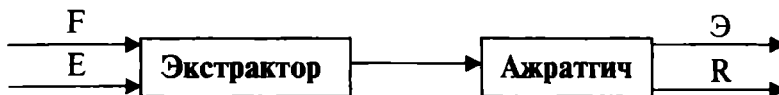
бу ерда $i'' = 2730 \text{ кЖ/кг}$ иситувчи буғ энтальпияси; $i' = 558,9 \text{ кЖ/кг}$ - конденсат энтальпияси. Иситувчи буғ ва конденсатларнинг энтальпиялари тўйинган сув буғи бо-
сими бўйича жадвалдан аниқланади.

5.20. Умумий тушунчалар

«Суюқлик суюқлик» системаларида эритма ёки қаттиқ жисмлар таркибидан бир ёки бир неча компонентларни махсус суюқлик (эритувчи) ёрдамида ажратиб олиш жараёни **экстракциялаш** деб номланади. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, эритувчи аралашмада эримайди, лекин экстракцияланаётган компонентни эритади.

Маълумки, экстракция жараёни 2 хил бўлади: 1) суюқликларни экстракциялаш; 2) қаттиқ материалларни экстракциялаш.

Экстракция жараёнининг принципиал схемаси 5.47-расмда келтирилган.



5.47-расм. Экстракция жараёнининг принципиал схемаси.

Таркибида тарқатувчи модда M бор бошланғич эритма F ва эритувчи E лар экстракторга юкланади. Бирор эритма таркибидаги компонентларни ажратиб олиш учун қўлланиладиган суюқлик **экстрагент** (E) деб номланади. Фазалар ўртасида масса алмашилиш жараёни уларнинг бевосита тўқнашуви туфайли юз беради. Экстракция натижасида ҳосил бўлган суюқ аралашма ажратгичга юборилади ва у ерда экстракт ($\mathcal{E}$) ва рафинат (R) га ажратилади.

Суюқ аралашмани экстракт ва рафинатга ажратиш учун тиндириш, сепарациялаш, центрифугалаш ёки бошқа механик жараёнлар қўлланилади.

Экстракт таркибидаги зарур компонент (маҳсулот) ажратиб олинади, рафинатдан эса экстрагент қайта тикланади.

Экстракция жараёни турли хил конструкцияли қурилмаларда **экстракторларда** ўтказилади.

Жараён таҳлили шуни кўрсатадики, бу жараён ҳам ректификация каби эритмаларни ажратиш учун ишлатилади. Агар, ректификация жараёни иссиқлик таъсирида олиб борилса, экстракция учун эса - унинг зарурати йўқ. Ректификацияда компонентларга ажратиш уларнинг турли учувчанлигига боғлиқ. Агар, эритма компонентларининг қайнаш температуралари бир бирига жуда яқин бўлса, экстракция жараёнидан фойдаланиш юқори самара беради. Лекин, экстрагентнинг зичлиги, суюқ аралашма зичлигидан етарли даражада фарқ қилиши ва кам бўлиши керак.

Экстракция жараёнидан кимё, нефтни қайта ишлаш, нефть кимёси, озиқ-овқат, фармацевтика ва саноатнинг бошқа соҳаларида кенг миқёсда фойдаланилади. Бу жараён хилма-хил органик ва нефть-кимё синтез маҳсулотларини тоза ҳолда ажратиб олиш, нодир, камёб ва тарқоқ элементларни олиш, оқава сувларини тозалаш ва бошқа соҳаларда ишлатилади. Жараённинг асосий афзаллиги шундаки, у паст температурада ўтади ва термолабил моддалари бор элементларни ажратиш имконини яратади.

Экстракция жараёни камчиликлардан ҳоли эмас, яъни қўшимча эритувчи ишлатилади, эритувчини қайта тиклаш технологик схемани мураккаблаштиради ва қўшимча қурилма талаб этади, ҳамда жараённи қимматлаштишига олиб келади.

Кўпчилик ҳолларда экстракция ва ректификация жараёнлари кўпинча биргаликда қўлланилади. Бунга сабаб, бошланғич эритма концентрацияси ортиши билан ректификация жараёнига зарур бўлган иссиқлик сарфи камаяди. Демак, аввал экстракция жараёнининг ўтказилиши, бошланғич эритмани ажратиш учун сарфланадиган иссиқликни тежашга олиб келади.

5.21. «Суюқлик - суюқлик» системасининг мувозанати

Бир суюқлик фазадан иккинчисига тарқалувчи модданинг ўтиши мувозанат ҳолати ўрнатилгунча давом этади, яъни фазаларда кимёвий потенциаллар тенглашгунча қадар. Фараз қилайлик, жараёнда учта компонент ($K = 3$) ва иккита фаза ($\Phi = 2$) қатнашмоқда. Унда, фазалар қойдасига биноан эркинлик даражаси $C = 3$. Лекин, одатда экстракция жараёнида температура ва босим бир хил қилиб ушлаб турилади. Бундай, экстракциялаш системасининг эркинлик даражаси 1 га тенг бўлади.

Демак, мувозанат ҳолатида бир фазадаги тарқалувчи модда концентрациясига, иккинчи фазадаги маълум бир концентрация тўғри келади.

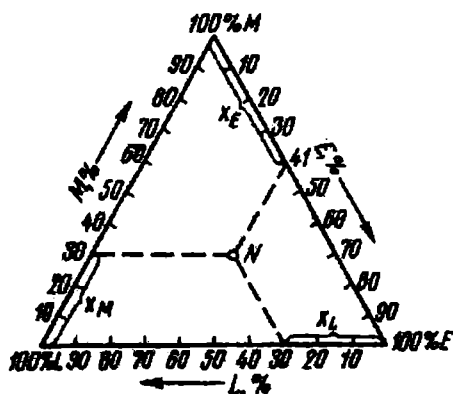
Экстракция жараёнидаги мувозанат тарқалиш коэффициенти φ билан характерланади, яъни экстракт ва рафинатлардаги тарқалувчи модда мувозанат концентрацияларнинг нисбатига тенг.

Бертло-Нернст қонунига бўйсинадиган суюлтирилган эритма учун ўзгармас температурада тарқалиш коэффициенти φ , тарқалувчи модда концентрациясига боғлиқ эмас ва $\varphi = y_m/x$, бу ерда y_m x экстракт ва рафинатдаги тарқалувчи модданинг мувозанат концентрациялари. Бундай ҳолларда мувозанат тўғри чизиқ кўринишида бўлади:

$$y_m = \varphi \cdot x \quad (5.142)$$

Одатда, саноат қурилмаларининг тарқалиш коэффициенти тажриба йўли билан аниқланади.

Агар, иккала суюқлик фазалар бир - бирида эримаса, ҳар бир фазани икки компонентли эритма деб ҳисобласа бўлади. Бундай ҳолатларда экстракция жараёни бошқа масса алмашилиш жараёнлари каби y - x координаталарида тасвирлаш мумкин.



5.48-расм. Учбурчакли диаграмма.

Аммо, суюқлик фазалар бир-бирида қисман эриса, ҳар бир фазани уч компонентли эритма деб ҳисобласа бўлади. Уч компонентли аралашмалар таркиби учбурчакли координаталар системасида тасвирланади (5.48-расм).

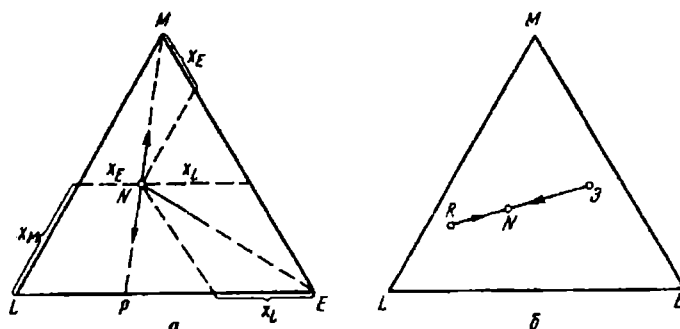
Тенг томонли учбурчакнинг чўққилари L , M , E ларда тоза (100% ли) компонентлар таркиби кўрсатилган: бошланғич эритма L , экстрагент E ва тарқалувчи модда M . Учбурчакнинг томонлари LM , ME ва EL моддалардаги ҳар бир нуқта икки компонентли эритмани ифодалайди.

Учбурчак ички юзасидаги исталган нуқта N уч компонентли

эритма таркибини кўрсатади. Эритма таркибини аниқлаш учун N нуқтадан учбурчак томонларига параллел чизиқлар ўтказилади.

Натижада, N нуқтага мос келадиган аралашма таркиби қуйидагича бўлади: эритувчи $L = 30\%$, экстрагент $E = 40\%$ ва тарқалувчи модда $M = 30\%$.

Учбурчакли диаграммада уч компонентли аралашма таркибида содир бўлаётган ўзгаришлар тасвирланади. Агар, N нуқта билан характерланадиган эритмага тарқалувчи модда M қўшилса, E ва L компонентлар миқдори ўзгармайди. Лекин, M компонентнинг қўшилиш миқдорига қараб, аралашма таркибини аниқловчи миқдор NM қиррада бўлади ва учбурчакни M чўққисига яқинлашиб боради (5.49а-расм).



5.49-расм. Уч компонентли аралашма таркиби ўзгаришини учбурчакли диаграммада тасвирлаш.

Аралашма N дан тарқалувчи модда M ни ажратиб олиш жараёнида ва олинган маҳсулот таркибига оид нуқта PM кесмада ётади. Лекин, эритма қанча кўп суюлтирилган бўлса, у учбурчакнинг LE қиррасига шунча яқин жойлашади.

Таркиби N бўлган аралашмани экстрагент E билан суюлтириш NE чизиғи билан характерланади.

Агар бошланғич аралашма миқдори ва таркиби (N нуқта) ва уни экстракт ($\mathcal{E}$ нуқта) ва рафинат (R нуқта) га ажратгандан кейинги таркиблари маълум бўлса, учбурчакли диаграмма ёрдамида фазаларнинг миқдорларини (5.49б-расм) моддий баланс тенгламасидан аниқлаш мумкин:

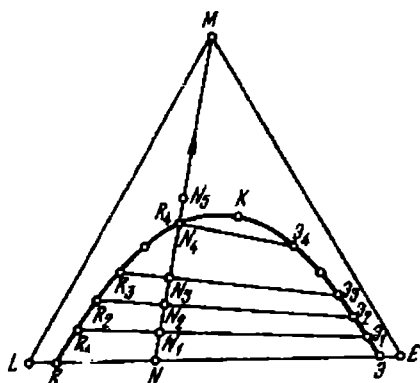
$$R + \mathcal{E} = N$$

бу ерда R , $\mathcal{E}$, N - рафинат, экстракт ва бошланғич аралашма массалари, кг.

Ричаг қонунига биноан:

$$\frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{R\bar{N}}{\mathcal{E}\bar{N}} \quad (5.143)$$

Мувозанат чизиғини учбурчакли диаграммада тасвирлаймиз. Бунинг учун L ва E суюқлик фазаларида тарқалувчи модда M чексиз миқдорда эрийди деб қабул қиламиз. Лекин, эритувчилар бир-бирида чекланмаган миқдорда эрийди (5.49-расм).



5.49в-расм. Учбурчакли диаграммада мувозанат чизигини тасвирлаш.

Бир жинсли икки компонентли M ва L , ҳамда M ва E эритмалар таркиби диаграмманинг LM ва EN қирраларида нуқталар билан ифодаланади. L ва E эритувчилар фақат LR ва $ЭE$ бўлақлардагина бир жинсли эритмалар ҳосил қилади. $RЭ$ ораликда эритувчилар аралашмаси бир жинсли, икки компонентли тўйинган эритмалар қатламига ажратилади: R (E ва L нинг тўйинган эритмаси) ва $Э$ (L ва E нинг тўйинган эритмаси). Ҳар бир қатламдаги тўйинган эритмалар сони N нуқтанинг ҳолати билан белгиланади ва рычаг қондасига биноан топилади.

Агар, N таркибли аралашмага M модда қўшилганда, MN чизикда

жойлашган N_1 нуқта билан характерланадиган уч фазали аралашма ҳосил бўлади.

N_1 таркибли аралашма R_1 ва $Э_1$ таркибли $Э_1N_1/(R_1N_1)$ нисбатда икки фазага ажралади. Агар, аралашмага яна $M_2, M_3, \dots$ тарқалувчи моддалар қўшилса, $N_2, N_3, \dots$ таркибидаги уч фазали аралашмалар ҳосил бўлади ва улар мувозанат таркибли R_2 ва $Э_2, R_3$ ва $Э_3$ ва Ҳ. фазалари қатламларга ажралади. Бирор N_4 таркибда фазаларнинг бири йўқ бўлиб кетган ҳолгача мувозанат сарфлар нисбати ўзгариб боради. Ундан кейин эса, тарқалувчи модда M нинг яна қўшилиши билан N_5 таркибли бир жинсли, уч фазали аралашмалар ҳосил бўлади.

Агар, R_1 ва $Э_1, R_2$ ва $Э_2, \dots$ лар тўғри чизик билан бирлаштирилса, мувозанат таркибга оид $R_1Э_1, R_2Э_2, \dots$ мувозанат хордаларини ҳосил қиламиз. Мувозанат хордалари критик деб номланадиган K нуқтада бирлашади. Мувозанат хордаларининг оғиш бурчаги компонент табиати ва фазалар таркиби билан белгиланади. Агар, мувозанат таркиблар $R, R_1, R_2, \dots$ ва $Э, Э_1, Э_2, \dots$ ни ифодаловчи нуқталарни равон, силлиқ чизик билан туташтирсак **мувозанат эгри чизигини** (бинодал эгри чизикни) ҳосил қиламиз. RK чизик L эритувчи фазаларининг мувозанат таркибини, $ЭK$ чизик эса E эритувчи фазаларининг мувозанат таркибини характерлайди.

Учбурчакли диаграммадаги бинодал эгри чизик икки (бинодал чизик остидаги) ва бир (бинодал чизик ташқарисидаги) фазали аралашмаларга ажратади.

5.49в-расмдаги мувозанат диаграммаси ўзгармас температура учун қурилган ва у **изотерма** деб номланади.

Система мувозанатига температура ҳам таъсир кўрсатади. Одатда, температура ўсиши билан компонентларнинг бир бирида эриши ортади. Демак, гетероген системалар зонаси камайиб боради. Температура ортиши билан бинодал эгри чизик LE ўқиға яқинлашади ва $RKЭ$ чизик остидаги юза камаяди (5.49в-расм).

5.22. Экстракция жараёнида масса ўтказиш

Экстракция жараёнининг кинетик қонунлари масса ўтказишнинг асосий қонунлари билан белгиланади.

Фазалар тўқнашиш юзасини ошириш мақсадида улардан биттаси томчи ҳолида пуркалади. Натижада, бир суюқлик фаза қурилманинг бутун ҳажмида яхлит жойлашади, иккинчиси эса томчи ҳолида бўлади. Фазаларнинг биринчиси **дисперсион**, томчи ҳолатидагиси эса - **дисперс** фаза деб номланади.

Шундай қилиб, ажратилиши зарур бўлган компонент дисперсион фаза ичидан томчининг юзасига, кейин эса, унинг таркибига ёки тегишли компонент томчининг ичидан чегаравий (ажратувчи) юза орқали дисперсион (яхлит) фазага ўтади. Жараён тезлиги фазадан фазага ўтган модда миқдори билан характерланади.

Томчи ичида масса ўтказиш асосан молекуляр ва конвектив диффузия йўли билан рўй беради. Томчи ичида циркуляция ҳисобига конвекция пайдо бўлади. Жараён мобайнида томчининг шакли ва ўлчами бир неча марта ўзгаради. Бунинг оқибатида фазалар орасидаги ўзаро таъсир юзаси бир неча бор янгиланади.

Экстракция жараёнларида масса алмашилишни ифодалаш учун Фикнинг 2-қонунидан фойдаланилади.

Умумий ҳолатда, яъни дисперсион (яхлит) ва дисперс фазалардаги диффузион қаршиликларни инобатга олмасликни иложи бўлмаганда, массанинг иккала фазада тарқалиши ҳисобга олинади.

Масса бериш коэффициентларини ҳисоблашда ушбу формуладан фойдаланиш мумкин:

$$M = \beta_c \cdot \Delta x_{yp} \cdot F \quad (5.144)$$

$$M = \beta_d \cdot \Delta y_{yp} \cdot F$$

бу ерда β_c ва β_d - дисперсион ва дисперс фазалардаги масса бериш коэффициенти.

Ушбу коэффициентлар қуйидаги критериал формулалардан топилади:

$$\begin{aligned} Nu_c &= 1,13 \cdot Pe_d^{0,5} \\ Nu_d &= 3,75 \cdot 10^{-3} \cdot Pe_d \end{aligned} \quad (5.145)$$

бу ерда $Nu_c = \beta_c \cdot d / D_c$ - дисперсион фаза учун Нуссельт критерийси; $Pe_c = wd / D_c$ - дисперсион фаза учун Пекле критерийси; D_c - дисперсион фазадаги диффузия коэффициенти, m^2/c ; d - томчи диаметри, m ; w - томчининг дисперсион фазадаги тезлиги, m/c ; $Nu_d = \beta_d \cdot d / D_d$ - дисперс фаза учун Нуссельт критерийси; D_d - дисперс фазадаги диффузия коэффициенти, m^2/c .

Масса ўтказиш коэффициентлари қуйидаги тенгламалардан аниқланади:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_d} + \frac{\varphi}{\beta_c}} ; \quad K_x = \frac{1}{\frac{1}{\varphi\beta_d} + \frac{1}{\beta_c}} \quad (5.146)$$

Агар, ҳамма диффузион қаршилик фақат дисперсион фазада мужассам бўлса, (5.146) тенглама $K_x = \beta_c$ кўринишга келиб қолади.

Агар, ҳамма диффузион қаршилик фақат дисперс фазада бўлса, яъни томчининг ичида, (5.146) тенглама $K_y = \beta_d$ кўринишни олади.

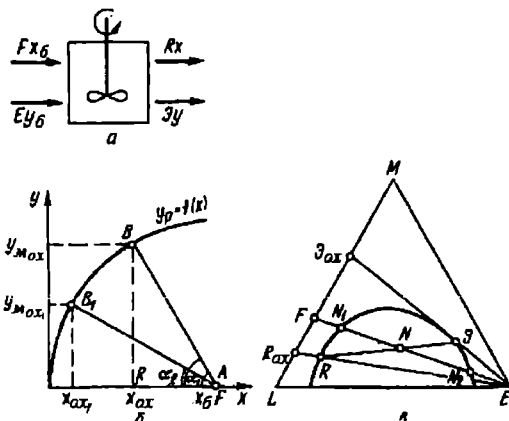
Унда, масса ўтказишнинг асосий тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$M = K_x \cdot \Delta x_{yp} \cdot F \quad M = K_y \cdot \Delta y_{yp} \cdot F \quad (5.147)$$

5.23. Экстракция жараёнини ташкил этиш усуллари

Саноат миқёсида даврий ва узлуксиз экстракция жараёни куйидаги схемалар асосида ташкил этилади: бир поғонали, кўп поғонали қарама-қарши йўналишли ва кўп поғонали ўзаро кесишган йўналишли.

Бир поғонали экстракция асосан ажратиш коэффициентининг қиймати жуда катта бўлган ҳолларда ишлатилади. Бу схема даврий ёки узлуксиз бўлиши мумкин (5.50а-расм).



5.50-расм. Бир поғонали экстракция (а) ва жараёни y - x координатларида (б) ва учбурчакли (в) диаграммада тасвирлаш.

Аралаштиргичли қурилма-га бошланғич эритма F , концентрацияси x_6 бўлган L (кг) миқдордаги эритувчи ва экстрагент E юкланади. Сўнг, аралаштиргич ёрдамида улар аралаштирилади ва икки қатламга ажратилади, яъни экстракт $\mathcal{E}$ ва рафинат R га.

Эмульсияларни ажратиш учун тиндиргич ва қийин ажратиладиган эмульсиялар учун эса, сепараторлар ишлатилади.

Бир поғонали экстракция жараёнини учбурчакли ва тўғри бурчакли диаграммаларда кўриб чиқамиз (5.50б, в-расм).

Бошланғич эритма аралаштирилганда уч компонентли аралашма ҳосил бўлади ва унинг

таркиби аралаштириш чизиги EE да жойлашган N нуқта билан характерланади. Аралашмани ажратиш натижасида экстракт ва рафинатга бўлинади. Уларнинг таркиби N нуқта орқали ўтадиган, мувозанат хордасида ётувчи R ва $\mathcal{E}$ нуқталар билан белгиланади. Экстрагент модулини ричаг қондасига биноан топиш мумкин:

$$\frac{E}{F} = \frac{\overline{FN}}{\overline{EN}}$$

Рафинат миқдорини эса,

$$R = \frac{N\overline{\mathcal{E}N}}{\overline{R\mathcal{E}}}$$

Экстракт миқдорини эса:

$$\mathcal{E} = N - R = N \cdot \left(\frac{\overline{RN}}{\overline{R\mathcal{E}}} \right)$$

Рафинат таркибини учбурчакнинг LM томонидаги нуқта R_k , экстракт-никини эса - $\mathcal{E}_k$ белгилайди.

Агар, фазалар бир-бирида эримайдиган бўлса, бир поғонали экстракция жараёни y - x диаграммада AB тўғри чизиқ билан ифодаланади. Ушбу тўғри чизиқ оғиш бурчагининг тангенсис бошланғич эритма ва эритувчи оғирликлари нисбатига тенгдир:

$$\frac{L}{E} = \frac{\overline{BR}}{\overline{RF}} = \operatorname{tg} \alpha$$

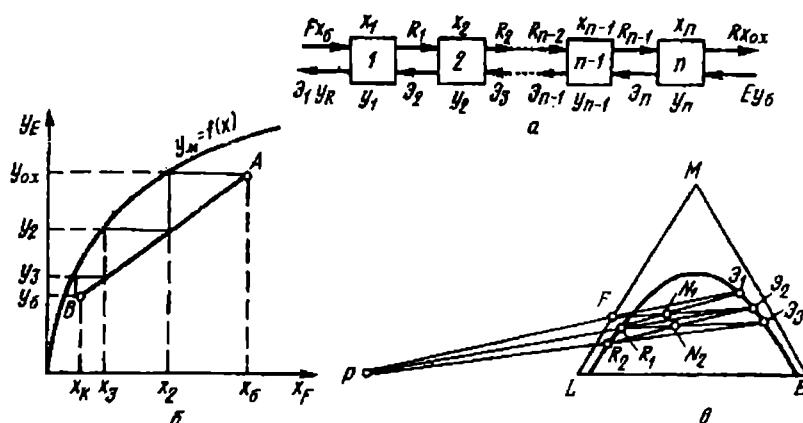
Агар, эритувчи миқдори оширилса, исталган тозалик даражали рафинат олиш мумкин. Лекин, экстрактнинг тўйиниш чегараси y_{ox} билан белгиланади.

Иккала диаграммадан кўриниб турибдики, бир поғонали экстракция натижасида олинган рафинат ва экстракт таркиблари мувозанатда бўлади ва бошланғич таркибдан кам фарқ қилади. Шунинг учун, бу жараён самарадорлиги паст бўлади ва саноат корхоналарида кенг қўлланилмайди.

Жараён самарадорлигини ошириш учун уни бир неча марта қайтариш керак ва ҳар гал янги эритувчи узатиш зарур.

Кўп поғонали экстракция кўп секцияли экстракторларда ўтказилади. Бундай қурилмаларда фазалар йўналиши қарама-қарши, ўзаро кесишган ёки комбинациялашган бўлиши мумкин.

Қарама — қарши йўналишли экстракция жараёни турли схемаларда амалга оширилиши мумкин (5.51а-расм).



5.51-расм. Кўп поғонали экстракция (а) ва жараёни $y - x$ (б) ва учбурчакли (в) диаграммада тасвирлаш.

Кўп поғонали экстракция қурилмаларида бошланғич эритма F ва экстрагент E қурилманинг қарама-қарши учларидан юборилади. Тарқалувчи компонент концентрацияси тўйинишга яқин бўлган экстракт биринчи поғонада x_6 концентрацияли F бошланғич эритма билан ўзаро тўқнашувда бўлади. Бу компонентли аралашма биринчи поғонада ажратилгандан сўнг, $y_1 = y_{ox}$ концентрацияли экстракт ва x_1 концентрацияли рафинат олинади.

Таркиби x_1 бўлган рафинат қурилманинг иккинчи поғонасида z_3 таркибли экстракт билан ўзаро таъсирда бўлади. Ажратилгандан сўнг, R_2 таркибли рафинат ва z_2 экстракт ҳосил бўлади. Экстракторнинг n поғонасида концентрацияси x_{n-1} бўлган R_{n-1} рафинат янги $y_6 = y_n$ концентрацияли, яъни нолга яқин экстрагент E билан тўқнашишда бўлади. Қурилмадан чиқишда тозаланган эритма олинади. Кўп поғонали экстракция жараёни $y - x$ диаграммада кўрсатилган.

Экстракция жараёнининг моддий баланси ушбу кўринишга эга:

$$L \cdot (x_6 - x_{ox}) = E \cdot (y_{ox} - y_6) \quad (5.148)$$

($n-1$) - секция учун

$$L \cdot (x_6 - x_{n-1}) = E \cdot (y_{ox} - y_n)$$

Бундан, қарама-қарши йўналишли жараён ишчи чизигининг тенгламасини келтириб чиқариш мумкин:

$$y_n = \frac{L}{E}(x_{n-1} - x_0) + y_{ox} \quad (5.149)$$

Ушбу тенглама оғиш бурчагининг тангенси бўлиб, тўғри чизикни ифодаловчи тенгламдир:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L}{E}$$

Фазалар тўқнашиш поғоналарининг сони $A(x_0 y_{ox})$ ва $B(x_0 x_{y0})$ нуқталари орасидаги поғоналар сони билан аниқланади.

Кинетик чизик ўрни қурилмадаги гидродинамик ҳолат ва ажратиб олиш коэффициенти билан белгиланади.

Экстракция жараёнининг тасвири 5.51в-расмда келтирилган.

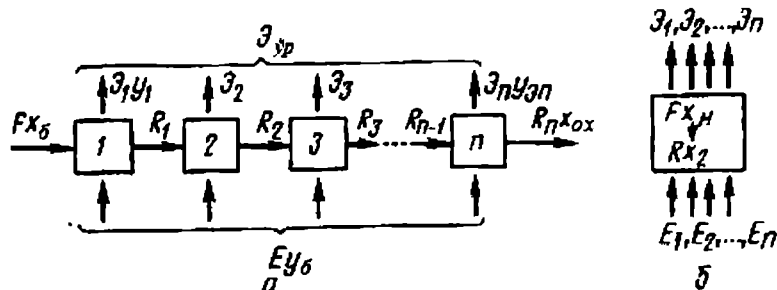
Экстракция қурилмасининг биринчи секциясида бошланғич эритма F иккинчи поғонадан тушаётган экстракт $\mathcal{E}_2$ билан ўзаро тўқнашувда бўлади. Натижада, уч фазали N_1 нуқтали аралашма ҳосил бўлади. Ушбу аралашма сепараторда ажратилиши туфайли мувозанатда бўлмаган таркибли экстракт $\mathcal{E}_1$ ва рафинат R_1 лар олинади.

Иккинчи поғонадаги рафинат R_1 учинчи поғонадан тушаётган экстракт $\mathcal{E}_3$ билан ўзаро таъсирда бўлиб, уч фазали N_2 аралашма ҳосил қилади. Ўз навбатида у R_2 ва $\mathcal{E}_2$ ажралади.

Фазаларни секцияга кириши ва чиқишидаги таркибларига оид икки нуқталарни $F\mathcal{E}$, $R_1\mathcal{E}_2$, $R_2\mathcal{E}_3$ ва ҳоказо чизиклар билан бирлаштириб, уларнинг кесилиш нуқтаси P ни топамиз.

Экстракторнинг бошқа секцияларида ҳам худди шундай жараёнлар содир бўлади. Натижада, бошланғич эритма қурилманинг охириги n секциясидан x_{ox} , экстрагент эса - y_{ox} концентрация билан чиқади.

Оқимлар йўналиши ўзаро кесишган экстракция жараёнида бир секцияда даврий (5.52а-расм) ёки бир неча секцияда узлуксиз (5.52б-расм) амалга оширилиши мумкин.

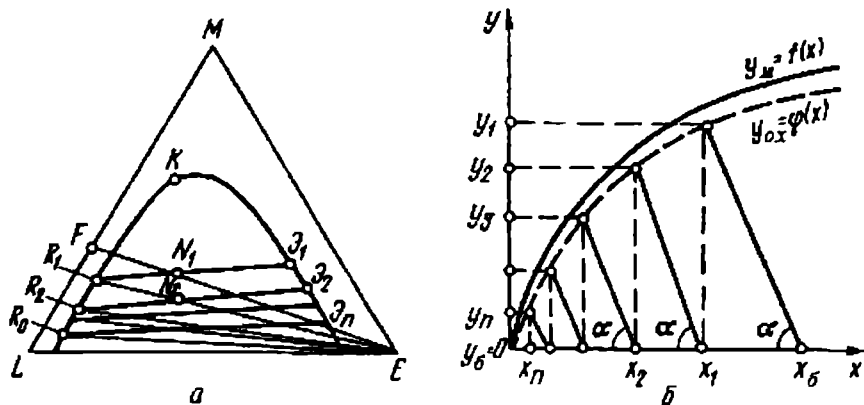


5.52-расм. Кўп поғонали, оқимлар йўналиши ўзаро кесишган экстракциялаш схемаси.

Экстракциялаш жараёни узлуксиз бўлганда бошланғич эритма F биринчи секцияда экстрагент E билан бирга тўқнашувда бўлади. Ундан сўнг, ажратилиш натижасида рафинат R_1 ва экстракт $\mathcal{E}_1$ лар ҳосил бўлади. Кейин, рафинат R_1 иккинчи секцияга ўтади ва у ерда яна янги экстрагент E билан қайта ишланади. $\mathcal{E}_1$ ва $\mathcal{E}_2$ экстрактлар қурилмадан чиқарилади, R_2 таркибли

рафинат эса кейинги секцияга ўтади ва жараён яна қайтарилади. Натижада, зарур таркибли рафинат R_n ва ўзгарувчан таркибли $\mathcal{E}$, $\mathcal{E}_2$, $\mathcal{E}_n$ экстракт олинади.

Узлуксиз, кўп маротабалик экстракциялаш жараёни 5.53-расмда келтирилган.



5.53-расм. Ўзаро кесишган йўналишли кўп поғонали экстракция жараёнини учбурчакли диаграмма (а) ва x - y координатларда (б) тасвирлаш.

Бошланғич эритма ва экстрагент аралаштирилиши натижасида уч фазали аралашма (N_1 нуқта) ҳосил бўлади ва у биринчи секцияда рафинат R_1 ва экстракт $\mathcal{E}_1$ га ажралади. Иккинчи секция R_2 таркибли рафинат янги экстрагент E билан аралаштирилади. Уч фазали аралашма (R_1E кесмадаги N_2 нуқта) рафинат R_2 ва экстракт $\mathcal{E}_2$ ларга ажралади. Сўнг, рафинат кейинги секцияга ўтади.

Тозаланган, x_{ox} концентрацияли эритма қурилманинг охириги секциясидан чиқарилади ва технологик жараённинг кейинги босқичига узатилади. Экстракт эса, қайта тикланади ёки оқава сув сифатида **утилизация** қилинади.

Қарама - қарши йўналишли кўп поғонали экстракция ўзаро кесишган йўналишли жараёнга қараганда анча самарали. Чунки, қарама-қарши йўналишли экстракциялашда ўртача ҳаракатга келтирувчи куч миқдори кўпроқ бўлади.

Қурилманинг тепа ва пастки қисмларидаги ўртача ҳаракатга келтирувчи куч тенглашиши ҳисобига эритма таркибидан компонентни тўлароқ ажратиб олишга эришилади. Ундан ташқари, экстракцион модуль қиймати камаяди, лекин бир хил тозалаш даражасига эришиш учун керакли поғоналар сони кўпаяди.

5.24. Экстракторлар конструкциялари

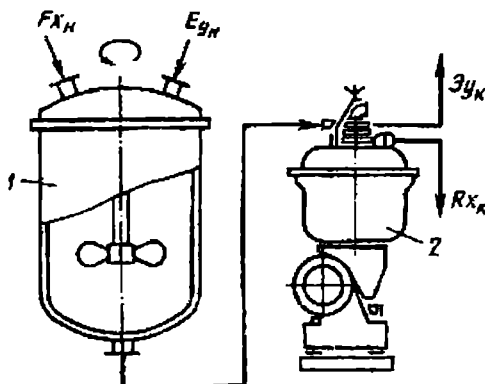
Маълумки, экстракциялаш жараёнларида масса ўтказишнинг самарадорлиги масса бериш юзаси ва ўртача ҳаракатга келтирувчи кучга тўғри пропорционал. Экстракторларда масса алмашилиш юзасини ошириш мақсадида суюқ фазалардан бири томчи ҳолида пуркалади. Дисперс ва дисперсион фазалар ўртасида масса ўтказиш жараёни содир бўлади. Экстракторда юқори ҳаракатга келтирувчи кучга эришиш учун жараёндаги оқимлар идеал сиқиб чиқариш шароитида ўзаро тўқнашиши ташкил этилади. Бунинг учун экстракциялаш жараёни юпқа қатламда насадкали, марказдан қочма экстракторларда уларни секциялаш ёки кўп поғонали секцияланган қурилмаларда олиб борилади.

Жараён ташкил этилишига қараб экстракторлар даврий ва узлуксиз принципда ишлайдиган бўлади.

Жараёнда қатнашаётган фазалар тўқнашувига қараб экстракторлар 3 гуруҳга бўлинади: аралаштириб тиндирувчи; дифференциал контактли ва поғонали ёки секцияли.

Аралаштириб – тиндирувчи экстракторлар бир неча поғонадан иборат бўлиб, улардан ҳар бири таркибда аралаштиргич ва ажратгич бўлади. Ташқаридан берилаётган энергия ҳисобига аралаштиргичда суюқлик фазаларидан бири томчи ҳолида пуркалади ва натижада дисперсион фаза ҳосил бўлади. Томчи ҳолидаги дисперсион фаза дисперс фазда тарқалади. Дисперс фаза сифатида енгил фаза ҳам ёки оғир фаза ҳам бўлиши мумкин.

Ажратгич сифатида тиндиргични ҳам ишлатиш мумкин. Замонавий қурилмаларда эса, унинг ўрнига сепаратор ишлатилади. Сепараторда эмульсия рафинат ва экстрактга ажратилади. Энг содда аралаштириб-тиндирувчи экстрактор схемаси 5.54-расмда келтирилган.



5.54-расм. Аралаштириб - тиндирувчи экстракцион қурилма.

1 - экстрактор; 2 - сепаратор.

Бир неча аралаштириб тиндирувчи қурилмаларни секцияларга улаш натижасида турли экстракцион қурилмаларни ҳосил қилиш мумкин.

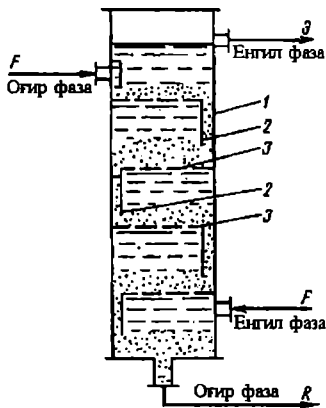
Лекин, ушбу схеманинг бир қатор камчиликлари бор: қўпол, қўп жой эгаллайди, металл ва энергия сарфи кўп.

Дифференциал – контактли экстракторлар фазалар ўртасидаги тўқнашишни узлуксиз ва улардаги концентрацияларнинг аста секин, узлуксиз ўзгаришини таъминлайди. Бу турдаги қурилмаларда фазаларнинг бўйлама силжиши ҳисобига идеал сиқиб чиқариш қурилмасига қараганда ўртача ҳаракатга келтирувчи куч бирмунча паст бўлади.

Ундан ташқари, суюқ фазани пуркаш учун ҳам энергия сафрланиши зарур. Экстракторда энергия сарфланиш турига қараб, ташқи энергия ҳисобига ва бундай энергиясиз қурилмаларга бўлинади. Ўзаро таъсирда бўлган фазаларга ташқи энергия аралаштиргич, тебратгич ва пульсаторлар ёрдамида узатилади.

Поғонали (секцияли) экстракторлар алоҳида секциялардан таркиб топган бўлиб, уларда фазалар концентрациялари нотекис, сакраб-сакраб ўзгаради. Айрим ҳолларда ҳар бир секцияда концентрациялар майдони идеал сиқиб чиқариш қурилмасига яқинлашиб қолади. Шундай бир неча секциядан ташкил бўлган экстрактор идеал сиқиб чиқариш қурилмаси деб ҳисобланиши мумкин.

Колоннали экстракторлар тарелкали, ичи бўш колонна, насадкали, пульсацион ва ротор - диски бўлиши мумкин.



5.55-расм. Тарелкали экстрактор.

- 1 – цилиндр кобик;
- 2 – қуйилиш мосламаси;
- 3 – элаксимон тарелка.

Тарелкали экстракторлар турли конструкциядаги элаксимон тарелка ва қуйилиш мосламаси бор колоннали қурилмадир (5.55-расм). Ўзаро қарама қарши йўналишдаги фазалар оқимларининг ҳар бир тарелкада тўқнашиши туфайли рўй беради. Фазалардан бири тарелка тешиклари орқали ўтиб майда томчиларга парчаланadi. Яхлит фаза тарелка бўйлаб ҳаракатланади ва қуйилиш патрубкasi орқали кейинги тарелкага ўтади ва жараён шу йўсинда қайтарилади.

Майда томчи ҳолатидаги суюқлик дисперс фаза деб, қурилманинг бутун ҳажмини эгаллаган суюқлик эса, **дисперсион** (яхлит) фаза деб номланади.

Тарелкада томчилар бирлашиб, унинг ости ёки устида яхлит суюқлик қатламини ҳосил қилади. Қурилмани секциялаш, жараёни ҳаракатга келтирувчи кучни ортишига олиб келади.

Тарелка тешикларидаги дисперс фазанинг тезлиги оқимчали режим ҳосил бўлиш шартидан аниқланади. Томчили режимдан оқимчали режимга ўтиш пайтидаги критик тезлик тарелка тешикларига боғлиқ, яъни:

$$w_{кр} = \frac{4,4}{d_0} \quad (5.150)$$

Турғун оқимчали режимда экстрактор самарали ишлаши учун тезлик критик тезликдан 20% кўп бўлиши керак.

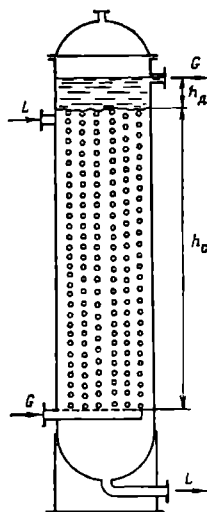
Дисперс фазадаги масса бериш коэффициентини аниқлаш учун қуйидаги формулани тавсия этиш мумкин:

$$Nu_\partial = 0,064 Re^{0,84} \cdot Pr_\partial^{0,5} \quad (5.151)$$

бу ерда $Nu_\partial = \beta_\partial d_\partial / D_\partial$ - диффузион Нуссельт критерийси (β_∂ - дисперс фазадаги масса бериш коэффициентини); d_∂ - томчининг эквивалент диаметри; D_∂ - дисперс фазадаги диффузия коэффициентини); $Re = w_{max} d_\partial / \nu_c$ - томчи учун Рейнольдс критерийси (w_{max} - яхлит фазадаги томчининг нисбий тезлиги; ν_c - яхлит фазанинг кинематик қовушқлиги); $Pr_\partial = \nu_\partial / D_\partial$ - дисперс фаза учун Прандтл критерийси (ν_∂ - дисперс фазанинг кинематик қовушқлиги).

Ичи бўш (пурковчи) колонналар. Бу турдаги экстракторлар оғир суюқлик L билан тўлдирилади ва у бирор w_c тезлик билан қурилмада ҳаракатланиб, тўкиш штуцерида чиқиб кетади (5.56-расм). Енгил фаза G қурилмага пуркагич орқали томчи ҳолатида узатилади ва пастга қараб w_∂ тезлик билан тушади.

Экстракторнинг тепа қисмида томчилар бирлашади ва яхлит суюқлик қатлами ҳосил бўлади ва у қурилманинг тепа штуцери орқали чиқиб кетади.



5.56-расм. Ичи бўш (пурковчи) экстрактор.

тиқилиб бошлайди.

Механик аралаштиргичли, колоннали экстракторлар. Агар, дисперс ва дисперсион фазалар зичликларининг фарқи жуда кам ($< 100 \text{ кг/м}^3$) ва фазалар орасидаги сиртий таранглик катта бўлса, ротор диски экстракторлар қўлланилади (5.57-расм).

Механик аралаштиргич диски, турбинали, парракли ва ҳоказо бўлиши мумкин. Лекин, кимё ва озиқ-овқат машинасозлигида асосан ротор – диски экстракторлар ишлаб чиқарилади.

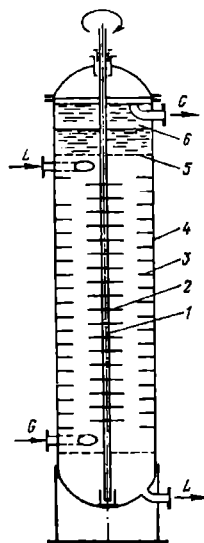
Бу турдаги экстракторнинг ўқи бўйлаб ротор ўқ 1 айланади ва унга айланувчи диск 2 лар ўрнатилган бўлади. Ўқ 1 нинг айланиши натижасида фазалар яхши аралашади. Ҳалқасимон тўсиқлар колонна 3 ни бир нечта секцияларга бўлади. Дисклар ҳар бир секциянинг ўртасида айланади.

Қарама - қарши йўналишда ҳаракатланаётган L ва G фазалар айланувчи диск 2 лар ёрдамида колонна баландлиги бўйлаб аралаштирилади ва ҳалқасимон тўсиқлар 3 атрофида қисман қатламларга ажралади. Агар, оғир фаза L яхлит фаза вазифасини ўтаса, қурилманинг тепа қисмида, яъни тешикли панжара 5 нинг юқорисида енгил фаза яхлит фазадаги тўлиқ ажралади. Сўнгра, ажралган фаза тегишли штуцер орқали ташқарига чиқарилади. Оғир фаза эса, колоннанинг пастки қисмидан олинади.

Томчининг нисбий ҳаракат тезлиги w_0 ни режимга қараб чўкиш тезлиги тенгламаси (3.21) орқали топиш мумкин. Қурилма деворига нисбатан томчилар силжишининг тезлиги нисбий w_0 тезлик ва яхлит фаза ҳаракатининг чизиқли тезлиги w_c нинг фарқи сифатида аниқлаш мумкин:

$$w_d = w_0 - w_c$$

Агар, дисперс (яхлит) фаза бўйича қурилманинг юклагаси ортиб кетса, томчилар тезлиги $w_0 = 0$ бўлган ҳол содир бўлиши мумкин. Бундай ҳолларда қурилмада дисперс фаза йиғилиб қолади. Экстракторнинг ишчи зонасида дисперс фазанинг йиғилиши, унинг ўтиш йўлини торайишига олиб келади. Натижада, ушбу фазанинг тезлиги ортиб кетади ва у ишчи зонадан дисперс фаза томчиларини олиб чиқа бошлайди. Фазаларнинг қарама-қарши ҳаракати бузулади ва экстрактор



5.57-расм. Ротор - диски экстрактор.

- 1-ўқ; 2- айланувчи диск;
- 3- қўзғалмас ҳалқасимон тўсиқлар; 4- қобик;
- 5-тешикли панжара;
- 6- ажратувчи камера.

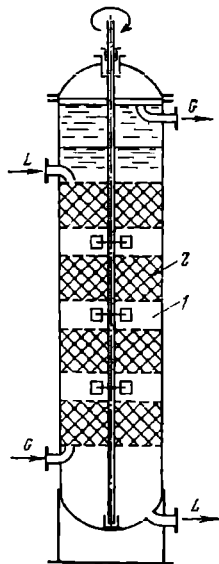
Фазаларга ажратиш жараёнининг самарадорлигини ошириш учун 5.58-расмда кўрсатилган экстракторлар ишлатилади.

Бундай қурилмаларнинг аралаштириш секциялари 1 оралтигида тиндириш зоналари 2 жойлашган бўлади. Икки фазали оқимни ажратиш жараёнини жадаллаш учун зона 2 симли тўр, насадка ёки концентрик цилиндр блоклари билан тўлдирилади. Бу турдаги колонналар вертикал ёки маълум оғиш бурчаги остида ўрнатилиши мумкин.

Механик аралаштиргичли, колоннали экстракторлар диаметри қуйидаги формуладан топилади:

$$D = \sqrt{\frac{G / \rho_G + L / \rho_L}{900\pi(q_d + q_s)_{\text{ом}}}} \quad (5.152)$$

бу ерда q_d, q_s - дисперс ва яхлит фаза бўйича солиштирма юклама, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.



5.58-расм. Аралаштиргичли ва ажратувчи зонали, колоннали аралаштириб — тиндирувчи экстрактор.

Лекин, ушбу формулага қурилманинг қўндаланг кесимига тушаётган юкламалар йиғиндисини ҳам киритиш унинг аниқлигини оширади.

Қурилманинг баландлиги эса ушбу формуладан аниқланади:

$$H = h_s, \quad N = \frac{h_s \cdot m_y}{m_{y3}} \quad (5.153)$$

бу ерда h_s секция баландлиги, м; N қурилмадаги секциялар сони; m_{y3} битта секциянинг узатиш бирлиги сони.

Аралашмани экстракт ва рафинатга сифатли ажратиш учун экстракторнинг юқори ва пастки қисмларида сепарацион (тиндириш) секциялари бор.

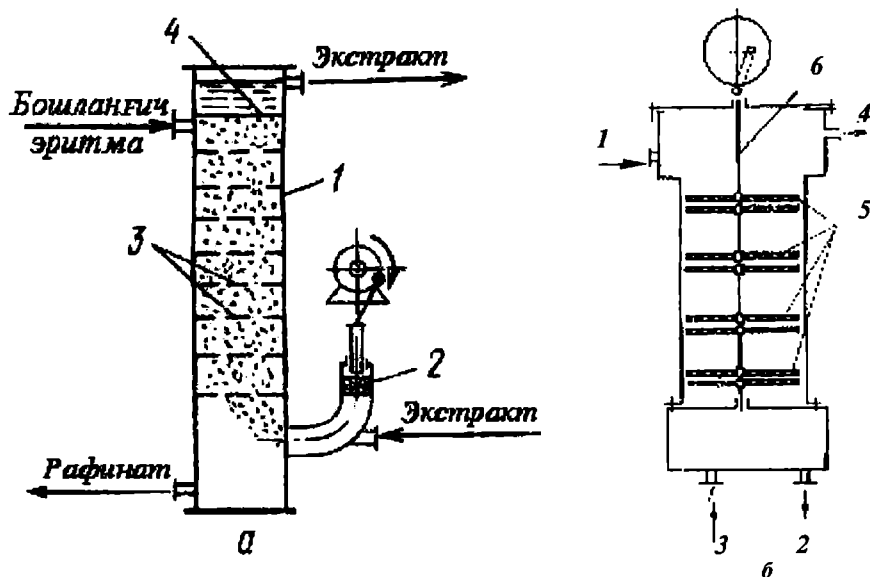
Насадкали, элаксимон ва бошқа турдаги экстракторлар самарадорлигини ошириш учун қарама қарши йўналган оқимларга бўйлама

тебраниш таъсир эттириш керак. Тебраниш (пульсация) ларнинг амплитудаси ва частотаси етарли миқдорда бўлса, суюқлик ўта кичик томчилар ўлчамда пуркалади ва иккала фазалар аралаштиш интенсивлиги ортади. Тебранишлар асосан пульсация ва вибрацияли усулларда ташкил этиш мумкин.

5.59 а-расмда пульсацияли экстрактор схемаси кўрсатилган. Бунда энгил фазанинг кириш йўлига гидравлик ёки пневматик пульсатор ўрнатилган. Суюқлик оқимида илгариларга - қайтма ҳаракат бериш учун клапансиз поршень, плунжер ёки мембранали насосдан, ҳамда махсус пневматик мосламадан фойдаланиш мумкин.

Пульсация тебранишлари таъсири остида суюқлик оқимининг Турбулентлиги ва фазаларнинг томчиларга парчаланиши ортади. Бу ҳол ўз навбатида тарелкали ёки насадкали экстракторларда масса алмашиниш жараёнининг ўсишига олиб келади.

Агар, пульсация интенсивлиги кичик бўлса, энгил фаза оғир фазада ёки оғир фаза энгилда галма-гал тарқалади. Агар, пульсация интенсивлиги катта бўлса, колоннанинг ишчи зонаси яхлит фазага қарама қарши йўналишда ҳаракат қилаётган майда томчилар билан бир текисда тўлиб туради. Бундай режим пульсацияли экстракторнинг оптимал режими ҳисобланади.



а) 1 - колонна; 2 - поршенли пульсатор; 3 - тарелка;
4 - тиндириш зонасидаги фазаларни ажратувчи юза.
б) 1,2 - оғир фазанинг кириш ва чиқиш штуцерлари;
3,4 - енгил фазанинг кириш ва чиқиш штуцерлари;
5 - элаксимон тарелка; 6 - шток.

Агар, пульсациялар интенсивлиги янада оширилса, экстракторда тикилиб қолиш ҳодисаси рўй беради.

Пульсацияли экстракторлар колоннасидаги бутун суюқликни тебратиш учун энергия сарфи катта, кўндаланг кесим бўйича оқим тезликлар бир хил эмаслиги ва кавитация ҳодиса ҳосил бўлиши мумкинлиги, ҳамда қурилманинг айрим бўлакларида ҳавфли кучланишлар барпо бўлиши бу турдаги экстракторларнинг камчиликларидир.

Бир даста элаксимон тарелкалар вибрацияси туфайли колоннадаги суюқликка тебраниш бериш, пульсацияли усулга нисбатан самараси юқори бўлиб чикди (5.596-расм).

Бу турдаги қурилмаларда тарелка 5 лар шток 6 да ўрнатилади ва шток илгариллама - қайтма ҳаракат қилади. Бундай ҳаракат суyoқликка тебранишлар беради ва жараён интенсифицирланади.

Пульсация ва вибрацияли экстракторларда масса алмашиниш интенсивлиги ротор диски қурилманикига қараганда анча юқори. Бунга сабаб, масса бериш ва ўртача ҳаракатга келтирувчи кўчнинг катталигидир.

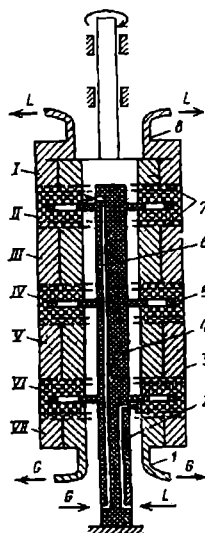
Ундан ташқари, солиштирма юклама $30...80 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{соат})$. Бу кўрсаткич бошқа экстракторлар учун рухсат этилган юкламадан анча ортиқ.

Яна бир афзаллиги шундаки, қурилмада юқори масса аламинишига эришилгани учун, металл ва капитал сарфлар камаяди.

Лекин, пульсация ва вибрацияли экстракторлар камчиликлардан ҳоли эмас. Масалан, улар катта динамик юкламага бардош берадиган оғир пой-деворларга ўрнатилиши зарур. Ундан ташқари, бошқа экстракторларга қараганда эксплуатацион сарфлар ҳам бирмунча кўпроқ.

Марказдан қочма экстракторлар. Агар, экстракцияланаётган модда парчаланиб кетиш хусусиятига эга бўлса, жараёнинг давомийлигини максимал даражада қисқартириш зарур бўлганда, бу турдаги экстракторлар қўлланилади. Маълумки, марказдан қочма экстракторларда жараён максимал тезлик билан амалга оширилади. Эритма ва эритувчи зичликлари орасида фарқ жуда кичик бўлганда ҳам, бундай экстракторларни қўллаш мақсадга мувофиқ.

Бу турдаги экстракторлар - труба, камерали ва юпқа қатламли бўлади. 5.60-расмда труба, марказдан қочма экстрактор схемаси келтирилган.



5.60-расм. Труба, марказдан қочма экстрактор схемаси.

1, 8 — енгил ва оғир фазаларни тўкиш цилиндрлари; 2, 6 — оғир ва енгил фазалар кириш каналлари; 3 — цилиндрик барабан; 4 — қўзғалмас цилиндр; 5 — тешикли аралаштирувчи дисклар; 7 — тешикли қайтарувчи тўсиқ; I, III, V, VII — сепарацион зоналар; II, IV, VI — экстракцион зоналар.

Экстрактор цилиндрик барабан 3 дан иборат бўлиб, ичига қайтарувчи диск 7 лар ўрнатилган бўлади. Қайтарувчи дисклар барабани сепарацион (I, III, V, VII) ва экстракцион (II, IV, VI) зоналарга бўлади. Оғир фаза *L* канал 2 ва қўзғалмас цилиндр 4 орқали экстракторнинг VI зонасига узатилади. У ердан оғир фаза барабанинг пастки қисмидан юқорига кўтарилади ва ҳалқасимон тўкиш канали 8 орқали чиқарилади. Енгил фаза *G* эса, канал 6 орқали юқори экстракцион зона II га узатилади. Оғир фаза *L* га қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилиб, қурилманинг пастки қисмидаги тўкиш канали 1 орқали чиқарилади.

Жараён натижасида экстракцион зоналарда ҳосил бўлган эмульсия тешикли, қайтарувчи дисклар орқали ўтиш пайтида биринчи бор ажратилади. Эмульсиянинг тўлиқ фазаларга ажратилиши марказдан қочма куч таъсирида сепарацион зоналарда содир бўлади.

5.25. Экстракторларни ҳисоблаш

Бензин ёрдамида сувдаги фенол ажратиб олинаятган экстракция жараёнини амалга ошириш учун мўлжалланган ротор-дискли экстракторнинг асосий ўлчамлари қуйидаги шароитларда аниқлансин:

- аралашма сарфи $V_x = 0,001389 \text{ м}^3/\text{с};$
- сувдаги фенолнинг бошланғич концентрацияси $C_{x0} = 0,3 \text{ кг}/\text{м}^3;$
- сувдаги фенолнинг охириги концентрацияси $C_{x\infty} = 0,009 \text{ кг}/\text{м}^3 (97\%);$
- экстрагент таркибидаги фенолнинг бошланғич концентрацияси $C_{y0} = 0,01 \text{ кг}/\text{м}^3;$
- экстрактордаги температура $t = 25^\circ\text{C}.$

$$V_y = V_d = 0,002778 \text{ м}^3 / \text{с}; \quad m = 2,22; \quad m_o = 0;$$

$$\rho_c = 997 \text{ кг}/\text{м}^3 \quad \rho_d = 874 \text{ кг}/\text{м}^3; \quad \Delta\rho = 123 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\mu_c = 0,894 \text{ мПа}\cdot\text{с}; \quad \mu_d = 0,6 \text{ мПа}\cdot\text{с}; \quad D_c = 1,05 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с};$$

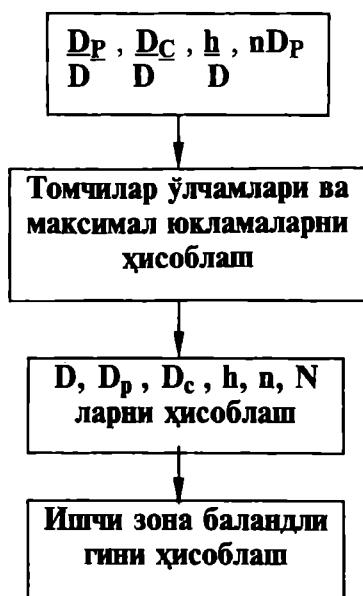
$$D_d = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с}; \quad \sigma = 0,0341 \text{ Н}/\text{м}; \quad \Phi = 0,382.$$

Бундай ажратиб олиш даражаси бўлганда бензолдаги фенолнинг охириги концентрацияси қуйидагига тенг бўлади:

$$C_{y.o.} = C_{y.б.} + \left(\frac{V_x}{V_y} \right) \cdot (C_{x.б.} - C_{x.o.}) =$$

$$= 0,01 + \left(\frac{0,001389}{0,002778} \right) \cdot (0,3 - 0,009) = 0,1555 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Ротор-дискли экстракторларни ҳисоблашда фақат колоннанинг диаметри ва ишчи қисмининг баландлигини аниқлаш етарли эмас. Шунинг учун унинг ички қурилмаларининг ўлчамлари (диск ва статор ҳалқалар диаметрлари, дисклар орасидаги масофа) ва дискнинг айланиш частотасини ҳам аниқлаш керак. Ротор-дискли экстракторларни ҳисоблаш учун 5.61 расмда келтирилган схемадаги услубдан фойдаланилади:



5.61-расм. Ротор-дискли экстрактор ўлчамларини ҳисоблаш схемаси.

Ушбу услубга биноан D_p/D , D_c/D , h/D , ҳамда nD_p нисбатлар бошланғич маълумотлардир. Бу ерда D – колонна диаметри; D_p – диск диаметри; D_c – статор ҳалқасининг ички диаметри; h – секция баландлиги; n – ротор айланишининг частотаси.

Одатда, бундай экстракторларда дискнинг диаметри колонна диаметридан 1,5...2,0, секция баландлиги эса 2-4 мартаба кичик бўлади.

Қурилманинг ички ускуна ўлчамлари учун қуйидаги нисбатларни қабул қиламиз:

$$\frac{D_p}{D} = \frac{2}{3}, \quad \frac{D_c}{D} = \frac{3}{4}, \quad \frac{h}{D} = \frac{1}{3}$$

ва $nD_p = 0,2$ м/с шароитда ишлаётган экстракторнинг ўлчамларини ҳисоблаймиз.

Томчиларнинг ўртача диаметрини аниқлаш учун секциялар (дисклар) сонини билиш керак. Шунинг учун секциялар сонини $N = 20$ деб қабул қилиб оламиз ва унда қуйидаги натижани оламиз:

$$d = 16,7 \cdot \frac{(0,894 \cdot 10^{-3})^{0,3} \cdot (0,0341)^{0,5}}{0,2^{0,9} \cdot 997^{0,8} \cdot 9,81^{0,2} \cdot 20^{0,28}} = 0,00203 \text{ м} = 2,03 \text{ мм}$$

Билқиллаб қолиш даврида фазаларнинг умумий соҳта тезлиги.

Майда томчиларнинг эркин чўкиш тезлигини топиш учун Адамарнинг тенгламасидан фойдаланса бўлади:

$$w_q = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot d^2 \cdot (\mu_d + \mu_c)}{6 \cdot \mu_c \cdot (2 \cdot \mu_c + 3 \cdot \mu_d)}$$

бу ерда w_q – эркин чўкиш тезлиги; $\Delta \rho$ – фазалар зичликларининг фарқи; μ_c ва μ_d – дисперсион ва дисперс фазалар қовушоқликлари.

Йирик томчиларни эркин чўкиш тезлигини ҳисоблаш учун қуйидаги эмпирик формуладан фойдаланамиз:

$$\begin{aligned} 2 \leq T \leq 70 \text{ да} & \quad Q = (0,75 \cdot T)^{0,78} \\ T > 70 \text{ булганда} & \quad Q = (22 \cdot T)^{0,42} \end{aligned}$$

бу ерда

$$Q = 0,75 + \frac{Re}{p^{0,15}}$$

$$T = \frac{4 \cdot \Delta \rho \cdot g \cdot d^2 \cdot \rho^{0,15}}{3 \cdot \sigma}$$

$$P = \frac{\rho_c^2 \cdot \sigma^3}{\Delta \rho \cdot g \cdot \mu_c^4}$$

бу ерда σ – фазалар орасидаги тортишиш кучи.

Параметр $T=70$ га тенг бўлса, бу томчиларнинг критик диаметрига мос келади. Ушбу формулалар ёрдамида ҳисоблаш $w_o = 5,73$ эканлиги келиб чиқади.

Томчиларнинг характеристик тезликларини ушбу формулалардан аниқлаймиз;

$$\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 = \left(\frac{3}{4}\right)^2 = 0,562; \quad 1 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 = 1 - \left(\frac{2}{3}\right)^2 = 0,556;$$

$$\left(\frac{D_c + D_p}{D}\right) \cdot \left[\left(\frac{D_c - D_p}{D}\right)^2 + \left(\frac{h}{D}\right)^2\right]^{0,6} = \left(\frac{3}{4} + \frac{2}{3}\right) \cdot \left[\left(\frac{3}{4} - \frac{2}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2\right]^{0,6} = 0,485$$

Демак, $\alpha = 0,485$ ва томчиларнинг характеристик тезликлари қуйидагига тенг бўлади:

$$w_{xap} = \alpha \cdot w_o = 0,485 \cdot 5,73 = 2,78 \text{ см/с}$$

Билқиллаб қолиш давридаги фазаларнинг соҳта умумий тезлиги ушбу формуладан топилади:

$$\begin{aligned} (w_c + w_{II})_6 &= (1 - 4 \cdot \Phi_6 + 7 \cdot \Phi_6^2 - 4 \cdot \Phi_6^3) \cdot w_{xap} = \\ &= (1 - 4 \cdot 0,382 + 7 \cdot 0,382^2 - 4 \cdot 0,382^3) \cdot 2,78 = 0,756 \text{ см/с} \end{aligned}$$

Колоннанинг диаметри ва ички ускуналарининг ўлчамлари.

Ушбу шарт-шароитда колоннанинг рухсат этилган минимал диаметри қуйидаги қийматга тенг:

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot (V_{II} + V_c)}{\pi \cdot (w_{II} + w_c)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,001389 + 0,002778)}{3,14 \cdot 0,00756}} = 0,84 \text{ м}$$

Колоннанинг ички диаметрини 1 м га тенг деб оламиз. Бундай колоннада фазаларнинг соҳта тезликлари:

$$w_y = w_{II} = 0,354 \text{ см/с}; \quad w_x = w_c = 0,177 \text{ см/с} \quad \text{га тенгдир.}$$

Фазалар тезликларининг йиғиндиси уларнинг билқиллаб қолиш давридаги умумий тезликнинг 69% ни ташкил қилади.

Экстрактор ички ускуналарининг асосий ўлчамлари:

$$D_p = D \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right) = 1 \cdot \frac{2}{3} = 0,667 \text{ м};$$

$$D_c = D \cdot \left(\frac{D_c}{D}\right) = 1 \cdot \frac{3}{4} = 0,75 \text{ м};$$

$$h = D \cdot \left(\frac{h}{D}\right) = 1 \cdot \frac{1}{3} = 0,333 \text{ м};$$

Айланиш частотаси

$$n = \frac{n \cdot D_p}{D_p} = \frac{0,2}{0,667} = 0,3 \text{ с}^{-1}$$

Фазалар тўқнашиш жойининг солиштирма юзаси.

Фазаларнинг сохта тезликларининг ва характеристик тезликлар қийматларини қуйидаги тенгламага

$$\Phi^3 - 2 \cdot \Phi^2 - \left(1 + \frac{w_d}{w_{om}} - \frac{w_c}{w_{om}}\right) \cdot \Phi - \frac{w_d}{w_{хар}}$$

қўйиб, кубик тенгламани оламиз:

$$\Phi^3 - 2 \cdot \Phi + 1,06 \cdot \Phi - 0,127 = 0$$

Ушбу тенгламани ечиб, ушлаб қолиш қобилияти $\Phi = 0,169$ эканлигини топамиз. Унда, фазаларнинг солиштирма тўқнашиш юзаси

$$a = \frac{6 \cdot \Phi}{d} = \frac{6 \cdot 0,169}{2,03 \cdot 10^3} = 500 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$$

Колоннанинг ишчи зонасининг баландлиги.

Дисперсион E_c ва дисперс E_d фазаларнинг бўйлама аралашуш коэффициентлари қуйидаги эмпирик тенгламалардан топиш мумкин:

$$\begin{aligned} E_x = E_c &= 0,5 \cdot \frac{w_c \cdot h}{1 - \Phi} + 0,09 \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2\right] \cdot n D_p \cdot h = \\ &= 0,5 \cdot \frac{0,177 \cdot 10^{-2} \cdot 0,333}{1 - 0,169} + 0,09 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{3}{4}\right)^2 - \left(\frac{2}{3}\right)^2\right] \cdot 0,2 \cdot 0,333 = 6,59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_y = E_d &= 0,5 \cdot \frac{w_d \cdot h}{\Phi} + 0,09 \cdot \left(\frac{D_p}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_c}{D}\right)^2 - \left(\frac{D_p}{D}\right)^2\right] \cdot n D_p \cdot h = \\ &= 0,5 \cdot \frac{0,354 \cdot 10^{-2} \cdot 0,333}{0,169} + 0,09 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{3}{4}\right)^2 - \left(\frac{2}{3}\right)^2\right] \cdot 0,2 \cdot 0,333 = 38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с} \end{aligned}$$

Масса бериш коэффициентини аниқлаш учун Рейнольдс критерийси ва томчиларнинг нисбий тезликларини топиш керак:

$$w_{нuc} = \frac{w_d}{\Phi} + \frac{w_c}{1 - \Phi} = \frac{0,177}{0,169} + \frac{0,354}{1 - 0,169} = 2,3 \text{ см} / \text{с}$$

$$Re = \frac{\rho_c \cdot w_{\text{нис}} \cdot d}{\mu_c} = \frac{997 \cdot 0,023 \cdot 2,03 \cdot 10^{-3}}{0,894 \cdot 10^{-3}} = 52,2$$

Юқорида келтирилган параметр T эса қуйидагига тенг бўлади:

$$T = \frac{4 \cdot 123 \cdot 9,81 \cdot (2,03 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 40,4}{3 \cdot 0,0341} = 7,85$$

Экстрактордаги секциялар сони $N = 20$ деб олинган. Экстракторнинг баландлигини биринчи тахминда

$$H = N \cdot h$$

деб қабул қиламиз. Унда унинг баландлиги

$$H = 20 \cdot 0,333 = 6,66 \text{ м}$$

га тенг бўлади.

Масса бериш коэффиценти қуйидагича ҳисобланади:

$$Nu'_c = 0,6 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,5} = 0,6 \cdot 52,5^{0,5} \cdot 854^{0,5} = 127$$

$$\beta_x = \beta_c = Nu'_c \cdot \frac{D_c}{D} = 127 \cdot \frac{1,05 \cdot 10^{-9}}{2,03 \cdot 10^{-3}} = 0,657 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

$$\tau = \frac{\Phi \cdot H}{w_d} = \frac{0,169 \cdot 6,66}{0,00354} = 318 \text{ с}$$

$$Fo_d^i = \frac{4 \cdot D_d \tau}{d^2} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 318}{(2,03 \cdot 10^{-3})^2} = 0,617$$

$$Nu_d^i = 31,4 \cdot (Fo_d^i)^{-0,34} \cdot (Pr_d^i)^{-0,125} \cdot We^{0,37} = \\ = 31,4 \cdot 0,617^{-0,34} \cdot 343^{-0,125} \cdot 0,0314^{0,37} = 4,96$$

бу ерда

$$Pr_c^i = \frac{\mu_c}{\rho_c \cdot D_c} = \frac{0,894 \cdot 10^{-3}}{997 \cdot 1,05 \cdot 10^{-9}} = 854$$

$$Pr_d^i = \frac{\mu_d}{\rho_d \cdot D_d} = \frac{0,6 \cdot 10^{-3}}{874 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = 343$$

$$\beta_y = \beta_o = Nu_o' \cdot \frac{D_o}{d} = 4,96 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2,03 \cdot 10^{-3}} = 0,0488 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

Идеал сиқиб чиқариш режимига тўғри келадиган сув фазасида масса ўтказиш коэффициенти ва ўтказиш бирлиги баландлигини ҳисоблаймиз:

$$K_x = \left(\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{m \cdot \beta_y} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{0,657 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{2,22 \cdot 0,0488 \cdot 10^{-4}} \right)^{-1} = 0,93 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$$

$$H_{ox} = \frac{w_x}{K_x \cdot a} = \frac{0,00177}{0,93 \cdot 10^{-5} \cdot 500} = 0,381 \text{ м}$$

Ушбу жараёнда фазаларнинг сарфлари умуман ўзгармайди ва фазалар орасидаги мувозанат тўғри чиқиқли боғлиқлик билан ифодаланади. Шунинг учун ўтказиш сонининг бирликларини ҳисоблашда ушбу формуладан фойдаланамиз:

$$n_{ox} = \frac{m \cdot V_y / V_x}{m \cdot V_y / V_x - 1} \cdot \ln \frac{m \cdot c_{x6} + m_o - c_{yox}}{m \cdot c_{x6} + m_o - c_{yox}}$$

ҳисобланаётган жараён учун $\frac{m \cdot V_y}{V_x} = 2,22 \cdot 2 = 4,44 \quad m_o = 0.$

Демак,

$$n_{ox} = \frac{4,44}{4,44 - 1} \cdot \ln \frac{2,22 \cdot 0,3 - 0,1555}{2,22 \cdot 0,009 - 0,01} = 5,08$$

Шундай қилиб, идеал сиқиб чиқариш режимида иккала фаза бўйича колоннанинг ишчи баландлиги

$$H = n_{ox} \cdot H_{ox} = 5,08 \cdot 0,381 = 1,93 \text{ м}$$

Бўйлама аралаштишни ҳисобга олган ҳолда колоннанинг баландлигини аниқлаш учун мавҳум ўтказиш сони бирлигини кетма — кет яқинлаштиш усулидан фойдаланамиз. Бунинг учун аввал Пекле критерийсини иккала фазалар учун топамиз:

$$Pe_y = \frac{w_y H}{E_y} = \frac{0,00354 \cdot 6,66}{38 \cdot 10^{-4}} = 6,2$$

$$Pe_x = \frac{w_x H}{E_x} = \frac{0,00177 \cdot 6,66}{6,69 \cdot 10^{-4}} = 17,6$$

Биринчи яқинлашувда f_y ва f_x коэффициентлар қийматларини аниқлаймиз:

$$f_y = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_y)]^{-1}}{Pe_y} \right\}^{-1} = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-6,2)]^{-1}}{6,2} \right\}^{-1} = 1,192$$

$$f_x = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_x)]^{-1}}{Pe_x} \right\}^{-1} = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-17,6)]^{-1}}{17,6} \right\}^{-1} = 1,06$$

Олинган натижалар ушбу формулага қўйилади

$$H'_{ox} = H_{ox} + \frac{E_d}{w_x \cdot f_x} + \left(\frac{V_x}{m \cdot V_y} \right) \cdot \left(\frac{E_y}{w_y \cdot f_y} \right) = 0,381 + \frac{660 \cdot 10^3}{0,00177106} + 0,2252 \cdot \frac{38 \cdot 10^4}{0,003541192} = 0,941 \text{ м}$$

бу ерда

$$\frac{V_x}{m \cdot V_y} = \frac{1}{2,22 \cdot 2} = 0,2252$$

$H'_{ox} = 0,941 \text{ м}$ қийматга колоннанинг

$$H = H'_{ox} \cdot n_{ox} = 0,941 \cdot 5,08 = 4,78 \text{ м}$$

баландлиги тўғри келади. Ҳисоблаш натижасида олинган H ва H'_{ox} лар ёрдамида Пекле критерийси, f_y ва f_x коэффициентларнинг аниқроқ қийматларини топамиз:

$$Pe_y = \frac{0,00354 \cdot 4,78}{38 \cdot 10^{-4}} = 4,45$$

$$Pe_x = \frac{0,00177 \cdot 4,78}{6,69 \cdot 10^{-4}} = 12,6$$

$$f_y = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_y)]^{-1}}{Pe_y} \right\}^{-1} - \left(1 - \frac{V_x}{m \cdot V_y} \right) \cdot \frac{F_y}{w_y \cdot H'_{ox}} =$$

$$= \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-4,45)]^{-1}}{4,45} \right\}^{-1} - (1 - 0,2252) \cdot \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0,00354 \cdot 0,941} = 0,401$$

$$f_x = \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-Pe_x)]^{-1}}{Pe_x} \right\}^{-1} + \left(1 - \frac{V_x}{m \cdot V_y} \right) \cdot \frac{F_x}{w_x \cdot H'_{ox}} =$$

$$= \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(-12,6)]^{-1}}{12,6} \right\}^{-1} + (1 - 0,2252) \cdot \frac{6,69 \cdot 10^{-4}}{0,00177 \cdot 0,941} = 1,4$$

Иккинчи кетма-кет яқинлашувда зоҳирий ўтказиш сонининг бирлиги қуйидаги қийматга тенг бўлади:

$$H'_{ox} = 0,381 + \frac{6,69 \cdot 10^{-4}}{0,00177 \cdot 1,4} + 0,2252 \cdot \frac{38 \cdot 10^{-4}}{0,00354 \cdot 0,401} = 1,25 \text{ м}$$

$H'_{ox} = 1,25 \text{ м}$ қийматида колоннанинг зарур баландлиги $H = 1,25 \cdot 5,08 = 6,35 \text{ м}$ га тенгдир.

H'_{ox} ва H ларни ҳисоблашни бир неча марта ушбу параметрларнинг охириги икки итерациясининг сон қийматлари тенг бўлгунча ўтказамиз ва

$$H'_{ox} = 1,15 \text{ м}; \quad H = 5,84 \text{ м}$$

эканлигини аниқлаймиз.

Дисклар орасидаги масофа 0,33 деб қабул қилганимиз учун $H = 5,84$ м ли колонна дискларининг сони

$$\frac{5,84}{0,333} = 17,5 \text{ та}$$

Дисклар сонини 18 та десак, ишчи зонанинг баландлиги қуйидаги қийматга тенг бўлади.

$$H = 18 \cdot 0,333 = 6 \text{ м}$$

Миқдори 20 га тенг деб олинган эди. Агарда қуйидаги тенгламага:

$$d = 16,7 \cdot \frac{\mu_c^{0,3} \cdot \sigma^{0,5}}{(n \cdot D_p)^{0,9} \rho_c^{0,8} \cdot g^{0,2} N^{0,23}}$$

$N = 11$ қўйсақ, томчиларнинг ўртача ўлчами $d = 2,08$ мм лигини биламиз ва бу ўлчам $N = 20$ даги d қийматидан 25% га фарқ қилади. Томчиларнинг ўлчами ва экстракторнинг қолган бошқа гидродинамик параметрларини қайтадан ҳисоблашга ўрин йўқ, чунки бундай четга чиқиш юқорида келтирилган тенгламанинг аниқлик доирасида жойлашган. Колоннанинг баландлигига боғлиқ бўлган дисперс юзадаги модда бериш коэффиценти ҳам мутлақо ўзгармайди. Агар ҳисоблаш натижасида экстракторнинг баландлиги бошида олинган қийматдан фарқ қилганда, ҳамма ҳисоблашни такрорлашга тўғри келар эди. Томчининг ўртача ўлчами аниқлашдан тортиб экстрактордаги колонна баландлигини ҳисоблаш натижалари шуни кўрсатадики, бўйлама аралаштиришнинг салмоғи анча катта. Бўйлама аралаштириш юқорилиги сабабли керакли ишчи зонасининг баландлиги 3 марта ортади.

Рейнольдс критерийсининг катта қийматлари ($Re > 10^5$) учун айлана-ётган дискни қувват критерийси таҳминан $K_N = 0,03$. Бизнинг мисол учун

$$Re_c = \frac{\rho_m \cdot \pi \cdot d_p^2}{\mu_m} = \frac{997 \cdot 0,3 \cdot 0,667^2}{0,894 \cdot 10^{-3}} = 149000$$

Аралаштириладиган муҳитнинг ўртача зичлиги

$$\rho = \Phi \cdot \rho_d + (1 - \Phi) \cdot \rho_m = 0,169 \cdot 874 + (1 - 0,169) \cdot 997 = 976 \text{ кг / м}^3$$

Битта диск ёрдамида аралаштириш учун керакли энергия сарфи қуйидагига тенг бўлади:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D_p^5 = 0,03 \cdot 976 \cdot 0,3^3 \cdot 0,667^5 = 0,1 \text{ Вт}$$

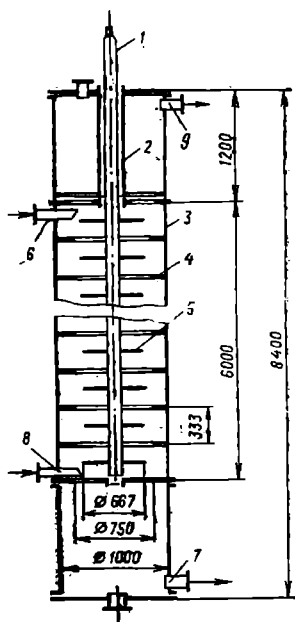
Кўриниб турибдики, аралаштириш учун қувват сарфи кўп эмас ва ҳамма дисклар учун 2 Вт ни ташкил этади. Демак, электр юриткич қувватини механик ҳисоблар асосида танлаш керак. Унинг қуввати ишқаланиш кучлари ва ишга тушириш пайтидаги қаршилиқни енгиш учун етарли бўлиши зарур.

Чўктириш зоналарининг ўлчамлари

Одатда ротор-дискли экстракторларда ишчи ва чўктириш зоналарининг баландликлари бир хил бўлади. Агарда, ушбу формула орқали бензол томчилари коаленценция бўлиши учун зарур вақти

$$\tau_{\text{коал}} = 1,32 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{\mu_m \cdot d}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{H}{d} \right)^{0,18} \cdot \left(\frac{\Delta \rho \cdot g \cdot d^2}{\sigma} \right)^{0,32}$$

ва унинг асосида чўктириш зонасининг ҳажми ҳисобланса, ушбу зонанинг баландлиги тахминан 0,2 м га тенг бўлади. Маълумки бу турдаги экстракторларда чўктириш зонаси ишчи зонасининг давоми бўлиб, унда суюқлик интенсив ҳаракат қилади. Шунинг учун чўктириш зонаси 2 қисмдан иборат бўлгани мақсадга мувофиқдир, яъни чўктириш ва оралиқ турғунлаштирувчи зоналардан. Юқорида айтилганларни ҳисобга олсак, чўктириш зонасининг тўлиқ баландлиги 1,2 м га тенг бўлади.



5.62-рasm. Ротор-дискли экстрактор.

5.62-рasmда ротор-дискли экстракторнинг технологик ҳисоблар асосида олинган ўлчамлари келтирилган. Ушбу мисолда ротор-дискли экстрактор ҳисоби $n \cdot D_p = 0,2$ м/с бўлган шарт-шароит учун бажарилган. Аммо ротор-дискли экстракторларни лойиҳалашда ҳисоблар $n \cdot D_p$ кўпайтманинг турли қийматлари учун бажарилиши керак ва олинган натижалардан оптимал варнианти танланиши зарур.

5.26. Умумий тушунчалар

Говаксимон қаттиқ жисм таркибидан бир ёки бир неча компонентларни ажратиб олиш жараёни **экстракциялаш** деб аталади.

Қаттиқ жисмдан бир ёки бир неча компонентни селективлик қобилиятига эга бўлган эритувчи ёрдамида ажратиб олиш жараёни **эритиш** деб номланади. Ушбу жараён экстракциялаш жараёнининг хусусий ҳолидир.

Кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларда жуда кўп капиляр-говакли жисмлар эритиш жараёни ёрдамида қайта ишланади. Экстракциялаш ишқор, кислота, тузлар, қанд, ўсимлик мойлар, шарбатлар, витаминлар, турли дорилар, рангли ва нодир металллар ва ҳоказоларни олишда ишлатилади. Экстракциялаш жараёнида керакли компонент қаттиқ фазадан диффузия йўли орқали суюқлик фазага ўтади. Бунинг учун шу компонентни эритадиган тегишли эритувчи танлаб олиниши керак. Шунинг алоҳида таъкидлаш керакки, экстракциялаш ва эритиш жараёнлари «қаттиқ жисм - суюқлик» системасида олиб борилади. Экстракциялаш 2 босқичда ўтади:

1) компонентнинг қаттиқ жисмлар ички қисмидан ташқи юзасига диффузия йўли билан ўтиши;

2) компонентнинг диффузия жараёни туфайли қаттиқ жисм юзасидан чегаравий қатлам орқали суюқлик фазага ўтиши. Бу жараён нотурғун бўлиб, вақт бўйича ўзгаради.

Эритиш жараёнининг тезлиги фақат иккинчи босқичнинг қаршилигига боғлиқ, чунки биринчи босқичда қаршилиқ умуман бўлмайди. Шунинг учун, эритиш жараёни экстракциялашга қараганда анча тез боради.

Саноат технологик жараёнларида эритувчилар сифатида қуйидаги суюқликлар ишлатилади: сув - қанд лавлагидан шакарни, ҳамда кофе, чойни экстракциялаш учун; спирт ва спирт-сувли аралашмалар ликер - ароқ дамламаси ва пиво алкоғолсиз ичимликлар ишлаб чиқариш саноатида; бензин, трихлорэтан, дихлорэтан ёғ ва эфир мойларини ишлаб чиқаришда. Ундан ташқари, сув ва айрим ноорганик кислоталарнинг эритмалари ҳам, эритувчи сифатида ишлатилади. Бундай жараёнлар **ишқорланиш** деб номланади. Ишқорланиш минерал хом ашёларни кимёвий қайта ишлаш йўли билан қимматбаҳо компонентларни олиш учун қўлланилади.

Эритиш жараёни технологик схемаларида филтрлаш, буғлатиш ва кристаллаш каби жараёнлардан аввал ишлатилади ва у биринчи босқич бўлиб ҳисобланади.

5.27. Эритиш жараёни статикаси ва кинетикаси

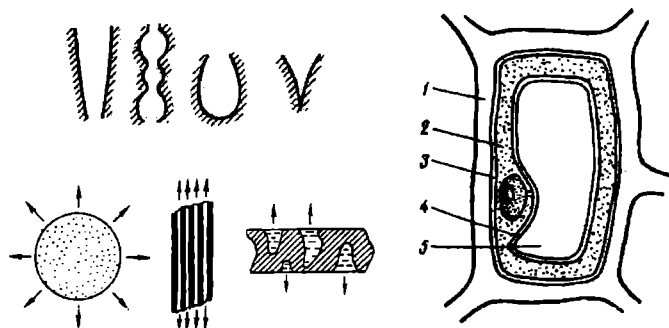
Жараённинг механизми шундаки, эритувчи қаттиқ жисм говакларига кириб боради ва ажратилиши керак бўлган моддани эритади.

Эритилган модданинг кимёвий потенциали ва унинг қаттиқ жисмдаги кимёвий потенциалига тенглашганда эриш жараёни мувозанат ҳолига келади. Тўйиниш ҳолатига оид эритманинг концентрацияси **эрувчанлик** деб аталади.

Қаттиқ жисмнинг ташқи юзасидаги мувозанат қисқа вақт ичида ўрнатилади. Шунинг учун, масса алмашиниш жараёнларни таҳлил қилишда, "қаттиқ жисм - эритувчи" системасининг фазалараро юзасидаги концентрацияси тўйинган эритма концентрацияси **умий** га тенг деб қабул қилинади.

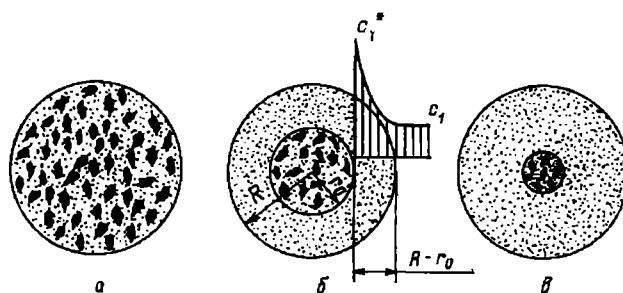
Эритиш жараёни кинетикасининг асосий масаласи фазаларнинг ўзаро тўқнашиш вақтини аниқлашдир. Фазалар тўқнашиш вақти маълум бўлгандан сўнг, экстракторларнинг асосий ўлчамлари ҳисобланади.

Эритиш жараёнида масса алмашилишига қаттиқ жисмнинг ички тузилиши: капилляр шакли ва ўлчами (5.63б-расм), заррачалар кимёвий таркибига катта таъсир кўрсатади (5.63а-расм). Қаттиқ жисмнинг ички тузилиши масса ўтказиш тезлигига ҳам катта таъсир этади.



5.63-расм. Ғоваксимон қаттиқ жисм тузилиши (а), коваклар тури (б) ва ўсимлик ҳужайраси (в).
1 — ҳужайра қобиғи; 2 — протоплазмалар;
3,4 — ўтказувчан мембраналар;
5 — вакуоль.

Қаттиқ ғоваксимон заррачалар ўзида мақсадли, керак компонентни қаттиқ ҳолатида сақлайди. Мақсадли компонентнинг заррача ҳажмида тақсимланиши турли вариантларда бўлиши мумкин. Кўпчилик ҳолларда, ғоваксимон жисм ҳажмида ажратиб олинadиган компонент бир текисда тақсимланган бўлади. Экстракция жараёнида мақсадли компонентнинг ҳажми систематик равишда камайиб боради (5.64-расм).



5.64-расм. Қаттиқ ғоваксимон жисмнинг экстракция жараёнида тузилишининг ўзгариши.

Мақсадли компонент ажратиб олинган ҳажм ($R-r_0$) да, шу компонент экстрагентда эриган ҳолда бўлади. Вақт ўтиши билан ушбу ҳажм улуши ортиб боради.

Эритиш жараёни мураккаб жараён бўлиб, эритувчини қаттиқ жисм ковакларига диффузияси, ажратиб олинаётган моддаларни эритиш, қаттиқ жисм капиллярлари орқали фазаларни ажратувчи юзага экстракцияланаётган модда-

нинг диффузияси ва фазаларни ажратувчи юзадан экстрагент оқими ядросига массанинг ўтиши каби босқичлардан иборат.

Жараённинг қайд этилган 4 босқичдан охириг иккитаси масса алмашилишнинг умумий тезлигини чегаралайди. Чунки, биринчи ва иккинчи босқичларнинг масса алмашилиш тезлиги, охириг иккитасиникига қараганда анча юқоридир.

Шундай қилиб, масса алмашилиш жараёнининг умумий диффузия қаршилиги, қаттиқ жисм ва эритувчиларнинг ички диффузион қаршиликлари йиғиндисидан иборат.

Капилляр - ғовак жисм ичидан модданинг диффузия тезлиги ушбу тенглама билан ифодаланади:

$$i = - \frac{dM}{F d\tau}$$

Фазаларни ажратувчи юзадан оқим ядросига масса бериш тезлиги (5.17) тенглама ёрдамида аниқланади.

Масса ўтказувчанлик ва бериш тезликлари орасидаги нисбатни баҳолаш учун Био критерийсидан фойдаланилади:

$$Bi = \frac{\beta \cdot l}{D}$$

Айниқса, капилляр - ғовак жисмларда масса ўтказувчанлик тезлиги жуда кичик бўлади.

5.63в-расмда ўсимлик ҳужайрасининг тузилиши кўрсатилган.

Масса ўтказувчанлик коэффициенти қаттиқ жисмнинг ички тузилишига, экстрагентнинг физик хоссалари, экстракцияланаётган модданинг концентрацияси ва жараён температурасига боғлиқ. Масса ўтказувчанлик коэффициенти юқорида қайд этилган омилларга боғлиқлиги тажрибавий усулда топилади.

Асосий диффузион қаршилик суюқлик фазада мужассам бўлган ҳолларда, жараённи ифодалаш учун (5.17) тенгламалардан фойдаланиш мумкин.

Эритиш жараёнини ҳаракатга келтирувчи куч бўлиб, қаттиқ жисм юзасидаги экстракцияланувчи модда концентрацияси $y_ч = y_{myi}$ ва унинг экстрагентдаги ўртача концентрацияси y_{yp} ларнинг фарқи ҳисобланади.

Ушбу ҳолатда жараённинг тезлиги қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\frac{dM}{F d\tau} = \beta_y (y_{myi} - y_{yp}) \quad (5.154)$$

бу ерда β_y - суюқлик фазадаги масса бериш коэффициенти.

Қалинлиги δ бўлган чегаравий қатламдаги молекуляр диффузия тезлиги Фикнинг I-қонуни ёрдамида топилади:

$$\frac{dM}{F d\tau} = D \frac{(y_{myi} - y_{yp})}{\delta} \quad (5.155)$$

бу ерда D - молекуляр диффузия коэффициенти.

Қаттиқ жисмни эритиш жараёни учун проф. А.Н. Шукарев томонидан ушбу формула келтириб чиқарилган:

$$\frac{M}{\tau} = \left(\frac{D}{\delta} \right) F_{yp} (y_{myi} - y_{yp}) = \beta_y \cdot F_{yp} (y_{myi} - y_{yp}) \quad (5.156)$$

бу ерда $\beta_y = D/\delta$ Тажрибавий усул билан $\delta \approx D^{0,33}$ эканлиги аниқланган.

(5.154) тенгламадан β_y масса бериш коэффиценти $D^{0,66}$ га пропорционаллиги кўриниб турибди. Юқорида келтирилган тенгламаларни инобатга олган ҳолда ва тажриба натижаларини умумлаштириш натижасида, ишқорлаб ажратиш жараёнида масса бериш коэффиценти β_y ни ушбу тенглама ёрдамида топиш мумкин:

$$Nu_d = 0,8 Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \quad (5.157)$$

бу ерда $Nu_d = \beta_y d/D$ - Нуссельт критерийси (d - қаттиқ заррача диаметри); $Re = wd\rho/\mu$ Рейнольдс критерийси (w - экстрагент тезлиги; μ - экстрагент динамик қовушқоқлиги); $Pr = \nu/D$ - Прандтл критерийси.

(5.156) тенгламадан кўриниб турибдики, агар чегаравий қатлам қалинлиги δ камайса, коэффицент β нинг қиймати ортади. Чегаравий қатлам назариясидан маълумки, Рейнольдс сони ортиши, яъни қаттиқ зарраларга нисбатан экстрагент ҳаракат тезлиги кўпайиши билан диффузион қатлам қалинлиги камаяди.

Демак, самарадор гидродинамик шароит яратиб, ишқорлаб ажратиш жараёнини интенсивлаш мумкин. Ундан ташқари, қаттиқ материални майдалаш ҳам жараённи жадаллашишига олиб келади.

Маълумки, қаттиқ жисмларни майдалаш, масса алмашиниш юзасининг ортишига ва материал ичидан капиллярлар орқали экстракцияланаётган компонентнинг диффузия йўли капайишига олиб келади. Температура ортиши билан масса ўтказувчанлик коэффиценти кўпайганлиги учун ишқорлаб ажратиш жараёни экстрагентнинг қайнаш температурасига яқин температураларда ташкил этилади. Бундай ҳолатда эритманинг тўйиниш концентрацияси y_{myi} ортади, бу эса ўз навбатида эритиш ва ишқорлаб ажратиш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи кучининг кўпайишига сабабчи бўлади.

Амалий жиҳатдан жараёнларни интенсивлаш учун экстрактордаги гидродинамик ҳолатни яхшилаш зарур. Масалан, мавҳум қайнаш қатламда қайта ишлаш, пульсация ёки вибрация таъсир эттириш йўллари билан экстракторларда юқорида қайд этилган жараёнлар самарасини кўтариш мумкин. Ундан ташқари, паст частотали тебранишлар ҳам, экстракторларда кечадиган масса алмашиниш жараёнини тезлаштиради.

5.28. Ишқорлаб ажратиш экстракторларининг конструкциялари

Экстракция, эритиш ва ишқорлаб ажратиш учун даврий ва узлуксиз ишлайдиган экстракторлар қўлланилади. Курилмадаги фазалар ҳаракатига қараб параллел, қарама - қарши ва мураккаб йўналишли бўлиши мумкин.

Суюқлик фазасининг қаттиқ материални ювиб ўтиш ҳаракатига қараб ўзгармас, механик аралаштиргичи бўлган ва мавҳум қайнаш қатламли экстракторлар бўлади.

Экстракторларни танлашда қаттиқ фаза физик-механик хоссалари ва ажраб чиқадиган экстракт концентрацияси ёки тайёр маҳсулот чиқиши ҳисобга олинади.

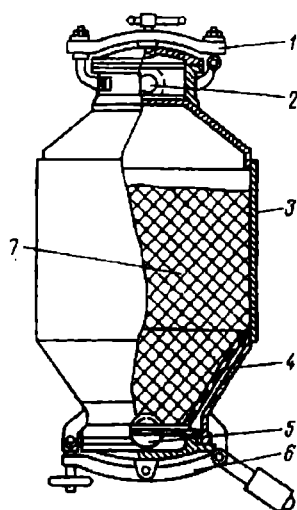
Маълумки, даврий ишлайдиган қурилмалар иш унумдорлиги кам бўлади. Шунинг учун, улар кичик ҳажмли корхоналарда қўлланилади. Лекин, саноат миқёсида кўпинча узлуксиз ишлайдиган қурилмалар ишлатилади. Экстрактор ва эриткич бир-биридан катта фарқланмайди. Агар, қурилма қаттиқ, ғоваксимон жисмни экстракциялаш учун қўлланилса **экстрактор** деб номланади. Агар, қурилма қаттиқ ғоваксимон материални эритиш учун ишлатилса, унда у **эриткич** деб аталади.

Экстрактор ва эриткичларга қўйиладиган талаблар қуйидагилардан иборат:

қурилма ҳажми бирлигига тўғри келган экстрактнинг миқдори, яъни солиштирма иш унумдорлиги катта бўлиши зарур;

- ҳосил бўлаётган эритма концентрацияси иложи борича юқори бўлиши керак;

- энергия сарфи кам бўлиши зарур.



5.65-рasm. Перколятор.

1-қопқоқ; 2,5-эритувчи учун штуцерлар; 3-қобик; 4-тешикли панжара; 6-кўтарма люк; 7-материал.

Перколятор бу даврий ишлайдиган, қўзғалмас қатламли экстрактор (5.65-рasm). У конуссимон тубли ва ясси қопқоқли цилиндрлик қурилма бўлиб, тубида тешикли панжара ўрнатилган. Ушбу панжарага тепа люкдан майдаланган қаттиқ материал қатлами юкланади.

Ишқорлаб ажратиш жараёни тугагандан сўнг, материал пастки кўтарма люкдан чиқариб юборилади.

Перколяторлар кетма-кет улашиб батареялар ҳосил қилинади. Батареяга уландиган перколяторлар сони 4 та дан 15 та гача бўлиши мумкин. Эритувчи перколяторнинг паст қисмидан юқорига насос ёрдамида ҳайдалади. Батареяларда оқимлар йўналиши ҳар доим қарама-қарши бўлади. Исталган перколяторда ажратиш даражаси белгиланган даражага етиши билан ишлатиб бўлинган материални тўкиш учун батарея ўчирилади ва янги хом-ашё

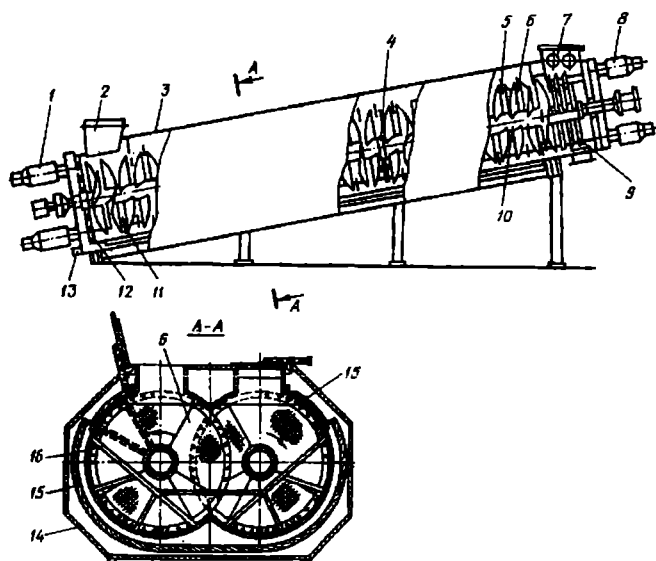
юкланади. Одатда, қурилмадан материал босим остида тўкилади.

Узлуксиз ишлайдиган диффузион қурилмалар кимё, тоғ кон, озиқ овқат ва бошқа саноатларда жуда кўп ишлатилади. Айниқса, қанд лавлагидан шакар олишда ва унинг турпини чиқариб ташлашда бу турдаги қурилмалар жуда самарали қўлланилмоқда.

Икки шнекли, оғма диффузион қурилма одатда $8...11^\circ$ бурчак остида ишлатилади. Қурилманинг тепа қисмида қанд лавлаги қириндиларини юклаш учун бункер ва ҳосил бўлаётган турпини (жомни) чиқариш учун шнеклар ўрнатилган (5.66-рasm).

Қурилма ичида қанд лавлаги қириндиси иккита шнек ёрдамида пастдан тепага қараб узатилади. Винт чизиги бўйлаб жойланган парраклар тизими

шнекларни ҳосил қилади. Биринчи шнекнинг парраклари, иккинчи шнекнинг парраклараро бўшлиғига кириб туради. Шнекларнинг бундай жойлашиши қириндини бир текисда узатиш ва қириндини паррак билан бирга айланишига тўсқинлик қилади. Бунинг учун қурилмада контрпарраклар ва қопқоқнинг пастки қисмида тўсиқлар ўрнатилган.



5.66-расм. Икки шнекли, оғма диффузион қурилма.

- 1, 8 - электр юриткичлар; 2 - юкловчи бункер;
3 - қопқоқ; 4 - таянч; 5 - тўсиқ; 6, 9 парраклар;
7 - тўкиш шнеки; 10 - шнек; 11 - иситувчи камера;
12 - элак; 13 - диффузион шарбатни чиқариш штуцери;
14 - қобурга; 15 - қоплама; 16 - контрпаррак.

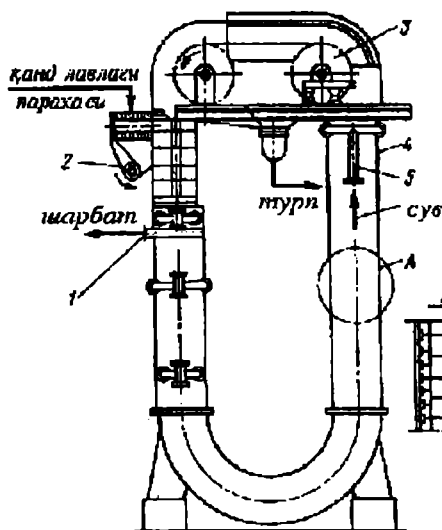
Лавлаги турпи қурилманинг тепа қисмидаги шнеклар ёрдамида чиқарилади. Турпни самарали тўкиш учун парраклар ҳам ёрдам беради. Тўкиш шнеклари узатиш шнекларига нисбатан тўтри бурчак остида ўрнатилган ва уларга қарама - қарши йўналишда айланади. Экстракцияланаётган материални иситиш учун қурилманинг остки қисмида иситувчи камера ўрнатилган.

Икки поғонали диффузион қурилма U симон, тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли қобиқдан иборат бўлади. Ушбу қобиқ махсус таянчлари билан оғир пойдеворга ўрнатилади.

Қурилма қобиғи айрим царгалардан таркиб топган бўлиб, қаттиқлик қобурғалари билан мустаҳкамланади. Экстракторда материал узатувчи ромчалар ўрнатилган пластмасса занжирлар ёрдамида узатилади. Ушбу занжир электр юриткичга уланган узатма ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Ромчаларни вертикал ҳолатда материалдан тўлиқ тозалаш учун зарба типдаги тозалагич ўрнатилган.

Хом - ашё қурилмага панжарасимон конвейер ва ротацион улоқтиргич ёрдамида юкланади. Иситилган шарбат қурилмага соплолар ёрдамида пуркалади.

Қурилмадан диффузион шарбат камерада ўрнатилган конуссимон тешикли элак ва патрубклар орқали чиқарилади. Барометрик сув қурилманинг тепа қисмида жойлашган прессланган турп суюқлиги эса, пастки соплалар орқали қурилмага киритилади.

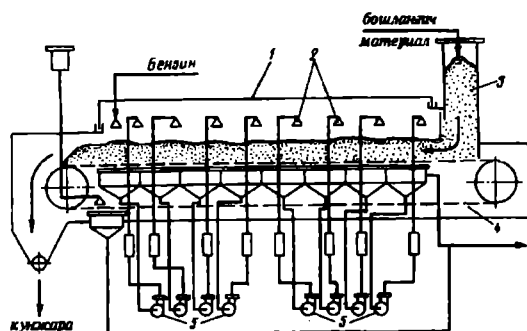


5.67-расм. Икки колоннали диффузион кўрилма.

1,5 - шуцерлар; 2 - ротацион улоқтиргич; 3 - барабан; 4 - қобиқ; 5 - занжир; 6 - ромча.

циялаш жараёнининг тезлиги ҳам камаяди.

Лентали экстракторлар кўпинча таркибида ёғ бор материаллардан (писта, чигит ва ҳ.) ёғни экстракциялаш учун қўлланилади (5.68-расм).



5.68-расм. Лентали экстрактор.

1 - қобик; 2 - соплалар;
3 - юкловчи шахта; 4 - уза-
тувчи транспорт мосламаси;
5 - насослар.

Қанд лавлаги парахаси ромчали занжир ёрдамида қурилма бўйлаб узатилади ва охирида тўкиш штуцерига олиб келинади. Барометрик ва прессланган турп сувлари, қанд лавлаги қириндисига қарама қарши йўналишда, колоннанинг тепа қисмига юборилади. Жараён якунида ҳосил бўлган диффузион шарбат кейинги технологик жараёнга узатиlsa, турп эса пресслашга ёки омборга юборилади. Айрим қурилмаларда қаттиқ материал қовшлар ёрдамида узатилади.

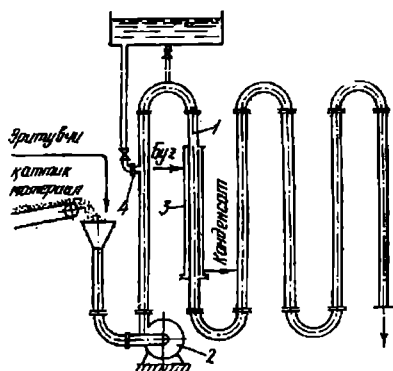
Лекин, материални узатиш учун ромча ёки қовш зағжирли мосламаларни қўллаш, қаттиқ жисмларнинг зичланишига сабабчи бўлади. Маълумки, зичланган материални экстракциялаш анча қийин.

Парракли ва контрпарракли диффузион қурилмаларда қиринди анча майдаланади, бу эса диффузион шарбатнинг фильтрланишини қийинлаштиради. Натижада, экстрак-

Майдаланган қаттиқ фаза (писта) лентада юпқа қатлам ҳолида узатилса, экстрагент бензин ёки гексан эса насослар ёрдамида лентадаги хом ашёга пуркалади. Қаттиқ материал ва экстрагентларнинг ўзаро ҳаракати комбинацияланган, мураккаб бўлиб, яъни ҳар бир бўлимда ўзаро кесишган ва экстракторнинг бутун узунлиги бўйлаб қарама-қарши йўналишда ҳаракатланади. Экстрактор конструкцияси қаттиқ материал ва экстрагентнинг ўзаро яхши тўқнашувини таъминлай олмайди. Шунинг учун, экстракциялаш жараёни жуда кичик тез-

ликда кечади. Демак, хом - ашёдан ёғни тўла ажратиб олиш учун экстракция жараёни бир неча поғонали қурилмада олиб бориш керак.

Мавҳум қайнаш қатламли экстракторлар. Бу турдаги қурилмаларда қаттиқ материал заррачалар юзаси бутун жараён мобайнида турбулент оқим билан ювилиб туради, яъни тўқнашувда бўлади. Натижада экстракциялаш ва эритиш жараёнлари интенсифицирланади.



5.69-расм. Трубали экстрактор.

1 - труба; 2- насос; 3 - буғ қобиғи; 4 - юувчи сув кирадиган штуцер.

боғлиқдир. Қурилмада фазалар қарама бұймаслиғига сабаб, қаттиқ жисмнинг чиқиб кетишидир.

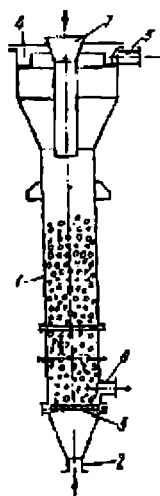
Мавхум қайнаш қатламли экстрактор. Цилиндрсимон колонна 1 га пастки штуцер 2 орқали эритма узлуксиз равишда узатилади. Штуцер 2 орқали киритилган эритма белгиланган тезликда тақсимловчи панжара 3 тешикларидан ўтади ва майдаланган қаттиқ материал қатламини мавхум қайнаш ҳолатига келтиради.

Бошланғич материал қурилманинг юклаш трубаи 7 орқали мавхум қайнаш қатламига узатилади. Одатда, мавхум қайнаш қатлами бир неча метр бўлади. Қурилмадан чиқишда юқори концентрацияли эритма олиш мумкин. Концентрланган эритма ҳалқасимон тарновга тушади ва штуцер 5 орқали ташқарига чиқарилади. Ҳосил бўлаётган қаттиқ қолдиқ тақсимловчи панжара 3 дан озгина юқорида жойлашган штуцер 6 орқали узлуксиз равишда чиқариб турилади.

Бундай экстракторлар тузилиши содда ва кам металл сарфланади. Ундан ташқари, жараён интенсивлиги катта ва қаттиқ жисмдан керакли компонентни ажратиш даражаси юқори.

Трубали экстрактор кетма кет уланган труба 1 лардан иборат бўлиб, улардан қаттиқ, майда заррачали суюқлик насоси 2 ёрдамида ҳайдалади. Маълумки, температура ортиши билан жараён тезлашади. Шунинг учун, трубалар буғ қобиғи 3 билан ўралган. Насос тўсатдан тўхтаб қолган ҳолларда, труба ичидаги қаттиқ қуйқаларни деворга ўтириб қолмаслиги учун ювиб юборилади. Бунинг учун тепада жойлашган идишдан трубаларга сув юборилади.

Ушбу қурилмаларда экстракциялаш жараёнининг интенсивлиги, унда идеал сиқиб чиқариш режими-га яқин шароит яратилиши билан қарши ҳаракат йўналишини қўллаб майда заррачалари суюқлик билан



5.70-расм. Мавхум қайнаш қатламли экстрактор.

1 — колонна; 2 — эритма кириш штуцери; 3 — тақсимловчи тешикли панжара; 4 — ҳалқасимон тарнов; 5 — концентрланган эритма чиқадиган штуцер; 6 — қаттиқ қолдиқни тўкиш штуцери; 7 — қаттиқ материални юклаш трубаи.

5.29. Эриткичларни ҳисоблаш

Охирги йилларда яратилган қаттиқ жисмни экстракциялаш жараёнининг зонали усули, нотурғун масса ўтказувчанлик масаласини ечишга асосланган. Тўғри, геометрик шаклдаги жисмларни экстракциялаш жараёнининг давомийлигини ҳисоблаш учун ушбу формулани қўллаш мумкин:

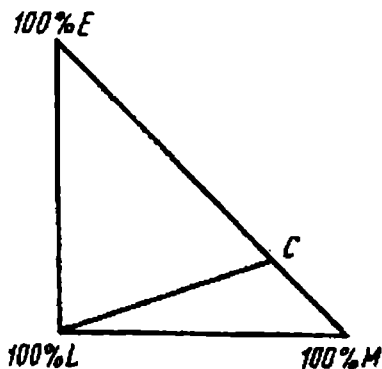
$$\tau_i = \sum_i^n \frac{\ln \prod_1^S \frac{\rho_{j,i}}{E_i}}{k_i \sum_{j=1}^n \frac{\mu_{j,i}}{R_j^2}}$$

бу ерда $\mu_{j,i}$ ва $\beta_{j,i}$ - j йўналишидаги жисм шаклига ва намлик ўзгариши i оралигидаги Bi_m катталикларга боғлиқ коэффициентлар.

Лекин, масса ўтказувчанлик коэффициенти бўйича тажриба маълумотлари етарли бўлмагани учун, ушбу усулнинг амалиётда қўлланилиши маълум қийинчиликларга дуч келмоқда.

Шунинг учун экстракторларни ҳисоблаш усули концентрация ўзгаришида назарий поғоналар сонини аниқлашга асосланган усул кенг қўламда ишлатилади. Ҳисоблаш усулига ф.и.к. нинг киритилиши кўп поғонали қурилмаларнинг ҳақиқий поғоналар сони ёки узунлигини топиш имконини беради.

Назарий поғоналар сонини учбурчакли диаграммадан фойдаланиб график усулда аниқлашни кўриб чиқамиз (5.71-расм).



5.71-расм. "Қаттиқ жисм - суюқлик" системаси учун учбурчакли диаграмма.

Ҳисоблашлар қулай бўлиши учун тенг томонли учбурчак ўрнига диаграммани тўғри бурчакли учбурчак кўринишида чизамиз.

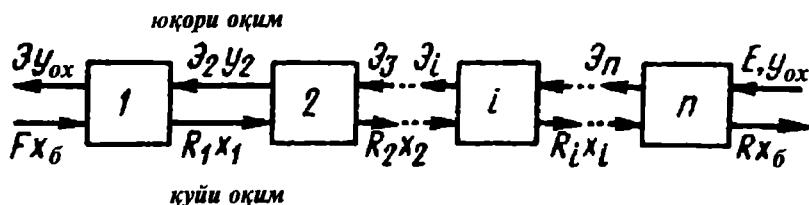
Бошланғич қаттиқ материал эримайдиган L ва эрийдиган M компонентдан таркиб топган бўлсин ва суюқлик экстрагент E ёрдамида ажратиб олинсин. Экстракциялаш натижасида экстрагент E ва унда эриган M моддадан таркиб топган экстракт, ҳамда эримайдиган модда L ва унинг ковакларидида маълум миқдорда экстрагент E да эриган модда M дан таркиб топган рафинат ҳосил бўлади.

Учбурчакнинг ҳар бир томонидаги нуқта L ва M , L ва E , M

ва E компонентлардан иборат икки компонентли аралашмани ифодалайди. Учбурчак ичидаги ҳар бир нуқта уч компонентли системани характерлайди.

Агар, экстрагент E даги M модда тўйинган эритмасининг таркиби гипотенузасидаги C нуқта орқали ифодаланса, унда LC кесма эримайдиган қаттиқ модда L билан M ва E лар эритмаси аралашмасини характерлайди. Ҳосил бўлаётган аралашмалар таркиби ва миқдори, ҳамда экстракт E ва рафинат R лар орасидаги миқдорий нисбатлар ричаг қондасига биноан аниқланади.

Кўп секцияли қурилмада қарама қарши йўналишли экстракциялаш жараёнини учбурчакли диаграммада кўриб чиқамиз.



Экстракциялаш курилмасы **n** поғонадан иборат бўлсин (5.72-расм).

$$F + E = R + \mathfrak{I} \quad (5.158)$$

5.73-расм. Учбурчакли диаграмма.

(5.158) ва (5.159) тенгламаларга биноан $\bar{x}_{ox}$, $\bar{x}_{ap}$ ва $\bar{y}_{ox}$ нуқталар битта чизиқда ётиши керак. Шу билан бирга, экстракт таркибини (M ва E моддалар аралашмаси) ифодаловчи $\bar{y}_{ox}$ нуқта гипотенузада ётади.

Шунинг учун, $\bar{y}_{ox}$ нуқтани $\bar{x}_{ox}$ ва $\bar{y}_{ox}$ нуқталаридан ўтказилган тўғри чизиқнинг гипотенуза билан кесишган жойи сифатида аниқланади.

Бирор j - поғона учун моддий баланс тенгламаси ушбу кўринишига эга:

$$F + \mathcal{E}_{j+1} = R_j + \mathcal{E} \quad (5.160)$$

бундан

$$F - \mathcal{E} = R_j - \mathcal{E}_{j+1} \quad (5.161)$$

Экстракцияланаётган модда бўйича моддий баланс эса:

$$F\bar{x}_6 - \mathcal{E}\bar{y}_{ox} = R_j\bar{x}_j - \mathcal{E}_{j+1}\bar{y}_{j+1} \quad (5.162)$$

Агар, бошланғич қаттиқ аралашма ва экстракт сарфларининг фарқини $F - \mathcal{E} = P$ деб белгиласак, унда:

$$F\bar{x}_6 - \mathcal{E}\bar{y}_{ox} = P\bar{x}_m$$

ёки

$$P = F - \mathcal{E} = R_1 - \mathcal{E}_2 = \dots = R - E \quad (5.163)$$

$$P\bar{x}_m = F\bar{x}_6 - \mathcal{E}\bar{y}_{ox} = F_1\bar{x}_1 - \mathcal{E}_2\bar{y}_2 = \dots = R\bar{x}_{ox} - E\bar{y}_{ox} \quad (5.164)$$

(5.163) ва (5.164) тенгламаларидан кўриниб турибдики, P қутбнинг ҳолати икки тўғри чизиқ, яъни $\bar{x}_6$ ва $\bar{y}_{ox}$ нуқталар, ҳамда $\bar{x}_{ox}$ ва $\bar{y}_6$ нуқталар орқали ўтган чизиқлар кесишишида ҳосил бўлган нуқта билан белгиланади.

Агар, P қутбнинг ҳолати топиб олинса, график усулда концентрация ўзгаришининг назарий поғоналар сонини аниқлаш мумкин. Бунинг учун $\bar{y}_{ox}$ нуқтани координаталар боши (нуқта 0) билан бирлаштирамиз ва $\bar{x}_A = const$ чизиқда кесишиш нуқтаси $\bar{x}_I$ топамиз.

(5.163) ва (5.164) тенгламалардан маълумки,

$$P = R_1 - \mathcal{E}_2$$

$$P\bar{x}_m = R_1\bar{x}_1 - \mathcal{E}_2\bar{y}_2$$

Шунинг учун, $\bar{y}_2$ нуқтани $\bar{x}_m$ ва $\bar{x}_1$ нуқталар орқали ўтказилган тўғри чизиқнинг учбурчак гипотенузаси билан кесишган жойи сифатида топамиз. $\bar{x}_2$ нуқта топиш учун $\bar{y}_2$ нуқтани координаталар боши билан бирлаштириш керак. Ушбу $\bar{x}_2$ нуқта ўтказилган чизиқ ва $\bar{x}_A = const$ чизиқларнинг кесишиш жойида ётади. Худди шундай қуришлар рафинат концентрацияси $\bar{x}_{ox}$ қийматига тен бўлмагунча давом эттирилади. Координаталар бошини $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_{ox}$ нуқталар билан бирлаштирадиган чизиқлар экстракция жараёнининг назарий поғоналар сонини характерлайди.

5.30. Умумий тушунчалар

Газ аралашмалари газ ёки буғларни ёки эритмалардан эриган моддаларни қаттиқ, говаксимон жисм ёрдамида ютиш жараёни **адсорбция** деб номланади. Ютилаётган модда **адсорбтив**, ютувчи модда эса — **адсорбент** деб аталади.

Адсорбция жараёнининг ўзига хослиги шундаки - у селектив ва қайтар жараёндир. Жараённинг қайтар бўлишлиги туфайли адсорбент ёрдамида буғ — газ аралашмаларидан бир ёки бир неча компонентларни ютиш, сўнг эса махсус шароитда уларни адсорбентдан ажратиб олиш мумкин.

Адсорбцияга тескари жараён **десорбция** деб номланади. Адсорбция жараёни халқ хўжалигининг турли соҳаларида кенг тарқалган бўлиб, газларни тозалаш ва қисман қуритиш, эритмаларни тозалаш ва тиндириш, буғ - газ аралашмаларини ажратиш учун ишлатилади.

Кимё саноатида адсорбция қуйидаги ҳолларда: газлар ва эритмаларни тозалаш ва қуритишда, эритмалардан қимматбаҳо моддаларни ажратиб олишда, нефть ва нефть маҳсулотларини тозалашда, нефтни қайта ишлашда ҳосил бўладиган газ аралашмаларидан ароматик углеводородларни (этилен, водород, бензин фракцияларидан ароматик углеводородларни) ажратиб олишда ишлатилади.

Озиқ овқат саноатида эса қанд қиёми ва диффузион шарбатларни тозалашда, пиво ва мевалар шарбатларини тиндириш, вино, коньяк, ароқ ва спиртларни органик ва бошқа бирикмалардан тозалаш, крахмал-патока саноатида қиёмларни тозалашда қўлланилади.

Адсорбция жараёни 2 хил бўлади, яъни физик ва кимёвий адсорбция. Агар, адсорбент ва адсорбтив молекулаларининг ўзаро тортишиши Ван-дер-Ваальс кучлари таъсири остида содир бўлса, бундай жараён **физик адсорбция** деб номланади.

Физик адсорбция жараёнида адсорбент ва адсорбтивлар ўртасида кимёвий ўзаро таъсир бўлмайди.

Адсорбция жараёнида буғларнинг ютилиши пайтида улар конденсацияланади, яъни адсорбент коваклари суyoқлик билап тўлиб қолади. Бошқача қилиб айтганда, адсорбентда капиляр конденсация рўй беради.

Кимёвий адсорбция ёки **хемосорбция** адсорбент ва ютилган модда молекулалари орасида кимёвий боғлар ҳосил бўлиши билан характерланади. Бу албатта кимёвий реакциянинг натижасидир. Ундан ташқари, хемосорбция жараёнида кимёвий реакция туфайли катта миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. Одатда адсорбция жараёнида ажралиб чиқадиغان иссиқлик **адсорбция иссиқлиги** (Ж/кг) деб номланади ва у тажрибавий усулда ёки қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$r = \frac{19,16 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (5.165)$$

бу ерда p_1 ва p_2 - тегишли абсолют температуралар T_1 ва T_2 ларда адсорбент устидаги ютилаётган модданинг мувозанат босимлари.

Шундай қилиб, хемосорбция жараёни юқори температурада кичик тезликларда содир бўлади.

Адсорбция жараёнининг селективлиги адсорбент ва ютилатган компонентнинг концентрациясига температурага, табиатига ва газлар ютилатганда босимга боғлиқдир.

Ундан ташқари, жараён тезлиги адсорбентларнинг солиштирма юза катталигига ҳам боғлиқ.

5.31. Адсорбентлар турлари ва характеристикалари

Маълумки, халк хўжалигининг турли соҳаларида қўлланиладиган адсорбентлар иложи борица катта солиштирма юзага эга бўлиш керак. Кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларда фаолланган кўмир, силикагел, алюмогел, цеолит, целлюлоза, ионитлар, минерал тупроқ (бентонит, диатомит, каолин) ва бошқа материаллар адсорбент сифатида ишлатилади. Албатта, адсорбентлар маҳсулот билан бевосита таъсирда бўлгани учун зарарсиз, мустаҳкам, заҳарлимас ва маҳсулотни ифлос қилмаслиги керак.

Адсорбентлар модданинг масса бирлигига нисбатан жуда катта солиштирма юзали бўлади. Унинг капилляр каналлари ўлчамига қараб 3 гуруҳга бўлинади, яъни макроковакли ($>2 \cdot 10^{-4}$ мм), оралиқ ковакли ($6 \cdot 10^{-6} \dots 2 \cdot 10^{-4}$ мм) ва микроковакли ($2 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-6}$ мм) бўлади. Шуни таъкидлаш керакки, адсорбция жараёнининг характери кўп жиҳатдан коваклар ўлчамига боғлиқ.

Адсорбент юзасида ютилатган компонент молекулаларининг миқдорига қараб бир молекулали (мономолекулали адсорбция) ва кўп молекулали қатлам (полимолекулали адсорбция) ҳосил қилиш мумкин.

Адсорбентларнинг яна бир муҳим характеристикаси шундаки, бу унинг ютиш қобилияти ёки фаоллигидир. Адсорбент фаоллиги унинг бирлик массаси ёки ҳажмида компонент ютиш миқдори билан белгиланади. Ютиш қобилияти 2 хил, яъни статик ва динамик бўлади. Адсорбентнинг статик ютиш қобилияти масса ёки ҳажм бирлигида максимал миқдорда модда ютиши билан белгиланади.

Динамик ютиш қобилияти эса, адсорбент орқали адсорбтив ўтказиш йўли билан аниқланади.

Адсорбентларнинг компонент ютиш қобилияти температура, босим ва ютилатган модда концентрациясига боғлиқ. Ушбу шароитларда адсорбентнинг максимал ютиш қобилияти мувозанат фаоллиги деб номланади.

Адсорбентлар зичлиги, эквивалент диаметри, мустаҳкамлиги, гранулометриқ таркиби, солиштирма юза каби хоссалари билан характерланади. Саноатда кўпинча гранула (2...7 мм) кўринишидаги ёки ўлчамлари 50...200 мкм бўлган кукунсимон адсорбентлардан фойдаланилади.

Фаолланган кўмирлар одатда таркибида углерод бор ёғоч, торф, ҳайвонлар суяги, тошкўмир каби маҳсулотларни қуруқ ҳайдаш йўли билан олинади. Кўмир фаоллигини ошириш учун унга 900°C дан ортиқ температурада ҳавосиз термик ишлов берилади. Бунда, материал ковакларидаги смолалар экстрагент ёрдамида экстракция қилиб олинади.

Фаолланган кўмирларнинг солиштирма юзаси $600 \dots 1750 \text{ м}^2/\text{г}$, тўкма зичлиги $250 \dots 450 \text{ кг}/\text{м}^3$, микроковаклар ҳажми $0,23 \dots 0,7 \text{ см}^3/\text{г}$. Ундан ташқари, улар таркибида жуда кам миқдорда ($<8\%$) кул бўлади. Яна шуни таъкидлаш керакки, ҳавода 300°C температурада фаолланган кўмир ёнади.

Фаолланган кўмирнинг майда кукунлари 200°C га яқин температурада ёнади ва концентрацияси $17 \dots 24 \text{ г}/\text{см}^3$ бўлганда ҳаво таркибидаги кислород билан портловчи бирикма ҳосил қилади.

Адсорбция жараёнида тозалашнинг самарадорлиги адсорбентнинг говаксимон тузилишига боғлиқ бўлиб, бунда микроковак асосий роль ўйнайди.

Фаолланган кўмирлар адсорбцион бўшлиғининг чегаравий ҳажми $0,3 \text{ см}^3/\text{г}$ лиги тозалаш жараёнида қўллаш тавсия этилади. Маълумки, микроковаклар ўлчами каталитик реакциялар тезлигини белгилайди. Микроковак ўлчами $0,8...1,0 \text{ мкм}$ бўлган фаолланган кўмирлар оптимал деб ҳисобланади.

Спирт ва ликер-ароқ ишлаб чиқариш саноатида оқ қайин БАУ, бук каби ёғочлардан олинган фаолланган кўмир, спирт-ректификатларни альдегид, кетон, мураккаб эфир, карбон кислоталар ва юқори молекулали бирикмалардан тозалашда ишлатилади. Ундан ташқари, мевалар шарбати ва пивони тиндириш учун ҳам ишлатиш мумкин. Қанд шарбатини тиндириш учун эса суяк кўмири асосида олинган кўмирлар қўлланилади. Қанд шарбати, коньяк, вино, мева шарбатлари, эфир ёғлари, желатинни тозалаш учун майда донасимон фаолланган кўмир - деколар ишлатилади. Айрим ҳолларда, фаолланган кўмирлар тозалаш билан бирга ҳид, ёқимсиз таъм, коллоид ва бошқа қўшимча аралашмаларни ҳам йўқотади.

Силикагеллар бу кремний кислота гелининг сувсизлантирилган маҳсулотидир. Ушбу адсорбентлар натрий силикат эритмаларига кислота ёки улар тузларининг эритмаларини таъсири натижасида олинади. Силикагелларнинг солиштирма юзаси $400...780 \text{ м}^2/\text{г}$, тўкма зичлиги эса - $100...800 \text{ кг/м}^3$ Силикагел гранулалари 7 мм гача бўлиши мумкин. Силикагеллар асосан сув буғини ютиш, газларни қуриштиш, пиво ёки мева шарбатларини тозалаш учун қўлланилади. Бу адсорбент бошқа адсорбентларга қараганда ёнмайди, механик жиҳатдан мустаҳкам бўлади.

Цеолитлар - табиий ва сунъий минерал ҳолатида бўлиб, алюмосиликатнинг сувли бирикмаси. Ушбу адсорбент сувда ва органик эритмаларда эримайди. Сунъий цеолит коваклари ўлчами сорбцияланаётган молекула ўлчамига яқин бўлгани учун, ковакларга кириётган молекулаларни адсорбция қила олади. Бу турдаги цеолитлар молекуляр элақлар деб номланади. Цеолитларнинг айрим турлари шарбатларни концентрлаш учун ишлатилади.

Цеолитлар юқори ютиш қобилиятига эга бўлгани учун, газларни ва суюқликларни қисман қуриштиш ёки сувсизлантириш учун ҳам қўлланилади. Цеолитлар, кўпинча $2...5 \text{ мм}$ диаметри гранула кўринишида ишлаб чиқарилади.

Тупроқлар ва табиий тупроқсимон адсорбентлар қаторига бентонит, диатомит, гумбрин, каолин, асканиг, мураккаб кимёвий таркибли юқори дисперс системалар SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO ва бошқа металл оксидлари киради. Табиий тупроқлар фаоллигини ошириш учун улар сульфат ва хлорид кислоталар билан қайта ишланади. Натижада кальций, магний, темир, алюминий ва бошқа метал оксидлари чиқариб юборилиши туфайли қўшимча коваклар ҳосил бўлади.

Бу тупроқлар солиштирма юзаси $20...100 \text{ м}^2/\text{г}$, коваклар ўртача радиуси $3...10 \text{ мкм}$ бўлади.

Катион алмашилиш сиғими ортиши билан тупроқларнинг тозалаш қобилияти кўпаяди. Одатда, тупроқлар суюқлик муҳитларни тозалаш учун ишлатилади, масалан, рангли моддаларни қайта ишлаш натижасида маҳсулот оқаради. Шунинг учун, айрим ҳолларда тупроқли адсорбентлар оқартирувчи тупроқ деб ҳам аталади.

Озиқ-овқат саноатида тупроқсимон адсорбентлар вино, пиво, мева шарбатлари, ўсимлик ёғларини рафинация қилиш ва бошқа мақсадларда ишлатилади. Пивони тозалаш учун эса, сирт фаол бентонитдан кенг қўламда фойдаланилади. Масалан, натрийли бентонит винони на фақат тозалайди ва мўтадиллайди, балки уни етилиш жараёнини тезлаштиради ва муддатини қисқартиради.

5.32. Адсорбция жараёни мувозанати

Адсорбцион кучлар табиатидан қатъий назар, адсорбентнинг масса ёки ҳажм бирлигида ютилган модда миқдори, ютилатган модда табиати, температура, босим ва фазадаги аралашма миқдориға боғлиқ.

Жараёндаги қаттиқ ва газ ёки суюқлик фазаларида ютилатган модданинг мувозанат концентрациялари ўртасида қуйидаги боғлиқлик бор:

$$\bar{x}_m = f_1(\bar{y}) \quad \text{ёки} \quad \bar{x}_m = f_2(p) \quad (5.166)$$

бу ерда $\bar{x}_m$ адсорбентда ютилган модда (адсорбтив) концентрацияси, яъни газ ёки суюқлик фазаларидаги адсорбтивнинг мувозанат концентрацияси, кг адсорбтивнинг / кг адсорбентга нисбати; $\bar{y}$ - буғ ёки суюқлик фазадаги адсорбтив концентрацияси, кг адсорбтивнинг 1 кг инерт қисмига нисбати; p - буғ-газ аралашмадаги адсорбтивнинг мувозанат босими, Н/м².

(5.166) тенглама билан ифодаланувчи боғлиқликлар **адсорбция изотермалари** деб номланadi.

Кимёвий термодинамика асосида адсорбция изотермаларининг аниқ ифодалари топилади:

Ленгмюр изотермалари

$$x_m = \frac{abp}{1 + ap} \quad (5.167)$$

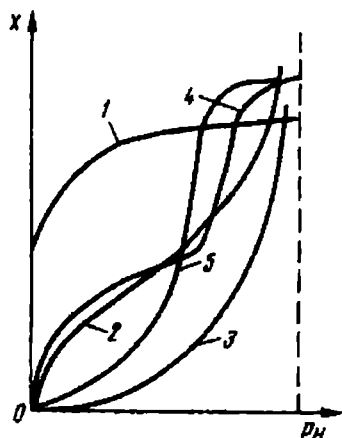
ёки Фрейдлих изотермалари

$$x_m = k p^{1/n} \quad (5.167a)$$

бу ерда x_m - адсорбент билан ютилган модда концентрацияси, кг / кг адсорбентга; a , b , k , n - тажрибавий усул билан аниқланadиган константалар.

Температура пасайиши, босим ортиши ва фазаларда қўшимча аралашмалар бўлмаса, адсорбция жараёни тезлашади.

Адсорбция изотермасининг тури кўпгина омилларга: адсорбентнинг солиштирма юзаси, коваклар ҳажми, адсорбент тузилиши, ютилатган модда хоссалари ва жараён температурасига боғлиқ.



5.74 расм. Изотермаларнинг асосий турлари.

5.74-расмда асосий 5 хил изотермалар тури келтирилган.

Расмдаги 1 эгри чизик микроковакли адсорбентга оид. 2 ва 4 эгри чизиклар бошланишидаги бўртиқлик ҳам микроковаклар билан боғлиқ. Изотермаларнинг кейинги қисми йўналишини полимолекуляр адсорбция ва капилляр конденсация белгилайди. 3 ва 5 эгри чизиклар ботиқ қисми "адсорбент-адсорбтив" системада адсорбтив билан адсорбент молекулаларининг ўзаро таъсир кучлари адсорбтив молекулаларининг ўзаро таъсир кучларидан кам бўлган ҳолатини характерлайди. Бу турдаги изотермалар жуда кам учрайди.

Адсорбция жараёнида буғ ёки суюқлик фазадан бир неча модда адсорбцияланаётганда, ҳамма моддалар ютилиши аниқланган.

Лекин, ҳар бир модданинг мувозанат концентрацияси ҳар бир моддани алоҳида адсорбциялашдаги концентрациясига қараганда кам бўлади.

Адсорбция жараёнининг бир неча назарияси мавжуд бўлиб, уларнинг ҳар бири маълум шароитдаги тажриба натижаларини ифодалайди.

Дубинин М.М. назариясига биноан, микроковакли адсорбент иштирокида ўтказилаётган адсорбция жараёни микроковакларни адсорбтив билан тўлдирилиши деб қаралади. Жуда катта температуралар оралиғида газ ва буғлар адсорбцияси учун келтириб чиқарилган тенгламалар адсорбтив мувозанат концентрациясининг адсорбент коваклари тузилишига боғлиқлигини характерлайди. Бундай тенгламалар мураккабдир.

Проф. Дубинин М.М. томонидан олинган тенгламалардан бири қуйидаги кўринишга эга:

$$x_m = \frac{V}{V_c} \exp \left[-B \frac{T^2}{\beta_a^2} \lg \left(\frac{P}{p} \right)^2 \right] \quad (5.168)$$

бу ерда V - адсорбент коваклари ҳажмининг йиғиндиси; V_c - суюқлик ҳолатидаги ютилган модда ҳажми; B - адсорбент тузилишига боғлиқ константа; T - буғнинг абсолют температураси; β_a - бирор адсорбент ва стандарт коваклардаги суюқлик ҳолатидаги моль ҳажмларига тенг бўлган аффинлик коэффиценти; P - адсорбтив тўйиниш буғининг босими; p - адсорбция температурасидаги адсорбтив буғининг парциал босими.

Адсорбция жараёнида бошланғич аралашмада ютилаётган модда буғининг босими камаяди ва иссиқлик ажралиб чиқади. Шунинг учун Ле-Шателье принципига биноан, температура пасайиши ва босим ортиши билан адсорбцияланаётган модда миқдори кўпайиб боради. Шундай қилиб, босим пасайиши ва температура ортиши тескари - десорбция жараёнини тезлаштиради.

Адсорбция жараёнида ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори ($\kappa Ж/кмоль$) тажрибавий усул билан аниқланади. Тажрибавий маълумотлар йўқ бўлса, ажраб чиқаётган иссиқлик миқдори (5.165) тенглама ёрдамида ҳисобланиши мумкин.

5.33. Адсорбция статикаси ва кинетикаси

Адсорбция жараёни бошқа қаттиқ фазада системаларда масса алмашиши жараёнидан (механизми) фарқ қилмайди.

Умумий ҳолатда адсорбентда ютилаётган модданинг диффузия жараёни (5.24) критериял тенгламаси ёрдамида ифодаланади:

$$\frac{x - x_m}{x_0 - x_m} = f \left(Bi_d, Fo_d, \frac{z}{\delta} \right)$$

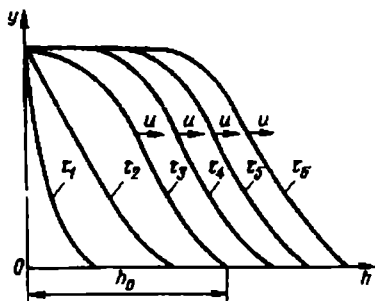
Кўзгалмас адсорбент қатламига ютилаётган модданинг бошланғич концентрацияси u бўлган оқим узлуксиз равишда узатилиш ҳолатини кўриб чиқамиз.

Адсорбент қатлами орқали оқим аралашмасдан, идеал сиқиб чиқариш режимида ҳаракатланмоқда деб фараз қиламиз.

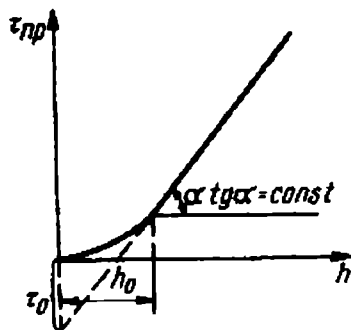
Маълум вақт ўтгандан сўнг, адсорбент қатламининг бошланғич қисми тезда тўйинади ва адсорбтивни адсорбция қилиши тўхтайдди. Натижада, ютилаётган модда концентрацияси ўзгармас қатламнинг бошланғич қисмидан ўтиб кетади ва адсорбция зонаси юқорига қараб кўтарилиб боради. Адсорбент қатлами баландлиги бўйича адсорбтивнинг тарқалиши равон ва адсорбция

кўлами ҳосил бўлади (5.75-расм). Ушбу расмда $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_n$ вақтларда адсорбент қатлами баландлиги h бўйича адсорбтив нисбий концентрациясининг тақсимланиш эгри чизиқлари келтирилган. Шунини таъкидлаш керакки $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \dots < \tau_n$ (бу ерда τ_n -жараён бошланишидан ўтган вақт).

Жараён давомида бирор вақт ўтиши билан адсорбция кўлами ўзгармайди. Адсорбция жараёнида адсорбтив қатламининг тўйиниш пайтигача ишлаш вақти, адсорбция кўламининг ташкил этиш даври деб номланади. Адсорбентнинг бутун қатлами бўйича адсорбция зонаси вақт ўтиши билан қатламда адсорбтив концентрацияси равои ўзгаради. Натижада, адсорбция кўлами қандайдир ўзгармас тезлик билан силжийди. Адсорбтивнинг "ўтиб кетишига" тўғри келадиган вақтдан бошлаб адсорбент қатламининг адсорбцион ёки ҳимояловчи таъсири тамом бўлади.



5.75-расм. Адсорбция кўламининг ўзгариш схемаси.



5.76-расм. Ҳимояловчи таъсир давомийлигининг адсорбент қатлами баландлигига боғлиқлиги.

Адсорбент қатламининг адсорбтивнинг "ўтиб кетиш" вақтига мос келадиган ўртача концентрацияси қатламнинг динамик фаоллиги деб аталади.

Адсорбция жараёни бошланишидан мувозанат ҳолатигача адсорбент массаси бирлигида ютилган модда миқдори адсорбентнинг статик фаоллиги дейилади. Маълумки, динамик фаоллик ҳар доим статик фаолликдан кичик бўлади. Демак, адсорбентнинг сарфи унинг динамик фаоллигига қараб таъинланади. Адсорбент қатлами ишлатилишининг фронтал (қатламли) модели проф. Шилов И.А. томонидан яратилган.

Ютилаётган модда концентрацияси бошланғичдан "ўтиб кетиш" концентрациясигача ўзгараётган адсорбент қатламининг h_0 қисми ишчи қатлам дейилади. Ушбу жараёнга тўғри келадиган вақт - ҳимоя қилиш вақти дейилади.

Проф. Шилов И.А. томонидан ўзгармас тезлик u да адсорбция кўламининг силжишини ифодалаш учун тегишли формуласи келтириб чиқарилган. Адсорбция ёки ҳимояловчи таъсир вақтини ушбу тенгламадан топиш мумкин:

$$\tau = kh - \tau_0 = \frac{h}{u} - \tau_0 \quad (5.169)$$

бу ерда $k=1/u$ - қатламни ҳимояловчи таъсир коэффициенти; τ_0 - қатламни ҳимояловчи таъсир вақтининг йўқотилиши.

(5.169) тенгламадаги катталиклар тажрибавий йўл билан аниқланади ва уларнинг график тасвири 5.76-расмда кўрсатилган. Эгри чизиқ тўғри

қисмининг қиялик бурчак тангенс ($tg\alpha=k$) қатламнинг ҳимояловчи таъсири коэффициентига тенг. Ордината ўқи давоми билан эгри чизик тўғри қисмининг кесишган жойидаги кесма эса, ҳимояловчи таъсир вақти йўқотилиши τ_0 га тегишли.

Адсорбция қўламининг силжиш тезлигини ҳисоблаш учун қуйидаги тенглама тавсия этилади:

$$u = w_0 \frac{y_\delta}{\varepsilon \cdot y_\delta + x_M} \quad (5.170)$$

бу ерда $w_0 = w' \cdot \varepsilon$ - оқимнинг сохта тезлиги (w' - адсорбент заррачалари орасидаги каналларда оқимнинг тезлиги; ε - адсорбент қатламининг ғовақчилиги); x_M - оқимдаги адсорбтивнинг ҳажмий концентрацияси y_M билан мувозанатдаги адсорбент қатламидаги адсорбтив концентрацияси.

Адсорбент қатлами баландлиги h_0 масса ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади:

$$h_0 = \frac{u \cdot m_y}{K_{yv}} \quad (5.171)$$

бу ерда $m_y = 0,9 y_\delta / \Delta y_{yp}$ - газ ёки суюқлик фаза ўтказиш бирлигининг умумий сони; K_{yv} - масса ўтказиш коэффициентининг ҳажмий коэффициенти.

Масса ўтказишнинг ҳажмий коэффициенти ушбу формуладан аниқланади:

$$K_{yv} = \frac{1}{1/\beta_{yv} + m/\beta_{rv}} \quad (5.172)$$

бу ерда β_{yv} ва β_{rv} - суюқ ва қаттиқ фазаларда ҳажмий масса бериш коэффициентлари; m - мувозанат чизиги қиялик бурчагининг ўртача тангенс.

Адсорбция жараёнининг тезлиги адсорция изотермалари шакли, адсорбент ва қатлами табиати ва геометрик характеристикалари, адсорбтив концентрацияси, суюқлик фазаси тезлиги, ҳамда масса беришнинг ташқи тезлиги (газ ёки суюқлик фазасидаги масса бериш коэффициенти) ёки ички масса ўтказиш қаршилигининг тезлиги билан белгиланади.

Адсорбция жараёнида ички ва ташқи фазавий тезликлар **Био (Bi)** критерийси билан ифодаланади. Агар, $Bi \geq 30$ бўлса, жараён тезлиги адсорбент заррачаларининг ичидаги масса ўтказувчанлик тезлиги билан белгиланади. $Bi \leq 0,1$ бўлганда эса, жараённинг тезлиги газ ёки суюқлик фазаларидаги ташқи диффузиянинг тезлиги билан аниқланади. Лекин, адсорбция жараёнининг тезлигига бу иккала фазавий диффузия тезликларнинг таъсирини миқдорий жиҳатдан алоҳида аниқлаш қийин.

Донадор адсорбент қатламининг масса бериш коэффициентини аниқлаш учун қуйидаги формулалардан фойдаланиш мумкин:

ламинар режимда ($Re < 30$):

$$Nu_{\Delta} = 0,883 Re^{0,47} \cdot Pr_{\Delta}^{0,33} \quad (5.173)$$

турбулент режимда эса ($Re = 30 \dots 150$):

$$Nu_D = 0,53 \cdot Re^{0,54} \cdot Pr_D^{0,33} \quad (5.174)$$

бу ерда $Nu_D = \beta_y d_3 / D$ - Нуссельт диффузион критерийси; $Re = w_0 d_3 / \nu$ - Рейнольдс критерийси; $Pr_D = \eta / D$ - Прандтл диффузион критерийси; D - газ ёки суюқлик фазадаги диффузия коэффициент; w_0 - оқимнинг сохта тезлиги; ν - оқимнинг кинематик қовушқлиги.

(5.173) ва (5.174) тенгламалардаги Nu_D ва Re критерийларида аниқловчи геометрик ўлчам сифатида эквивалент диаметр d_3 ҳисобланади.

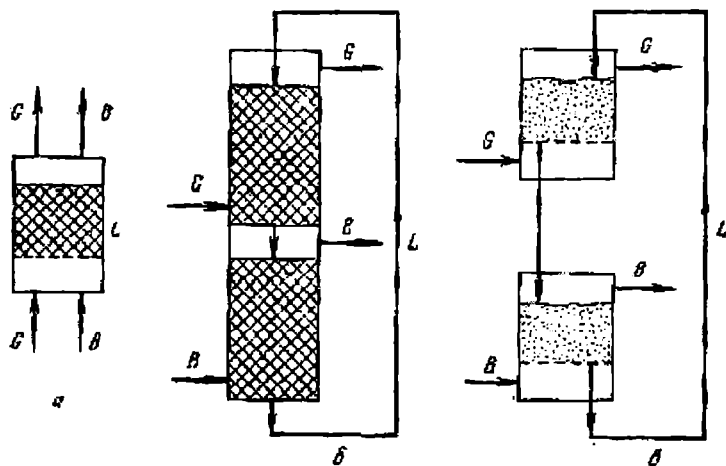
5.34. Адсорбция жараёнини ташкил этиш усуллари

Адсорбция жараёнини ташкил этиш схемалари 5.77-расмда келтирилган. Донадор адсорбентлар учун қўзғалмас (а) ва ҳаракатчан (б, в) қатламли схемалар ишлатилади.

Биринчи ҳолатда жараён даврий бўлади. Даставвал адсорбент қатлами L орқали буғ-газ аралашмаси G ўтказилади ва у ютилаётган модда билан тўйинтирилади; ундан сўнг сиқиб чиқарувчи модда B юборилади ёки адсорбент қиздирилади. Ана шундай йўл билан адсорбент қайта тикланади, яъни десорбция жараёни содир бўлади.

Иккинчи ҳолатда адсорбент L ёпиқ системада циркуляция қилади (5.77б-расм); адсорбентнинг тўйиниши қурилманинг юқори адсорбцион зонасида, қайта тикланиш эса - пастки десорбцион зонасида юз беради.

Агар, адсорбент кукун, чангсимон кўринишда бўлса, циркуляцияли, мавҳум қайнаш қатламли схема қўлланилади (5.77в-расм).



5.77-расм. Адсорбция жараёнининг принципал схемалари.
а - қўзғалмас донатор адсорбентли; б - ҳаракатчан донатор адсорбентли; в - циркуляцияли, мавҳум қайнаш қатламли.

5.35. Десорбция

Маълумки, адсорбция жараёни аралашмаларни ажратиш учун қўлланилади ва ҳар доим десорбция жараёни билан кетма-кет ўтказилади.

Одатда, адсорбентни қайта ишлатиш мақсадида унга ютилган модда десорбция қилиб ажратиб олинади. Бунинг учун кўпинча сув буғи ишлатилади.

Десорбция натижасида олинган адсорбтив ва сув буғи аралашмаси конденсаторга йўлланилади. Унда, маҳсулот сувдан чўктириш усулида ажратиб олинади.

Саноатда десорбциянинг бир неча усули қўлланилади.

а) адсорбентга ютилган компонентлар ютилувчи моддаларга нисбатан юқори адсорбцион қобилиятга эга бўлган элткичлар ёрдамида сиқиб чиқарилади;

б) адсорбент қатламини қиздириш йўли билан нисбатан юқори учувчанликка эга ютилган компонентларни буғлатиш.

Айрим ҳолларда адсорбция жараёнида ҳосил бўлган смола ва бошқа маҳсулотларни тозалаш учун ушбу компонентлар куйдирилади.

Десорбциянинг у ёки бу усулини қўллаш техник-иқтисодий мақсаддан келиб чиққан ҳолда танланади. Иккала усул ҳам амалиётда кенг ишлатилади ва кўпинча биргаликда қўлланилади.

Адсорбция жараёни тугагандан сўнг, адсорбент қатламидан тоза буғ ёки газ ўтказилади ва ютилган модда ажратиб олинади. Десорбция жараёнини жадаллаштириш учун юқори температурадаги десорбловчи элткич адсорбент қатламидан ўтказилади.

Десорбловчи элткич сифатида сув ва органик моддалар буғлари, ҳамда инерт газларни қўллаш мумкин. Десорбция жараёни тугагандан сўнг адсорбент қатлами одатда қуригилади ва совутилади. Қайта тиклаш жараёнида фаолланган кўмирга ютилган учувчан эритувчилар тўйинган сув буғи ёрдамида десорбция қилинади. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, ютилган модданинг асосий қисми десорбция жараёнининг бошида ажратиб олинади. Жараён охирига бориб, унинг тезлиги пасаяди, аммо ютилган компонент бирлигига сув буғининг сарфи жуда кўпайиб кетади. Шунинг учун сув ёки бошқа органик модда буғларини тежаш мақсадида, десорбция жараёни охиригача олиб борилмайди. Шу сабабли, ютилган компонентнинг бир қисми адсорбентда қолиб кетади.

Десорбция жараёни давомида иситувчи буғнинг бир қисми бутун системани иситишга, адсорбентда ютилган моддани десорбциялаш ва атроф муҳитга йўқотилган иссиқликни компенсация қилишга сарфланади. Лекин, шунини назарда тутиш керакки, иситувчи буғнинг ҳаммаси адсорбентда бутунлай конденсацияланади.

Адсорбент қатламидаги десорбцияланган моддалар динамик буғ ёрдамида пуфлаб чиқарилади. Динамик буғ адсорбентда конденсацияланмайди ва қурилмадан десорбцияланган моддалар билан бирга учиб чиқади.

Тахминий ҳисобларга кўра, 1 кг моддани десорбциялаш учун 3...4 кг динамик буғ сарфланади. Цеолитларни қайта тиклаш учун кўпинча қиздирилган қуруқ газ қўлланилади. Десорбция жараёни адсорбция каби қўзғалмас, ҳаракатчан ва мавҳум қайнаш қатламларида олиб борилади.

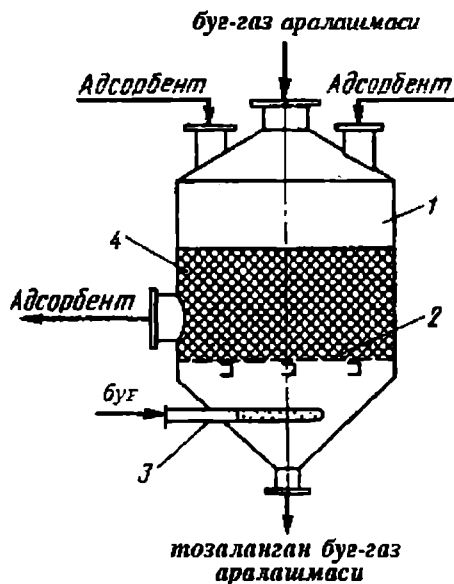
5.36. Адсорберлар конструкциялари

Жараённи ташкил этиш бўйича адсорберлар 2 гуруҳга бўлинади: даврий ва узлуксиз.

Даврий адсорберлар қўзғалмас ва мавҳум қайнаш қатламли бўлади.

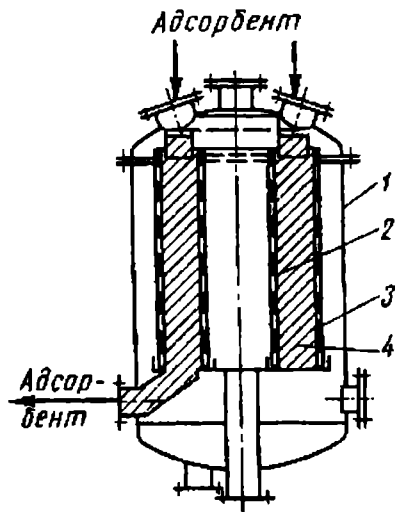
Вертикал цилиндрик адсорбер - даврий ишлайдиган адсорберларнинг энг кўп тарқалган конструкциясидир (5.78-расм).

Колосники панжара 2 га қурилма тепа қисмидаги люклар орқали адсорбент гранулалари юкланади. Қурилманинг пастки қисмидаги люклар орқали эса, ишлатиб бўлинган адсорбент тўкилади. Бу турдаги адсорберлар буғ-газ аралашма ва суюқлик эритмаларини тозалаш учун ишлатилади. Бошланғич аралашма ва ўткир буғни узатиш учун адсорберда тегишли штуцерлар



5.78-расм. Қўзғалмас қатламлы адсорбер.
1-қобиқ; 2-колосникли пан-
жара; 3-ҳалқасимон труба;
4-адсорбент.

мида адсорбентдан ютилган компонентни сиқиб чиқариш. Десорбция жараёни тезлигини ошириш учун жараён юқори температураларда ўтказилади.



5.79-расм. Ҳалқасимон адсорбент
қатламлы адсорбер.
1-қобиқ; 2,3-ички ва
ташқи цилиндрсимон
панжара; 4-адсорбент.

Адсорбент совутилгандан сўнг цикл яна қайтадан такрорланади. Адсорбентни юклаш қурилманинг тепасидаги люк, тўкиш эса-пастки течка орқали амалга оширилади.

ўрнатилган. Одатда, бошланғич эритма адсорбернинг ҳалқасимон трубаси 3 орқали пастдан юқorigа ҳаракатлантирилади. Буғ-газ аралашмасы эса, юқоридан пастга қараб узатилиши мумкин. Бундай қурилмаларда, десорбция жараёнида ўткир буғ ҳалқасимон труба 3 орқали юборилади.

Бу турдаги адсорберларда адсорбция жараёни 4 босқичда ўтади: адсорбция, десорбция, қуриштириш ва адсорбентни совуштириш. Жараён тугагандан сўнг, ишлатилиб бўлинган адсорбентни қайта тиклаш масаласи пайдо бўлади. Адсорбентдан ютилган моддани десорбциялаш технологик жараёнинг зарур босқичидир. Ушбу босқичда бирданига иккита масала ечилади: адсорбентни қайта тиклаш ва моддани ажратиш олиш.

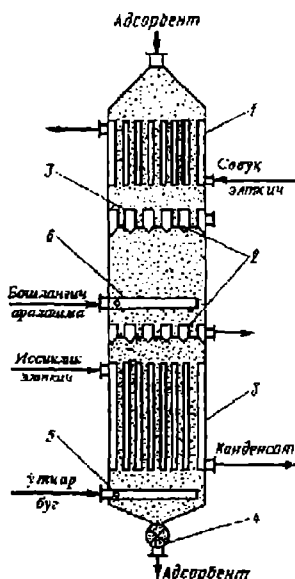
Десорбциялашнинг асосий усули бу тўйинган сув буғи ёрдамида адсорбентдан ютилган компонентни сиқиб чиқариш. Десорбция жараёни тезлигини ошириш учун жараён юқори температураларда ўтказилади.

Вертикал, қўзғалмас ҳалқасимон адсорбент қатламлы адсорбер буғ-газ аралашмасидан компонентларни ютиш учун мўлжалланган (5.79-расм). Адсорбер вертикал қобиқ 1 дан иборат бўлиб, унинг ичида ички 2 ва ташқи 3 панжаралар орасига адсорбент 4 жойлашган бўлади. Абсорбция босқичида буғ-газ аралашмасы адсорбернинг пастки қисмига берилади ва ҳалқасимон адсорбент қатламининг кесими бўйича тақсимланади. Адсорбент қатламидан ўтиб, тозаланган буғ-газ аралашма марказий патрубкдан чиқиб кетади. Десорбциялаш босқичида сув буғи адсорбернинг марказий патрубкиси орқали узатилади. Десорбцияланган компонент ва сув буғларининг аралашмасы қурилманинг пастки қисмидаги штуцер орқали чиқарилади. Адсорбентни қуриштириш учун иссиқ, совуштиш учун эса - совуқ ҳаво юборилади.

Мавҳум қайнаш қатламли адсорбер — майда, донатор адсорбент билан тўлдирилган бўлади (5.80-расм).

Бошланғич аралашма адсорбент заррачасининг мавҳум қайнаш тезлигидан каттароқ тезликда газ тақсимловчи тешикли панжара 2 остига узатилади. Натижада, адсорбент қатлами кенгайди ва сўнг мавҳум қайнаш ҳолатига ўтади. Адсорбция жараёнини мавҳум қайнаш қатламида ўтказиш масса алмашиниш жараёнини интенсивлашга ва жараён давомийлигини қисқаришига олиб келади.

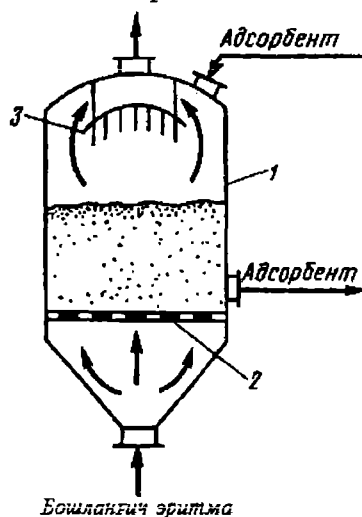
Реактор типидagi адсорбер механик ёки пневматик аралаштириш мосламали бўлади. Адсорбер цилиндр қобиқ ва эллиптик тублардан иборатдир. Қобиқ ичида парракли аралаштиргич айланади. Адсорберга эритма қурилма тепа қисмидаги люкдан қуйилади, адсорбент эса ўша қисмида жойлаштирилган люкдан юкланади. Суспензия эса, қурилманинг пастки патрубкисидан тўкилади ва филтрга узатилади. У ерда суспензия компонентларга ажратилади. Ишлатиб бўлинган адсорбент қайта тиклаш учун десорберга йўналтирилади. Адсорбцион қурилмалар даврий ишлайдиган бир нечта адсорбердан иборат бўлади. Бир нечта адсорбер адсорбция босқичида ишласа, қолганлари эса адсорбентни қайта тиклаш босқичида ишлатилади.



5.81-расм. Ҳаракатчан адсорбент қатламли адсорбер.

1-советчик; 2-тақсимловчи тарелка; 3-иситкич; 4-шлюзли тамба; 5-ўткир буг тақсимлагич; 6-бошланғич эритма тақсимлагич.

Тозаланган эритма



5.80-расм. Мавҳум қайнаш қатламли адсорбер.
1-қобиқ; 2-тақсимловчи тешикли панжара; 3-сепаратор.

Узлуксиз ишлайдиган адсорберлар сиқққ (зич) ҳаракатланувчи ва мавҳум қайнаш қатламли бўлади.

Ҳаракатчан донатор адсорбент қатламли адсорберлар бу ичи бўш колонна типидagi қурилма бўлиб, унда тўсиқлар, қуйилиш патрубккалари ва узатувчи мосламалар ўрнатилган.

5.81-расмда буг-газ аралашмасини тозалаш ва тақсимловчи тарелкалардан таркиб топган. Бу турдаги адсорберда адсорбент узлуксиз циркуляция қилиб туради ва газдаги ютилувчи компонент адсорбентга ўтади.

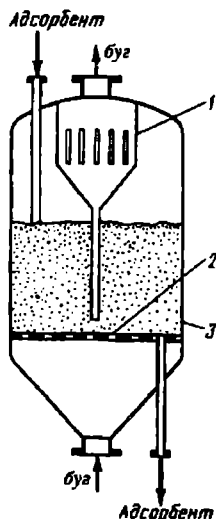
Адсорбентнинг биринчи секцияси бўлмиш советкичда қайта тикланган адсорбент совутилади. Ушбу секция қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаси

кўринишида ясалган. Совуқлик элткич совуткичнинг трубалараро бўшлиғига узатилса, адсорбент эса - трубалар ичида ҳаракатланади.

Иккинчи секция адсорбер вазифасини бажаради. Бу ерда адсорбент буғ-газ аралашмаси билан тўқнашувда бўлади. Биринчи секциядан иккинчисига адсорбент патрубк ва тақсимловчи тарелкалар орқали ўтади. Қайд этилган мосламалар адсорбент қурилма кўндаланг кесими бўйича бир хилда тақсимлаш ва иккала секция орасида тамба ва ажратиб турувчи восита сифатида хизмат қилади. Ундан кейин, ишлатиб бўлинган адсорбент десорбция секциясига ўтади ва у ерда десорбцияловчи элткич (ўткир буғ) билан ўзаро таъсирда бўлиб қиздирилади. Қайта тикланган адсорбент шлюзли тамба орқали чиқариб юборилади.

Мавҳум қайнаш қатламли адсорберлар бир ва кўп поғонали бўлади.

Бир поғонали, мавҳум қайнаш қатламли адсорбер конструкцияси 5.82-расмда келтирилган. Бундай қурилмаларда адсорбент мавҳум қайнаш ҳолатида бўлади ва у узлуксиз равишда тегишли панжара устига узатилиб турилади.



5.82-расм. Узлуксиз ишлайдиган, бир поғонали мавҳум қайнаш қатламли адсорбер.

1 - қўбик; 2 - газ тақсимлагич; 3 - чанг йиғкич.

Адсорбер вертикал цилиндр қўбикдан ва уни ичига ўрнатилган сепаратор ва газ тақсимловчи панжарадан иборат. Сепаратор чанг ушлаш вазифасини бажаради. Адсорбент қурилманинг тепасидаги труба орқали юкланади ва цилиндрлик қўбикнинг паст қисмида ўрнатилган штуцердан чиқарилади. Бошланғич буғ-газ аралашмаси қурилманинг конуссимон тубидаги штуцердан тегишли панжара остига юборилади. Албатта, буғ-газ аралашманинг тезлиги адсорбент заррачасининг мавҳум қайнаш тезлигидан юқори бўлиши керак. Адсорбент билан ўзаро таъсирда бўлган буғ-газ аралашмаси сепаратордан ўтиб, тепа қисмидаги штуцердан чиқиб кетади.

Бундай адсорберларда адсорбент заррачалари интенсив аралашади ва қатламда бўлиш вақти ҳар хилдир. Бу эса, адсорбентнинг нотекис тўйинишига сабабчи бўлади.

Ундан ташқари, фазаларнинг йўналиши бир томонлама бўлса, газ фазасида адсорбент қатламидаги ўртача концентрацияга мос келадиган мувозанат ҳолидаги концентрациядан кам бўлган адсорбтивнинг концентрациясига эришиш анча мураккаб.

Бир поғонали адсорбер камчиликлари кўп поғонали, қарама-қарши йўналишли қурилмаларда бартараф қилинган.

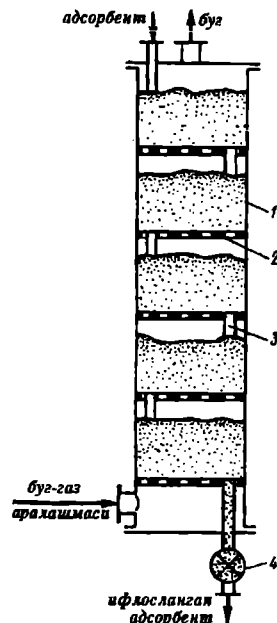
Кўп поғонали, мавҳум қайнаш қатламли адсорбер 5.83-расмда тасвирланган. Бу қурилма колонна типига бўлиб, ичида қуйилиш патрубкали газ тақсимловчи тегишли панжаралар жойлаштирилган. Қуйилиш патрубкालари бир вақтнинг ўзида тамба вазифасини ўтайди, яъни газ оқимини ўзидан ўтказмайди. Адсорбент қурилманинг тепасидаги штуцердан энг юқори тарелкага узатилади ва ундан сўнг пастда ўрнатилган тарелкаларга қуйилиш патрубкиси орқали бирин-кетин ўтади. Энг пастдаги тарелкадан шлюзли тамба орқали ташқарига чиқариб юборилади.

Бошланғич буг-газ аралашма эса адсорбернинг пастки қисмидаги штуцердан киритилади ва тепадагидан чиқарилади.

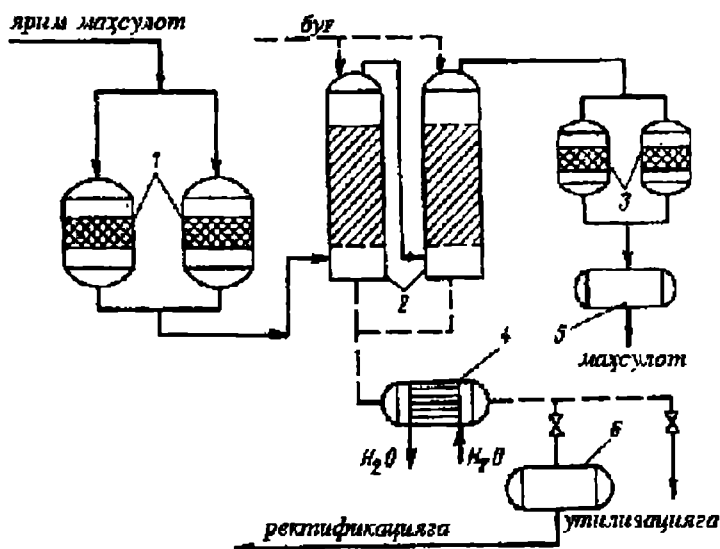
Бу турдаги қурилмаларда буг-газ аралашма кўндаланг кесим бўйлаб бир текисда тақсимланади ва фазалар ўртасида интенсив масса алмашилиш юз беради. Натижада, адсорбентнинг тўйиниши бир хил ва энг катта ютиш қобилиятига эга бўлади.

Бир поғонали адсорберлардан фарқли, кўп поғонали қурилмалар идеал сиқиб чиқариш схемасида ишлайди. Бу ҳол адсорбция жараёнини фазалар қарама-қарши йўналишида олиб бориш имконини яратади.

Фаолланган кўмир кўзгалмас қатламда сув-спирт аралашмасини тозалаш схемаси 5.84-расмда келтирилган. Аввал сув-спирт аралашмаси қумли ёки керамик филтлда тозаланади, сўнг эса адсорберларда тиндирилади. Битта цилиндрик адсорбердаги фаолланган кўмир массаси 250...300 кг. Кўмир қурилманинг газ тақсимловчи тешикли панжарасига юкланади. Сув-спирт аралашмаси эса, газ тақсимловчи панжара остига юборилади.



5.83-расм. Кўп поғонали, мавҳум қайнаш қатламли адсорбер.
1 - қобик; 2 - газ тақсимловчи тешикли панжара; 3 - қуйилиш патрубкиси; 4 - шлюзли тамба.



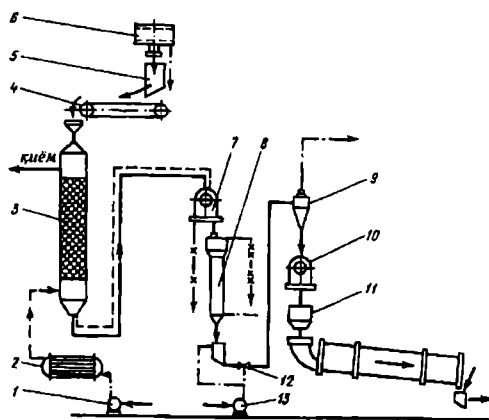
5.84-расм. Кўзгалмас фаолланган кўмир қатламида сув-спирт аралашмасини тозалаш қурилмасининг схемаси.
1,3-филтрлар; 2-адсорберлар; 4,6-идишлар;
5-конденсатор-совуткич.

Янги ёки қайта тикланган адсорбентли адсорберга сув-спирт аралашмаси ароқнинг навига қараб 30...60 дал/г миқдорга узатилади. Эксплуатациядаги адсорбер адсорбентни қайта тиклаш режимига бир йилда 3...4 марта ўтказилади. Ишлатиб бўлинган фаолланган кўмир адсорберда 115°C температурада қайта тикланади. Бунинг учун юқоридан пастга қараб тўйинган сув буғи ҳайдалади.

Битта адсорбердан қуввати 55...60% ли 50...60 дал спирт ҳайдаб олиш мумкин. Иккита даврий ишлайдиган адсорбер қурилманинг узлуксиз ишлашини таъминлайди. Десорбциялаш жараёни давомийлиги 3...4 соат, 1 кг кўмирни тиклаш учун 4 кг сув буғи сарфланади. Қайта тиклашдан сўнг, адсорбент совутилади ва иссиқ ҳаво билан қуригилади.

Саноат миқёсида фаолланган кўмирни қайта тиклаш барабанли ўтхоналарда 800...850°C температурада олиб борилади. Куйдириш жараёнида фаолланган кўмирнинг йўқотилиши 20% ни ташкил этади.

Қанд қиёмини адсорбцион тозаловчи, икки поғонали қурилма. Қанд қиёмларини майда, донатор суяк кўмирлари ёрдамида тозаланади, рангсизлаш қандни тозалашнинг охириги босқичидир.



5.85-расм. Қиёмларни узлуксиз тозалаш қурилмаси.

1,13-насослар; 2-иссиқлик алмашилиш қурилмаси; 3-адсорбер; 4-конвейер; 5,11-бункерлар; 6-тебранма элак; 7,10-вакуум-қурилмалар; 8-колонна; 9-гидроциклон; 12-инжектор.

Сув ва қанд иситилувчи автоклавда аралаштирилиши натижасида қанд эрийди ва унинг қиёми ҳосил бўлади. Эритманинг дастлабки рангсизлантириш адсорберда ўтказилади. Иккинчи тозалаш поғонасидан бу қурилмага қисман ишлатилган адсорбент келиб тушади. 1 кг қиёмини рангсизлаш учун фаолланган кўмирнинг сарфи 5...10 г ни ташкил этади. Адсорбция жараёни 30 минутга яқин давом этади. Суспензия филтрпрессда фазаларга ажратилади. Филтрланган қанд қиёми адсорбцион тозалашга узатилади. Адсорберга янги адсорбент юкланади. Суспензияни фазаларга ажратиб ҳам биринчи поғонада, ҳам филтрпрессда олиб борилади. Ишлатиб бўлинган кўмир қайта тикланади ёки утилизацияга юборилади.

Қанд қиёмларини тозалаш учун грагула ҳолатидаги фаолланган кўмирли қурилмалар ҳам ишлатилади. Цилиндрик адсорберлар баландлиги 8...10 м ва диаметри 1 м бўлганда, қанд қиёмининг тезлиги 1,5...2,5 м/с оралиқда ишлайди. Адсорбент қатлами ва қанд қиёмининг ўзаро таъсир давомийлиги 6 соатни ташкил этади. Адсорбентнинг қайта тиклашгача хизмат қилиш муддати 80 сутка. Ишлатиб бўлинган адсорбент, қурилмадан тўкилгандан сўнг, ноорганик бирикмалар билан ювилади, қуригилади ва 1000...1100°C температурада термик ишлов берилади. Ундан кейин эса, сув буғи ёрдамида фаоллиги оширилади.

Қанд қиёмини рангсизлантириш учун ҳаракатчан қатламли, узлуксиз ишлайдиган адсорберлар ҳам қўлланилади.

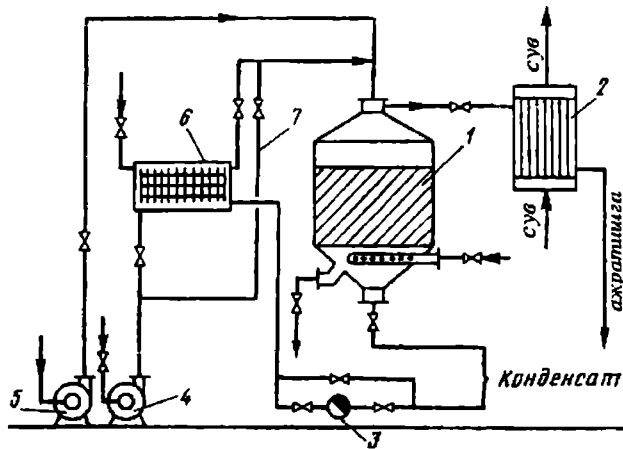
Рафинат ва маҳсулот қиёмларини тозалаш адсорбцион қурилмаси 5.85-расмда кўрсатилган. Ушбу қурилмада эритмалар бўёвчи модда ва эриган тузлардан тозаланади.

Фильтрланган қиём насос 1 ёрдамида иссиқлик алмашиниш қурилмасида қиздирилиб, адсорбер 3 нинг пастки қисмига юборилади. Кўмир эса тебранма элак 6 дан ўтиб адсорберга тушади ва у ерда тозаланган қиём билан ҳўлланади. Адсорбент ҳаракатига қарма-қарши йўналишда узлуксиз қанд қиёми юборилади ва қурилманинг тепа қисмидан чиқарилади. Ишлатиб бўлинган адсорбент қурилманинг пастки қисмидан ташқарига тўкилади.

Қиём ва таркибида қанд бор моддаларни аралашмадан ажратиб олиш жараёни вакуум-қурилмада амалга оширилади. Колоннада адсорбент заррачалари қандсизлантирилади, суюқ қолдиқлар эса, қурилманинг тепа қисмидан чиқариб олинади. Ундан кейин эса, адсорбент иккинчи вакуум қурилмага узатилади ва у ерда қандли моддалардан тўла ажратилади. Ишлатиб бўлинган адсорбент иккинчи колоннада ютилган компонентлардан ювиб тозаланadi.

Гидроциклон 9 ва вакуум-қурилма 10 ларда сувсизлантирилган адсорбент (кўмир) бункер 11 га юборилади ва тебранма таъминлагич ёрдамида қайта тиклаш учун ўтхонага узатилади. Ўтхонадан чиққан адсорбент (кўмир) бункер - совуткичга йўналтирилади ва ундан кейин яна тебранма элакка юборилади.

Буг - ҳаволи аралашмани органик моддалардан тозалаш адсорбцион қурилмаси 5.86-расмда тасвирланган.



**5.86-расм. Буг-ҳаво аралашмасини тозалаш
учун адсорбцион қурилма схемаси.**

1-адсорбер; 2-совуткич; 3-конденсат чиқаргич; 4,5-вентиляторлар; 6-иссиқлик алмашиниш қурилмаси; 7- айланма линиялар.

Ушбу схеманинг асосий қурилмаси адсорберлар бўлиб, улар галма-гал ишлайди. Шуни қайд этиш керакки, битта қурилмада адсорбция, иккинчисида эса десорбция жараёни кечади. Адсорберга киришда аввал буг-ҳаволи аралашма чанглардан тозалаш учун филтрланади. Портлаш ҳавфини бартараф қилиш мақсадида, филтрдан кейин ёнғин тўсқич ва сақловчи мембрана ўрнатилади. Ушбу мосламада босим миқдори рухсат этилгандан ошиб кетмаслигини таъминлаб беради.

Адсорберга буг-ҳаво аралашмаси вентилятор ёрдамида узатилади ва адсорбент қатламининг тепа қисмидан кириб, пастидан чиқиб кетади.

Десорбция жараёнида ўткир буг адсорбернинг пастки қисмига юборилади. Адсорбердан чиқаётган буглар конденсацияланади ва конденсат ажратиш учун сепараторга ёки ректификацияга узатилади. Адсорбентни қуриштириш учун иссиқлик алмашиниш қурилмасидаги иситилган ҳаво адсорберга юборилади.

Адсорбснтни совитиш учун вентиллятор 1 ёрдамида айланма линия 7 орқали совуқ ҳаво ҳайдалади.

Агар, адсорбцион схемада бир нечта адсорбер бўлса, қурилма узлуксиз равишда ишлайди.

5.37. Адсорберларни ҳисоблаш

Даврий ишлайдиган адсорберларни ҳисоблаш адсорбент қатламининг баландлигини аниқлашдан иборат. Бошланғич концентрацияси y_6 бўлган аралашманинг концентрациясини y_{ox} гача тушириш учун зарур адсорбент миқдори моддий балансдан топилади:

$$G \cdot (y_6 - y_{ox}) = V_a (x_{ox} - x_6) \quad (5.175)$$

бу ерда G ва V_a - газ (ёки суюқлик) аралашмаси ва адсорбентнинг массалари, кг; x_6 , x_{ox} - адсорбтив ва адсорбент концентрациялари, г/кг.

Агар, $x = 0$ ва $x_{ox} \rightarrow x_m$ деб қабул қилсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$V_a = G \frac{y_6 - y_{ox}}{x_{ox}} \quad (5.176)$$

ёки аралашмадаги адсорбтивнинг охирги концентрацияси қуйидаги тенгламадан аниқланиши мумкин:

$$y_{ox} = -\left(\frac{V_a}{G}\right) \cdot x_{ox} + y_6 \quad (5.177)$$

Охирги тенглама $tg\alpha = -V_a/G$ га тенг қиялик бурчагида жойлашган тўғри чизикни ифодалайди.

Адсорбер диаметри буғ - газ аралашма ёки эритманинг сарфи V га қараб топилади:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w_0}} \quad (5.178)$$

Адсорбент баландлиги эса:

$$H = \frac{V_a}{0,785 \cdot D^2 \rho_T}$$

ёки

$$H = u \cdot (\tau - \tau_0) \quad (5.179)$$

бу ерда ρ_m - адсорбентнинг тўкма зичлиги, кг/м³.

Адсорбция жараёнининг давомийлиги:

$$\tau = \frac{V_a (x_{ox} - x_6)}{w_0 \cdot 0,785 \cdot D^2 \rho \cdot (y_6 - y_{ox})} \quad (5.180)$$

Адсорбция қўламининг силжиш тезлигини (5.170) тенгламадан топиш мумкин.

Қатламнинг ҳимоялаш таъсир вақти йўқотилиши τ_0 ни қуйидаги тенгламадан тахминан ҳисоблаш мумкин:

$$\tau_0 = \frac{0,5 \cdot h_0}{u} \quad (5.181)$$

бу ерда h_0 - адсорбент қатламининг баландлиги бўлиб, (5.171) тенгламадан аниқланади.

Адсорбент қатлами баландлиги ва конструктив ўлчамлардан келиб чиққан ҳолда, адсорбер баландлиги аниқланади.

Узлуксиз ишлайдиган адсорберларни ҳисоблашда колонна баландлиги, ишчи ҳажм, тарелкалар диаметри ва сони аниқланади.

Бундай адсорберлар баландлиги моддий баланс тенгламасидан аниқланади. Моддий баланс тенгламасида тегишли ўзгаришлар ва қисқартиришлардан сўнг, ушбу кўринишга келамиз:

$$H = \frac{V_a}{0,785 \cdot D^2 \rho_r}$$

қурилманинг ишчи ҳажми эса:

$$V_a = L \frac{x_{ox}}{\Delta y_{yp}} \cdot \frac{1}{K_y \sigma} \quad (5.182)$$

бу ерда L - адсорбент сарфи, кг/с; σ - жараён пайтидаги адсорбентнинг солиштирма юзаси, м²/кг; Δy_{yp} - ўртача ҳаракатлантирувчи куч бўлиб, ушбу тенгламадан топилади:

$$\Delta y_{yp} = \frac{y - y_{ox}}{\int_{y_0}^{y_{ox}} \frac{dy}{y - y_m}}$$

бу ерда y_0, y_{ox} - газ аралашмадаги адсорбтивнинг бошланғич ва охириги концентрациялари; y_m - мувозанат концентрацияси.

Агар, $\tau = V_a/L$ эканлигини инобатга олсак, адсорбентнинг адсорберда бўлиш вақти:

$$\tau = \frac{1}{K_y \sigma} \cdot \frac{x_{ox}}{\Delta y_{yp}} \quad (5.183)$$

Мавҳум қайнаш қатламли тарелкали адсорберларда тарелкалар сони ушбу тенгламадан топилади:

$$n = \frac{H}{h_r} \quad (5.184)$$

бу ерда h_r тарелкадаги адсорбент қатламининг баландлиги (одатда $h_r = 50$ мм деб қабул қилса бўлади).

5.38. Ион алмашиниш жараёнлари ва қурилмалари

Электролит эритмалари билан ўзаро таъсири пайтида ион алмашиниш қобилиятига эга адсорбентлар (ионитлар) таркибидаги фаол ионларнинг эритмадаги ионлар билан алмашиниши **ион алмашиниш жараёни** деб номланади.

Ион алмашиниш жараёнининг қўлланиш соҳаси жуда кенг, чунки у сувли эритмалардан бегона ионларни йўқотиш ва минералсиз (юмшоқ, тузсиз) сувлар олишда ишлатилади. Бу усулда тозаланган сув ичиш учун, ҳамда ўта тоза модда ишлаб чиқариш саноатида қўлланилади. Ундан ташқари, иссиқлик электр станциялари учун сувни тайёрлашда, атом электр станцияларининг оқава сувларини тозалашда ҳам, ион алмашиниш жараёнидан фойдаланилади.

Озиқ-овқат саноатининг турли соҳаларида, айрим маҳсулотларни тайёрлашда, ушбу жараён жуда кўп ишлатилади. Масалан, қанд ишлаб чиқариш саноатида ионлар шарбат ва қиёмларни, бегона моддалардан тозалаш имконини беради. Виночиликда вино таркибидан кальций ва темирни ажратиб олишда, сутни кальций ва бошқа метал ионларидан тозалашда, ёғ-мой саноатида ўсимлик мойларини тозалашда, қимматбаҳо металлларни ажратиб олишда, медицина, металлургияда ионитлар жуда катта самара беради. Техник-иқтисодий кўрсаткичлари бўйича ион алмашиниш жараёни экстракция, ректификация ва бошқа жараёнлар билан рақобат қила олади.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ушбу жараёнда ионит ва эритма орасида ион алмашиниш юз беради. Бунда, эритмадаги ионлар ионит юзасига, ионит юзасидаги ионлар эса, эритмага ўтади.

Ионитлар сифатида қаттиқ, сувда ва органик эритувчиларда эримайдиган табиий ва сунъий материаллар ишлатилади. Ионитлар шарсимон шаклда, майда донатор, гранула ҳолатида бўлади. Уларнинг ион алмашиниш хоссалари алмашиниш ҳажми билан характерланади, яъни 1 г ионит билан алмашаётган миллиграмм-эквивалент ион сони билан ифодаланади.

Ионитлар кимёвий таркиби ва тузилиши билан фарқланади. Алмашадиган ион зарядлар ишорасига қараб, ионитлар катионит ва анионитларга бўлинади.

Эритмада ионизация даражасига қараб катионитлар қуйидаги гуруҳларга бўлинади: кучли ва кучсиз кислотали. Анионитлар эса, юқори ва паст асосли гуруҳларга бўлинади.

Говаклилик даражасига қараб синтетик ионитлар гелли ва макроковакли бўлади. Макроковакли ионитлар ривожланган говак тузилишли бўлиб, солиштирма юзаси катта бўлади. Натижада, гранула ичида моддалар кўчиши юқоридир.

Катта алмашиниш ҳажмли, механик мустаҳкам, сувда ва органик суюқликларда эримайдиган, қайта тикланадиган сунъий ионитлар яратилиши билан ион алмашиниш технологияси жуда кенг тарқала бошлади.

Катионитлар кислота характерли ва мусбат зарядли ионларини алмаштириш қобилиятига эга. Катионитлар таркибида қуйидаги: SO_3^{2-} - сульфо, $HCOO^-$ - карбоксил, PO_3H^{2-} - фосфон гуруҳлари бўлиб, манфий заряд олиб келади.

Анионитлар таркибида қуйидаги: NH_3^+ - амидо, NH_2^+ - аминок гуруҳлари бўлиб, мусбат заряд олиб келади.

Ионитлар механик мустаҳкамлиги юқори, таъсир этаётган суюқликда эримаслиги ва уни ифлослантормаслиги керак.

Физик - кимёвий жиҳатдан ионитлар мураккаб система бўлиб, унда бир вақтнинг ўзида кўпгина ўзаро таъсирлар бўлади. Шунинг учун, ион алмашиниш назариясида, ионитларнинг табиати ва унда бўладиган ўзаро таъсирларни ҳисобга олмаган мувозанат ҳолатидаги хоссалари кўриб чиқилади.

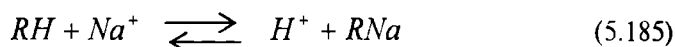
Ион алмашилиш жараёнини характерловчи ионитларнинг мувозанат хоссаларини ифодалаш учун термодинамик усуллардан фойдаланилади. Бунда, ҳамма ионитлар учун умумий белгилар ажратилади:

- а) ионит - эритма системаси икки фазали, гетероген системадир;
- б) ионит фазасида битта ёки бир нечта муайян ҳолатда маҳкамланган ион бўлиб, манфий ёки мусбат зарядлар олиб келади;
- в) ионлар ионит - эритма фазалар чегарасини кесиб ўтолмайди;
- г) ионит фазаси таркибида антиионлар бўлади ва улар ионит эритма фазаларни ажратувчи чегарани кесиб ўта олади;
- д) мувозанат ҳолатидаги эритма ионит фазасида бошқа заррачалар ҳам бўлиши мумкин, масалан, эритувчи молекулалари.

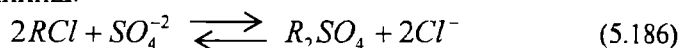
Ион алмашилиш жараёни бошланиши учун мувозанат ўнг томонга силжитилиши керак, яъни ион алмашилиш реакцияларининг кимёвий мувозанат константаси бирдан анча катта бўлиши керак.

Ион алмашилиш жараёнини гетероген кимёвий реакция деб қараш ва мисол тариқасида қуйидаги тенгламаларни келтириш мумкин:

а) катионли алмашилиш:

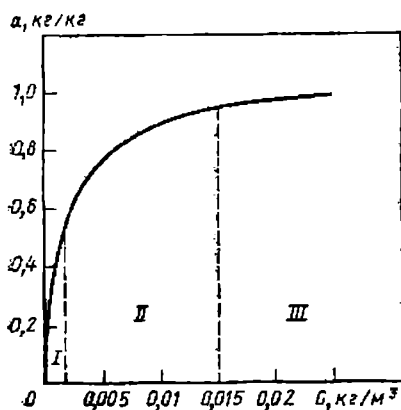


б) анионли алмашилиш:



Катионит ва анионитлар орасидаги оралиқ ҳолатни амфолитлар эгаллайди. Унинг таркибида кислотали ва асосий ионоген гуруҳлар бўлиб, катионит ва анионит вазифаларини бажаради.

Ионит эритма системанинг мувозанати мувозанат коэффиценти билан характерланади. Коэффициентнинг катталиги ташқи омилларга боғлиқ, яъни мувозанатдаги эритма концентрацияси, температураси ва босимга.



5.87-расм. ЭДЭ - 10П анионитда лимон кислотасининг мувозанат изотермалари.

эритмаларнинг типик сорбциялаш изотермалари 5.87-расмда келтирилган. Кўришиб турибдики, мувозанат концентрациялар қисми 3 та зонага ажратилиши мумкин. Биринчи зона паст концентрациялар зонаси бўлиб, у тўғри чи-

Ион алмашилиш жараёнида мувозанат. Мувозанат изотермалари ионитларнинг мувозанат алмашилиш ҳажми ва унинг таъновчанлиги тўғрисида маълумот беради. Ион алмашилиш жараёнидаги мувозанат нисбатлари Ленгмюр (5.187) ёки Фрейндлих (5.188) формулалари билан ифодаланиши мумкин:

$$a = \frac{Kac}{1 + kc} \quad (5.187)$$

$$a = \beta c^{1/p} \quad (5.188)$$

Одатда, мувозанат изотермалари жараёни ҳаракатга келтирувчи кучини аниқлашда қўлланилади.

(5.187) тенгламани ифодаловчи

зиқли иккинчи зона Ленгмюр тенгламалари ва учинчиси эса - эритма концентрациясига боғлиқ бўлмаган ва тўйиниш ҳолатларини ифодалайди:

Мувозанат ҳолатига ионит ва ютилаётган ионлар табиати, температура ва электролит эритмасининг pH миқдорига таъсир кўрсатади.

Масалан, сульфополистирол смоласидаги дивинилбензолнинг миқдори изотерма ҳолатига юқори даражада боғлиқ (5.88-расм).

Эритманинг pH миқдори мувозанат ҳолатга турлича таъсир этади: pH ортиши билан катионитлар ҳажми кўпаяди, анионитларники эса камаяди.

Ион алмашилиш жараёни қуйидаги кетма кет босқичлардан иборат: ионит чегаравий қатлам юзасидан ютилаётган ион диффузияси; ионит ичида ион диффузияси; ионитда десорбцияланган ион диффузияси; суюқлик чегаравий қатлам юзасидан десорбцияланган ионнинг суюқлик фаза ядросига диффузияси.

Ушбу таклиф этилган схема, ион алмашилиш жараёнининг чегараловчи босқичини топиш имконини беради.

Ион алмашилиш кинетикаси. Жараёнда қатнашаётган жами ҳодисалар мураккаблигига қарамасдан, ион алмашилиш кинетикасини ифодаловчи тенглама содда кўринишга эга. Кимёвий реакция тезлиги қолган босқичларда ион алмашилиш тезлигидан жуда катта ва у жараён тезлигига таъсир қилмайди деб тахмин қилинади. Ион алмашилиш кинетикаси қуйидаги тенглама орқали ифодаланиши мумкин:

$$\frac{dM}{Vd\tau} = \beta_v (c - c_u) \quad (5.189)$$

бу ерда β_v - масса бериш коэффиценти, $1/c$.

Масса бериш коэффиценти ҳисоблаш учун $10 < Re < 100$ ораликда ушбу тенглама тавсия этилади:

$$\beta = 1,85 \frac{w}{\varepsilon} \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)^{0,33} \cdot Re_m^{-0,56} \cdot Pr^{0,66}$$

ёки

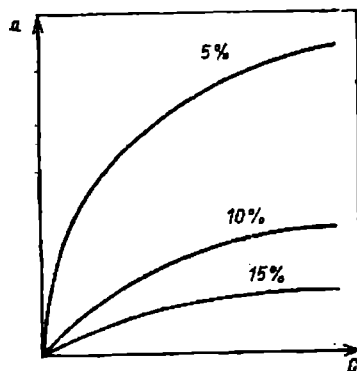
$$Nu_d = 28,4 \cdot Re^{0,41} \quad (5.190)$$

бу ерда w - суюқлик тезлиги; $Re_m = wd_0\rho_c/(1-\varepsilon)\mu$ - модификациялашган Рейнольдс критерийси; d_0 - ионит гранулеси диаметри, м; ρ_c - суюқлик фаза зичлиги, $кг/м^3$; ε - ғоваклик; μ - динамик қовушоқлик, Па·с; Pr - Прандтл критерийси.

Саноат миқёсидаги технологияларда ион алмашилиш қурилмалари 2 хил: даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлади.

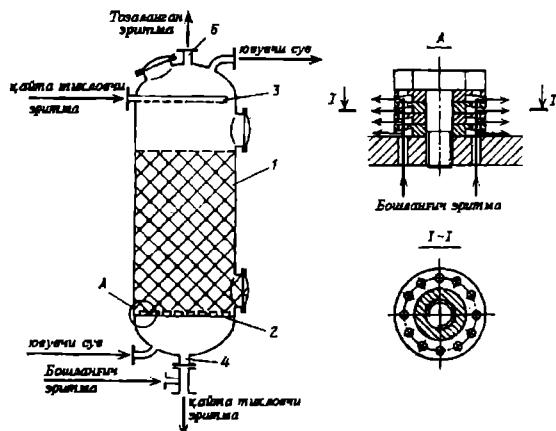
Даврий ишлайдиган қурилмалар ўз навбатида қўзғалмас ва мавҳум қайнаш ионит қатламли бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган қурилмалар ҳаракатчан ионит қатламли ва поғоналарда мавҳум қайнаш қатламли бўлади.



5.88-расм. Турли миқдордаги дивинилбензол сульфополистиролли смола учун мувозанат изотермалари.

Даврий ишлайдиган, қўзғалмас ионит қатламли ион алмашиниш қурилмаси 5.89-расмда келтирилган. Қурилма цилиндрик қобик 1 ва тақсимловчи мослама 2,3 лардан таркиб топган. Пастки тақсимловчи мослама 3 тирқишли қалпоқчали тарелка кўринишида бўлиб, унда қўзғалмас ионит қатлами жойлаштирилади.



5.89-расм. Қўзғалмас ионит қатламли даврий ишлайдиган ион алмашиниш қурилмаси.
1 - қобик; 2 - тирқишли қалпоқча типдаги тақсимловчи тарелка; 3 - тақсимлагич; 4,5 - дастлабки эритманинг кириш ва тозаланган эритма чиқариш штуцерлари.

нинг қолдиқларини сув ёрдамида тозалашдир.

Шундай сўнг қурилма кейинги ион алмашиниш циклига тайёр бўлади.

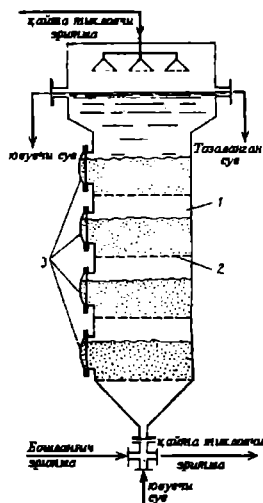
Даврий ишлайдиган секцияли, мавҳум қайнаш ионит қатламли ион алмашиниш қурилмаси 5.90-расмда кўрсатилган. Ион алмашиниш қурилмаси колонна 1 ва уни бир неча секцияга ажратувчи тешикли панжара 2 лардан таркиб топган. Қурилмани секциялаш мавҳум қайнаш жараёнида ионитларни кўндаланг ҳаракатланишини камайтиради ва идеал сиқиб чиқариш режимини таъминлайди. Маълумки, бу режимда жараён максимал ҳаракатга келтирувчи кучга эга бўлади.

Қурилма люклари 3 орқали ионит юкланади ва ундан сўнг бошланғич эритма ўзаро таъсир учун юборилади. Ионит ютилган моддалар билан тўйингандан сўнг, у ювилади ва қайта тикланади.

Қайта ишланадиган эритма эса, қурилма пастки қисмидаги штуцер 4 орқали узатилади ва газ тақсимловчи тешикли панжарадан ионит қатламига ўтади. Қурилманинг тепа (бўш) қисмида тозаланган эритма тўпланади ва юқоридаги штуцер 5 дан чиқарилади.

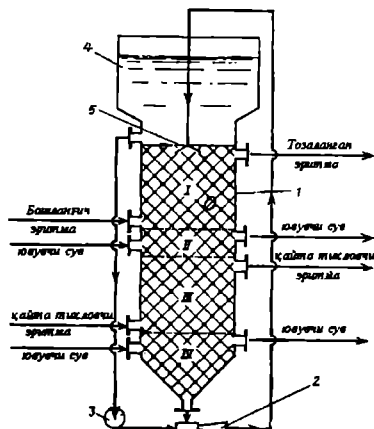
Ион алмашиниш жараёни тутагандан сўнг, қурилма тўхтатилади ва ионит қайта тикланади. Бунинг учун аввал ионитдан эритма ювиб ташланади ва ундан кейин махсус эритувчи ёрдамида тозаланadi. Одатда, қайта тикловчи эритувчи, эритма йўналишига қарама қарши ҳаракатлантирилади. Кейин эса, яна ионит қатлами сув билан ювилади.

Иккинчи ювишдан мақсад махсус эритувчини йўқотишдир, яъни ионитдаги туз, кислота ва ишқор эритмалари-



5.90-расм. Даврий ишлайдиган секцияли, мавҳум қайнаш ионит қатламли ион алмашиниш қурилмаси.
1 - қобик; 2 - тешикли панжара; 3 - люklar.

Узлуксиз ишлайдиган, ҳаракатчан ионит қатламли ион алмашиниш қурилмаси 5.91-расмда тасвирланган.



5.91-расм. Узлуксиз ишлайдиган, ҳаракатчан ионит қатламли ион алмашиниш қурилмаси.

1 - қобик; 2 - инжектор; 3 - насос; 4 - чўктиргич; 5 - фильтр тўсиқ; I, II ионит сорбциялаш ва қайта тиклаш зоналари; III, IV - ионитни сув билан ювиш зоналари.

У ерда ионит сув билан ювилади. Ундан кейин, худди шундай қилиб, ионит III секцияга ўтади ва қайта тикловчи эритма билан ўзаро таъсирда бўлади. Сўнг, қайта тикланган ионит ювиш секцияси IV га ўтади, у ерда эритмадан тозаланади ва инжектор 2 га йўналтирилади ва цикл қайтадан такрорланади.

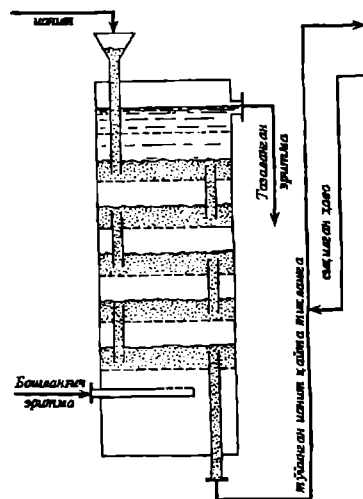
Узлуксиз ишлайдиган, кўп поғонали мавҳум қайнаш ионит қатламли қурилма схемаси 5.92-расмда кўрсатилган. Схемадан кўриниб турибдики, ионитнинг мавҳум қайнаш жараёни поғоналарда, элаксимон тарелкаларда ташкил этилади.

Фазаларнинг йўналиши қарама-қарши бўлади. Тозаланган эритма қурилманинг тепа, ионит эса пастки қисмидан чиқарилади.

Бу турдаги қурилмаларда эритма тезлиги ионит заррачаларининг мавҳум қайнаш бошланиши тезлигидан каттароқ бўлади.

Одатда эритма пастдан юқорига қараб ҳаракатланади. Ушбу колоннада фақат сорбция жараёни ўтказилади. Ютилаётган компонентга тўйинган ионит пульпа ҳолатида сиқилган ҳаво ёрдамида қайта тиклашга узатилади. Қайта тикланган ионит шнек ёрдамида қурилманинг тепа қисмига қайтарилади.

У қуйилиш патрубкालари билан тўрт секцияга бўлинган колонна 1 типдаги қурилмадир. Қайта тикланган ионит қурилманинг пастки қисмидан инжектор 2 га тушади. У ерда насос 3 ёрдамида қурилманинг чўктириш қисми 4 дан ишлатиб бўлинган эритма ҳам ҳайдалади. Гидротранспортловчи суюқлик вазифасини бажарувчи суюқликнинг бу қисми, рециркуляция системасига уланган. Ионит пульпаси инжектор 2 дан сорбциялаш секцияси 1 га узатилади. Ундан ташқари, шу секцияга бошланғич эритма ҳам юборилиб, тозаланган суюқлик эса, қурилманинг тепасидан чиқарилади. Узатилиш учун зарур суюқлик улуши фильтр тўсиқ 5 дан қурилманинг инжектор қисми 4 га ўтади ва насос 3 ёрдамида инжектор 2 га ҳайдалади. Ишлатиб бўлинган ионит сорбциялаш секциясининг I қуйилиш тарелкасидан ювилиш секция II га ўтади.



5.92-расм. Узлуксиз ишлайдиган, кўп поғонали мавҳум қайнаш ионит қатламли қурилма схемаси.

5.39. Умумий тушунчалар

Қаттиқ ва пастасимон материалларни сувсизлантириш йўли билан уларга зарур хоссалар бериш, транспорт воситаларида узатиш ва узоқ муддат давомида сақлаш имкониятини беради.

Сувсизлантиришни 3 хил усулда амалга ошириш мумкин:

1. Механик (сиқиш, чўктириш, филтрлаш, центрифугалаш ва ҳ.);
2. Физик-кимёвий (сувни ўзига тортиб олувчи моддалар ёрдамида, масалан, кальций хлорид, сульфат кислота ва ҳ.);
3. Иссиқлик таъсирида сувсизлантириш, яъни қуриштириш.

Лекин, юқорида қайд этилган усуллардан энг самаралиси, иссиқлик таъсирида сувсизлантириш, яъни қуриштиришдир. Чунки, қуриштириш жараёнида тўлиқ сувсизлантиришга эришса бўлади.

Қаттиқ ва пастасимон материаллар таркибидаги намликни буғлатиш ва ҳосил бўлаётган буғларни четга олиш чиқишга **қуриштириш жараёни** дейилади.

Нам материалларни иссиқлик ёрдамида қуриштириш саноатда энг кенг тарқалган усул. Ушбу усул кимёвий, озиқ-овқат ва бир қатор бошқа технологияларда ишлатилади. Материал таркибидаги намлик даставвал арзон, механик (масалан, филтрлаш) усулда, яқиний, тўла сувсизлантириш эса қуриштириш усулида олиб борилади. Сувсизлантиришнинг бундай комбинациялашган усули иқтисодий жиҳатдан самаралидир.

Саноатда нам материалларни қуриштириш учун сунъий (маҳсус қуриштириш қурилмаларида) ва табиий (очиқ ҳавода қуриштириш жуда давомий жараён) усуллар қўлланилади.

Физик моҳиятига кўра, қуриштириш жараёни мураккаб диффузион жараёндир. Унинг тезлиги, қуриштилаётган материал ичидан намликнинг атроф муҳитга тарқалиши, диффузия тезлиги билан белгиланади. Маълумки, қуриштириш жараёни бу иссиқлик ва модда (намлик) нинг материал ичида ҳаракати ва материал юзасидан атроф муҳитга узатилишидир. Шундай қилиб, қуриштириш бу иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнларининг бир-бири билан узвий боғланган жараёнлар мажмуасидир.

Қаттиқ, нам материалга иссиқлик таъсир этиш усулига қараб қуриштириш қуйидаги турларга бўлинади:

1) **конвектив** қуриштириш - бунда нам материал билан қуритувчи элткич бевосита ўзаро таъсирда бўлади. Одатда, қуритувчи элткич сифатида қиздирилган ҳаво ёки тутун газлари ишлатилади;

2) **контактли** қуриштириш - иссиқлик ташувчи элткич ва нам материал орасида ажратувчи девор бўлади. Материалга иссиқлик шу девор орқали изатилади;

3) **радиацион** қуриштириш нам материалга иссиқлик инфрақизил нурлар орқали узатилади;

4) **диэлектрик** қуриштириш - нам материал юқори частотали ток майдонида узатилади;

5) **сублимацион** қуриштириш - нам материал музлаган ҳолатда, юқори вакуум остида қуриштирилади.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, исталган қуриштириш усулида қуриштилаётган нам материал қўпчилиқ ҳолларда иссиқ ҳаво билан ўзаро таъсирда бўлади. Конвектив қуриштириш саноат технологияларида жуда қўп ишлатилади. Ушбу жараённи амалга ошириш учун нам материалга иссиқ ҳаво таъсирининг аҳамияти катта. Шунинг учун, нам ҳавонинг асосий хоссаларини билиш қуриштириш жараёнини ўрганиш ва ҳисоблаш учун зарур.

5.40. Рамзиннинг нам ҳаво I-х диаграммаси

Қуруқ ҳавонинг сув буғи билан аралашмаси **нам ҳаво** деб номланади. Нам ҳаво абсолют ва нисбий намлик, нам сақлаш, энтальпия, қуруқ ва ҳўл термометр температуралари, парциал босим каби параметрлар билан характерланади.

Абсолют намлик деб 1 м^3 нам ҳаво ҳажмидаги сув буғи (кг) миқдорига айтилади.

Агар парциал босим p_6 да сув буғи бутун ҳажми, масалан 1 м^3 ни, эгалласа, унда, абсолют намлик сув буғи зичлиги ρ_6 га тенг.

Нисбий намлик деб ҳаво абсолют намлигининг, тўйиниш пайтидаги абсолют намлик нисбатига айтилади:

$$\varphi = \frac{\rho_6}{\rho_m} \quad (5.191)$$

бу ерда ρ_m - тўйинган сув бугининг зичлиги, кг/м^3 ; ρ_6 - сув буғининг зичлиги, кг/м^3 .

Газ таркибидаги буғлар парциал босими, унинг миқдорига пропорционал бўлгани учун, нисбий намлик бир хил температура ва босимда ҳаводаги сув буғи парциал босими p_6 нинг тўйинган сув буғлари босими p_T га нисбати сифатида ифодаланиши мумкин:

$$\varphi = \frac{p_6}{p_T} \quad \text{ёки} \quad p_6 = \varphi \cdot p_T \quad (5.192)$$

Нам сақлаш деб 1 кг абсолют қуруқ ҳавога тўғри келадиган сув буғлари (1 кг) миқдорига айтилади.

Нам ҳавонинг солиштирма нам сақлаши x (кг/кг) ёки (г/кг) билан белгиланади. Ҳавонинг нам сақлаши ушбу нисбат орқали аниқланади:

$$x = \frac{m_6}{m_{акх}} = \frac{\rho_6}{\rho_{акх}} \quad (5.193)$$

бу ерда m_6 ва $m_{акх}$ - сув буғи ва абсолют қуруқ ҳаво массалари, кг .

Менделеев Клапейрон идеал газлар ҳолатининг тенгламасига биноан нам сақлаш ва нисбий намликлар орасидаги боғлиқликни аниқлаймиз. Сув буғи ва қуруқ ҳаво зичликларини ушбу тенгламалардан топиш мумкин:

$$\rho_6 = \frac{p_6}{RT} \frac{M_6}{RT} \quad \text{ва} \quad \rho_{акх} = \frac{p_{акх}}{RT} \frac{M_{акх}}{RT} \quad (5.194)$$

бу ерда M_6 ва $M_{акх}$ - 1 моль сув буғи ва абсолют қуруқ ҳаволар массалари, кг/кмоль ; $p_{акх}$ - бирор температурадаги қуруқ ҳавонинг парциал босими, Па ; $R = 8314$ газнинг универсал доимийси, $\text{Ж/(кмоль} \cdot \text{К)}$.

(5.194) ни (5.193) га қўйиб, ушбу қўринишли тенгламани оламир:

$$x = \frac{M_6}{M_{акх}} \left(\frac{p_6}{p_{акх}} \right) \quad (5.195)$$

Дальтон қонунига биноан $P = p_n + p_{акс}$. Унда:

$$p_{акх} = P - p_{акт} \quad (5.196)$$

(5.192) тенгламадан биламизки, $p_б = \varphi p_m$.

Агар, $p_{акс}$ ва $p_б$ қийматларини (5.195) га қўйсак:

$$x = \frac{18}{29} \frac{\varphi \cdot p_m}{P - \varphi p_m} = 0,622 \frac{\varphi \cdot p_m}{P - \varphi p_m} \quad (5.197)$$

бу ерда $M_{акс}=29$ кг/моль; $M_б=18$ кг/моль.

Энтальпия термодинамик системанинг ҳолат функцияси бўлиб, I ҳарфи билан белгиланади.

Нам ҳаво энтальпияси қуруқ ҳаво билан шу нам ҳавода бўлган сув буғининг энтальпиялари йиғиндисига тенг:

$$I = c_{акх} \cdot t + x I_б \quad (5.198)$$

бу ерда $c_{акс}$ - абсолют қуруқ ҳавонинг ўртача температураси; $c_{акс} = 1000$ Ж/(кг·К); $I_б$ - сув буғининг солиштира энтальпияси, Ж/кг.

Қуритиш жараёнида ҳаво билан аралашмада бўлган сув буғи ўта қиздирилган ҳолатда бўлади. Унинг солиштира буг ҳосил қилиши $r_0 = 2493 \cdot 10^3$ Ж/кг бўлса, ўта қиздирилган сув буғининг солиштира иссиқлик сиғими эса, $c_б \approx 1,97 \cdot 10^3$ Ж/(кг·К).

Ўта қиздирилган сув буғининг солиштира энтальпияси:

$$I_б = r_0 + c_б I = 2493 \cdot 10^3 + 1,97 \cdot 10^3 \cdot t \quad (5.199)$$

Агар, (5.199) ни (5.198) га қўйсак, ушбу кўринишдаги тенгламага эришамиз:

$$I = (1000 + 1,97 \cdot 10^3 \cdot x) \cdot t + 2493 \cdot 10^3 \cdot x \quad (5.200)$$

Зичлик. Нам ҳавонинг зичлиги $\rho_{нх}$ абсолют қуруқ ҳаво $\rho_{акс}$ ва сув буғи $\rho_б$ зичликлари йиғиндисига тенг. Агар, $\rho_б = x \cdot \rho_{акс}$ эканлигини инобатга олсак, ушбу тенгламани оламиз:

$$\rho_{нх} = \rho_{акх} + \rho_б = \rho_{акх} (1 + x) \quad (5.201)$$

Менделеев Клапейроннинг ҳолат тенгламасига биноан абсолют қуруқ ҳаво зичлиги қуйидаги тенгламадан аниқланади:

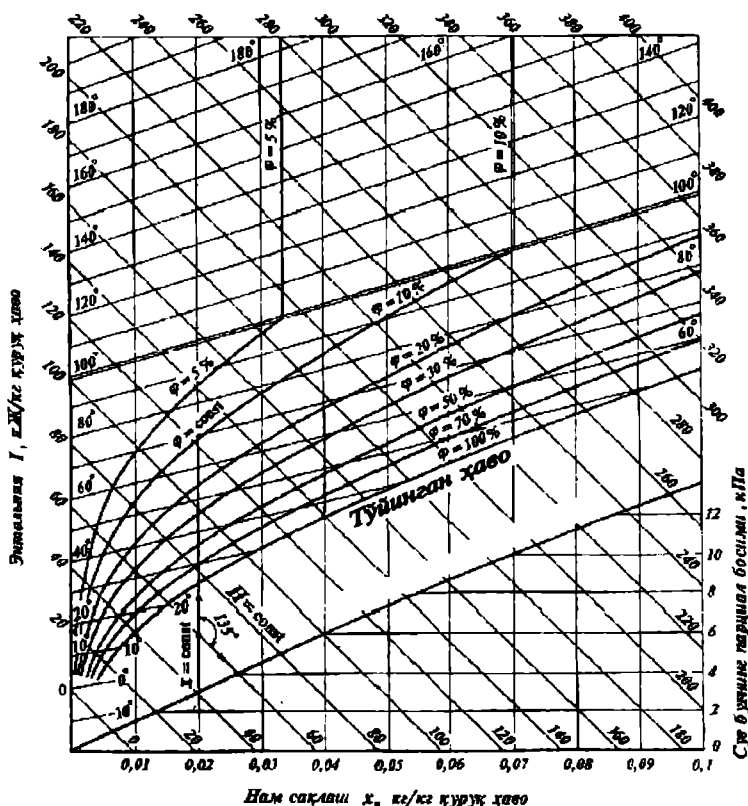
$$\rho_{акх} = \frac{M_{акх} \rho_{акх}}{RT} = \frac{29 p_{акх}}{8314 \cdot T} = \frac{P - p}{287T} \quad (5.202)$$

(5.197) тенгламадан x ва (5.202) дан $\rho_{акх}$ қийматларини олиб (5.201) га қўйсак, ушбу кўринишда ифодани оламиз:

$$\rho_{нх} = \frac{P - 0,378 \cdot p_б}{287T} \quad (5.203)$$

Иситиш, совитиш ва қуритиш жараёнларида ҳавонинг асосий хоссалари ўзгариши тасвирланган ва техник ҳисоблашлар учун етарли аниқликда Л.К. Рамзиннинг энтальпия диаграммаси ёрдамида аниқланиши мумкин.

$I - x$ диаграмма ўзгармас босим $p = 745$ мм.с.м.уст. (-99 кПа) учун қурилган (5.93-расм). Диаграмма энтальпия I (ордината ўқи) нам сақлаш x (абсцисса ўқи) координаталарида қурилган.



5.93-расм. Рамзиннинг $I - x$ диаграммаси.

Координата ўқлари 135° бурчак остида жойлаштирилган. Диаграммдан фойдаланиш қулай бўлиши учун нам сақлаш қийматлари ордината ўқига перпендикуляр, яъни қўшимча горизонтал ўқга проекцияланган.

Диаграммага қуйидаги чизиклар ўтказилган: ордината ўқига параллел ($x = \text{const}$), ўзгармас нам сақлаш вертикал чизиклар; қўшимча абсцисса ўқига 135° бурчакда ўтказилган ўзгармас энтальпия ($I = \text{const}$) қия чизиклари; ўзгармас температура (изотерма) чизиклари; ўзгармас нисбий намлик ($\phi = \text{const}$) чизиклари; нам ҳаводаги сув бугининг парциал босим p_6 чизиклари.

Ўзгармас температура чизиклари (5.200) тенглама ёрдамида қурилади. Бунинг учун x_1 ва x_2 параметрларнинг исталган қийматлари қабул қилиниб, уларга тегишли I_1 ва I_2 қийматлари ҳисобланади.

Ундан кейин, диаграммада координатлари I_1 , x_1 ва I_2 , x_2 бўлган нуқталар аниқланади. Топилган нуқталар тўғри чизик билан бирлаштирилади ва у изотерма деб номланади.

Ўзгармас нисбий намлик чизиклари (5.197) тенглама ёрдамида қурилади. $\phi = \text{const}$ чизиклари координатлари $t = -273^\circ\text{C}$ ва $x = 0$ бўлган нуқтадан тарқалувчи эгри чизиклар дастасини ҳосил қилади.

$\varphi = \text{const}$ чизиқлари бир-бирига ёпишиб кетмаслиги учун диаграмма маълум бурчакли система координатларида қурилган.

$I - x$ диаграммадан кўриниб турибдики, $99,4^\circ\text{C}$ температурада $\varphi = \text{const}$ чизиқлари синади ва юқорига вертикал кўтарилиб кетади, яъни диаграмма икки қисмга бўлинади. Ушбу температурада тўйинган сув буғининг босими 745 мм.с.м.уст. тенг бўлади. (5.197) тенгламадан кўриниб турибдики, температура $t \geq 99,4^\circ\text{C}$ етганда нисбий намлик φ температурага боғлиқ бўлмай ва ўзгармас катталиқ бўлиб қолади.

Ҳавонинг сув буғи билан тўйиниш, чизиғи, яъни $\varphi = 100\%$, диаграммани тўйинмаган нам ҳаво ва чизиқ остида жойлашган, сув буғи билан ўта тўйинган ҳаво зоналарига ажратади.

Сув буғининг парциал босим чизиқлари (5.192) тенгламани инобатга олган ҳолда (5.197) тенгламадан аниқланади:

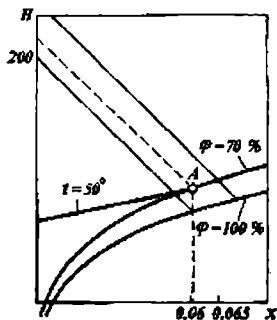
$$p_6 = \frac{P_x}{0,622 + x} \quad (5.204)$$

Сув буғининг парциал босими $I - x$ диаграмманинг пастки қисмида жойлашган. Диаграмма ёрдамида нам ҳавонинг исталган икки параметри маълум бўлса, қолган параметрларини топиш мумкин.

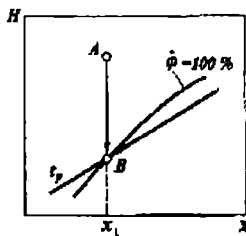
$I - x$ диаграмма ёрдамида, нам ҳавонинг исталган икки параметри орқали қолган параметрларини топиш мумкин. Масалан: ҳаво температураси $t = 55^\circ\text{C}$ ва нисбий намлиги $\varphi = 70\%$ бўлган параметрлар учун нуқта A ни аниқлаймиз (5.93а-расм). Бу нуқта учун нам сақлаш параметри $x = 0,0608 \text{ кг намлик/кг қуруқ ҳаво}$ ва энтальпияси $F = 207,25 \text{ кЖ/кг қуруқ ҳаво}$.

Шудринг нуқтаси. Ҳавонинг ўзгармас нам сақлаш параметрида совиши, унинг сув буғлари билан бутунлай тўйиниши натижасида, ҳаво ёки газ таркибидаги сув буғларининг конденсацияланиши рўй беради. Ушбу температура шудринг нуқтаси деб номланади.

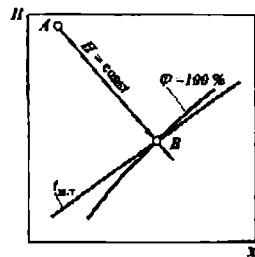
5.93б-расмда A нуқтага мос бошланғич параметрли ҳаво учун шудринг нуқта B ни график усулда аниқлаш тасвирланган. Шудринг нуқтаси $\varphi = 100\%$ ва нам сақлаш x_1 ларнинг кесилиш нуқтаси B орқали ўтган изотерма t_p сифатида аниқланади.



5.93а-расм. $I - x$ диаграмма ёрдамида маълум икки параметр орқали нам ҳавонинг қолган параметрларини аниқлаш.



5.93б-расм. $I - x$ диаграммада шудринг нуқтасини аниқлаш.



5.93в-расм. $I - x$ диаграммада ҳўл термометр температурасини аниқлаш.

Хўл термометр температураси. Ҳавонинг нам материал билан изотермик ўзаро таъсири натижасида ҳаво совийди. Бунда, ҳаво материалга ўз иссиқлигини беради ва нам материалдан ҳавога ўтаётган сув буғларининг энтальпияси ҳисобига ўз энтальпиясини орттиради. Бундай шароитда температура пасаяди, энтальпия эса ўзгармас бўлади. Ушбу изоэнтальпия жараёни ҳавонинг сув буғлари билан тўлиқ тўйингунга қадар боради, яъни $\varphi=100\%$ га эришадиган температурагача. *I-x* диаграммада *A* нуқтадан $\varphi=100\%$ чизигида *B* нуқта билан кесишгунча $I=\text{const}$ чизиги ўтказилади (5.93в-рasm). Нуқта *B* орқали ўтадиган, изоэнтальпия шароитида ҳавонинг совиш чегарасига тўғри келадиган изотерма t_{MT} — хўл термометрнинг температураси деб номланади.

Қуриштиш потенциали. Ҳаво температураси t_e ва хўл термометр температураси t_{MT} ларнинг фарқи қуриштиш потенциали ε деб аталади. Ушбу кўрсаткич ҳавонинг материалдан намликни ютиш қобилиятини характерлайди. Қуриштиш потенциали қанчалик катта бўлса, материалдан намликнинг буғланиш тезлиги шунчалик юқори бўлади. Агар, $t_e = t_{MT}$ бўлса, қуриштиш потенциали $\varepsilon = 0$.

5.41. Қуриштиш жараёни статикаси

Ҳар бир қаттиқ нам материал атроф муҳитдан намликни ютиш ёки уни атроф муҳитга бериш қобилиятига эга. Нам материални ўраб турган муҳит таркиби фақат сув буғи ёки сув буғи - газ аралашмасидан иборат бўлиши мумкин. Ҳаво билан аралашма ҳосил қилган сув буғининг парциал босимини p_6 деб белгилаймиз. Материал таркибидаги намликка тегишли сув буғининг босими деб номланади.

Материал билан нам ҳаво ўзаро таъсири пайтида система 3 ҳолатда бўлиши мумкин:

1. Қуриштилаётган нам материалдаги сув буғининг босими p_0 , материални ўраб турган ҳаво ёки газдаги парциал босимдан катта, яъни $p_0 > p_6$. Бундай ҳолда материалдан намлик атроф муҳитга десорбция қилади, яъни қуриштиш жараёни содир бўлади. Қуриштилаётган материалдаги сув буғининг босими p_0 материал намлиги, температура ва намликнинг материалга боғланиш усулига боғлиқ;

2. Атроф муҳитдаги буғнинг парциал босими, унинг нам материалдаги босимидан катта, яъни $p_6 > p_0$. Бу ҳолда, материал ва намлик орасида сорбция жараёни юз беради, яъни материал намланиши рўй беради;

3. Нам материал ва атроф муҳитдаги сув буғларининг босими бири-бирига тенг, яъни $p_0 = p_6$. Бундай ҳолда система динамик мувозанатда бўлади. Динамик мувозанат бошланишига тўғри келадиган материал намлиги мувозанат намлиги W_M деб номланади. Мувозанат намлик сув буғининг парциал босими p_6 ёки унга пропорционал бўлган ҳавонинг нисбий намлиги φ га боғлиқдир.

Мувозанат намлигининг $t = \text{const}$ да φ га боғлиқлиги *сорбция изотермаси* деб аталади ва кўпинча тажрибавий йўл билан топилади.

Қуриштиш жараёнида материал сиртидаги буғ босими камайиб боради ва мувозанат намлигига интилади. Намлаш жараёнида эса аксинча бўлади, яъни материал сиртидаги буғ босими ортиб бориб, мувозанат намлигига интилади.

Материал намлиги эркин ва боғланган ҳолда бўлиши мумкин.

Эркин намлик деб материалдан буғланаётган намликнинг буғланиш тезлиги сувнинг эркин юзадан ($p_0 = p_m$) буғланиш тезлигига тенг бўлган намлик тушунилади. Маълумки, материалдаги боғланган намликнинг буғланиш тезлиги эркин юзадан сувнинг буғланиши тезлигидан ҳар доим кичик бўлади. Бунда, $p_0 < p_m$, бу ерда p_m - сув буғининг тўйиниш босими.

Материал таркибидаги намликни характерлаш учун материал намлиги W (%) ва нам сақлаш x (кг намлик/кг қуруқ ҳаво) деган тушунчалар қўлланилади.

Материал намлиги материалнинг умумий миқдори ёки унинг таркибидаги абсолют қуруқ модда миқдorigа нисбатан ҳисобланиши мумкин.

5.42. Материал билан намликнинг боғланиш усуллари

Материал билан намликнинг боғланиши классификацияси акад. Ребиндер П.А. томонидан ишлаб чиқилган бўлиб, унга боғланиш энергияси асос қилиб олинган. Ушбу боғланиш қуйидаги шаклларда бўлиши мумкин:

намликнинг кимёвий боғланиши, кимёвий реакция натижасида ҳосил бўлади;

намликнинг физик-кимёвий боғланиши, ярим ўтказувчан қобиқча орқали газ молекулаларининг адсорбцияси натижасида ҳосил бўлади;

намликни физик-механик боғланиши, микрокапилляр ($r < 10^{-7}$), макрокапиллярлар ($r > 10^{-7}$) томонидан буғларни ютишда, ҳамда гель ҳосил бўлади;

Сиртий намлик энг осон, кимёвий боғланган намлик эса, энг қийин йўқотилади.

Кимёвий боғланган намлик гидрооксид суви кўринишида бўлиб, гидратация реакцияси натижасида гидрооксид ва кристаллогидрат типидagi бирикмалар таркибига кириб олади. Ушбу намликни қиздириш йўли билан йўқотиш мумкин.

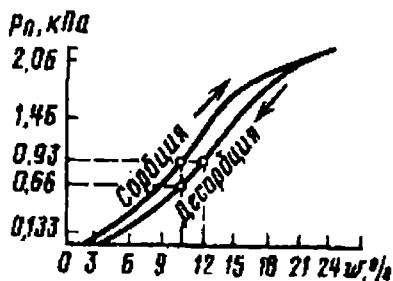
Физик-кимёвий боғланиш шакллари турли-туман бўлади:

Адсорбцион боғланган намлик. Ушбу намлик атроф муҳит ва коллоид заррачани ажратиб турувчи чегара юзасида ушланиб туради. Коллоид заррачалар катта юза ва юқори адсорбцион қобилият тузилишга эга. Адсорбцион намлик молекуляр кучли майдон ёрдамида тортилиб туради. Адсорбцион намлик йўқотилиши даврида иссиқлик ажраб чиқади ва у гидратация иссиқлиги деб номланади.

Осмотик боғланган намлик ёки бўртиш намлиги материал скелети ичида бўлади ва осмотик кучлар ёрдамида ушланиб турилади.

Капилляр - боғланган намлик микро- ва макрокапиллярлар ичида бўлади. Ушбу намлик материал билан механик боғланишда бўлади ва нисбатан осон бартараф этилади.

Намликнинг материал билан боғланиши қанчалик мустаҳкам бўлса, материал юзасидаги буғ босими шунчалик кам бўлади. Энг мустаҳкам боғланиш гигроскопик моддаларда бўлади.



5.94-расм. Крахмал намлигининг сорбция — десорбция изотермалари.

Материал билан намлик боғланиш турларини характерлаш учун сорбция десорбция изотермалари қўлланилади. 5.94-расмда сорбция ва десорбция изотермалари келтирилган.

Десорбция эгри чизиғи (десорбция изотермаси) нам крахмалдан намлик йўқотилиши даври учун қурилган, яъни уни қуритиш жараёнида.

Сорбция эгри чизиғи крахмални намлаш даври учун қурилган ва сорбция изотермаси деб

номланади. Сорбция ва десорбция эгри чизиклари ўзига хос шаклдаги **гистерезис ҳалқаси** деб аталади.

Гистерезис ҳодисасидан қуйидаги хулосага келиш мумкин: бир хил қийматга эга бўлган мувозанат намликка эришиш учун ҳавонинг нисбий намлиги, қуриштиш жараёнида материални намлаш жараёнига нисбатан катта бўлиши зарур.

Буни, қуритилаётган материал капиллярларида ҳаво борлиги, яъни ҳавонинг капилляр деворларида сорбцияланиши билан тушунтириш мумкин.

Озиқ овқат маҳсулотларининг сорбция-десорбция характеристикаларини, яъни ҳаво намлиги ва унинг температурасини аниқлаш имкони беради.

Сорбция изотермалари таҳлили ёрдамида материал билан намликнинг боғланиш усулини билиш мумкин. 5.95-расмда қотирилган нон сорбция изотермалари келтирилган. Маҳсулотнинг бошланғич намлиги W_6 , охиригиси эса — $W_{ox} = W_m$ (бу ерда W_m — мувозанат намлиги). Материал намлигининг W_6 дан W_{ox} гача ўзгариш оралиги **қуриштиш соҳаси** дейилади. Бу соҳада материалдан чиқадиган намлик йўқотилади. Гигроскопик намлик W_2 дан W_{ox} гача бўлган оралик десорбция соҳаси деб аталади. Мувозанат намлик эгри чизигининг юқорисидасорбция, яъни материал намланиш, соҳаси бўлади. Материалнинг нам ҳолати (материал таркибида эркин боғланган намлик) ва гигроскопик ҳолатларини (материалда фақат боғланган намлик) гигроскопик намлик ажратиб туради.

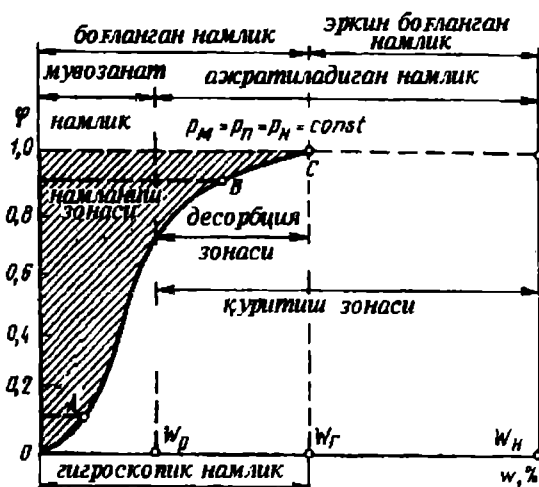
Нисбий намлик $\varphi = 0,4$ бўлганда, изотерма абсцисса ўқиға нисбатан бўртиқ кўринишга эга. Ушбу ҳолат мономолекуляр адсорбцияга хосдир. Материал билан намлик боғланишини енгилш учун мономолекуляр адсорбцияда жуда катта миқдорда иссиқлик сарфланиши зарур. Нисбий намлик $\varphi = 0,1...0,9$ оралиғида изотерманинг **AB** бўлаги ордината ўқиға нисбатан бўртиқ кўринишга эга. Ушбу ҳолат полималекуляр адсорбцияга хосдир. Бу намликни йўқотиш учун мономолекуляр адсорбцияда намликни йўқотишга сарфланадиган иссиқлик миқдори нисбатан кам бўлади.

Изотерманинг **BC** ($\varphi = 0,9...1,0$) бўлаги микрокапилляр ($r < 10^{-8}$ см) лардаги намликни ифодалайди.

Механик боғланган эркин намлик материалдан механик усулда ажратиб олиниши мумкин.

Материални сув билан боғланиши натижасида унинг устидаги сув буғларининг босими пасаяди. Шунинг учун, эркин энергия ҳам камаяди.

Ўзгармас температурада эркин энергия ёки боғланиш энергиясининг камаиши иш билан ифодаланаяди. Бу иш 1 моль сувни материалдан ажратиш учун сарфланади ва уни акад. Ребиндер П.А. томонидан келтириб чиқарилган формула ёрдамида топиш мумкин:



5.95-расм. Қотирилаган нон намлигининг сорбция — десорбция изотермалари.

$$E = RT \ln \frac{p_r}{p_m} = -RT \ln \varphi \quad (5.205)$$

бу ерда p_m - тўйинган сув буғи босими; p_m - намлиги x бўлган материал устидаги сув буғининг мувозанат парциал босими; φ - ҳавонинг нисбий намлиги.

Материал билан намлик боғланиши қанчалик мустақкам бўлса, шунчалик p_m катталиги кичик бўлади. Эркин сувни ажратиш даврида, $p_m = p_m$ бўлгани учун (5.205) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$E = RT \ln 1 = 0$$

Материални қуритиш жараёнида боғланиш энергияси аста-секин қўпайиб боради, чунки материал намлиги камайиши билан адсорбцион боғланган намлик улуши ортади.

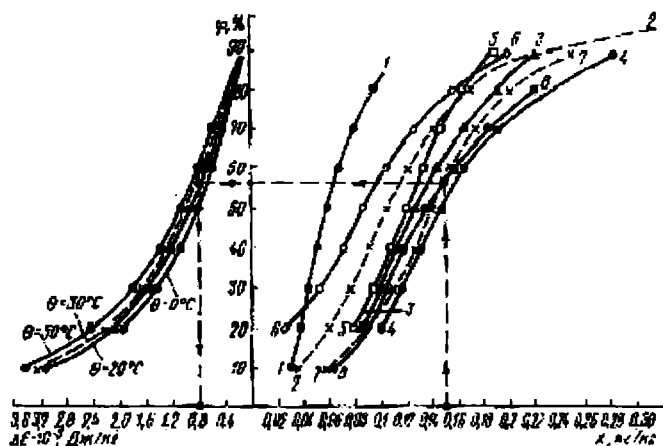
5.96-расмда айрим озиқ - овқат маҳсулотлар мувозанат намликларининг эгри чизиклари, ҳамда турли температураларда боғланиш энергия функциялари келтирилган.

Ушбу графикдан фойдаланиб, боғланиш энергияси ва боғланган намликни йўқотиш учун зарур иш миқдорини аниқлаш мумкин.

Қуритиш жараёнидаги умумий иссиқлик сарфи:

$$Q = Q_{буғ} + Q_{бн}$$

бу ерда $Q_{буғ}$ эркин намликни буғланиши учун сарфланадиган иссиқлик; $Q_{бн}$ буғланган намликни йўқотиш учун сарфланадиган иссиқлик.



5.96-расм. Турли маҳсулотларда намликни боғланиш энергиясини аниқлаш чизмаси.

1 - писта ($t=20^\circ\text{C}$); 2 - буғдой ($t=50^\circ\text{C}$); 3 - маккажўхори ($t=20^\circ\text{C}$); 4 - жавдари буғдой ($t=0^\circ\text{C}$); 5 - тозаланган гуруч ($t=20^\circ\text{C}$); 6 - ун ($t=24^\circ\text{C}$); 7 - маккажўхори крахмали ($t=20^\circ\text{C}$); 8 - макарон ($t=30^\circ\text{C}$).

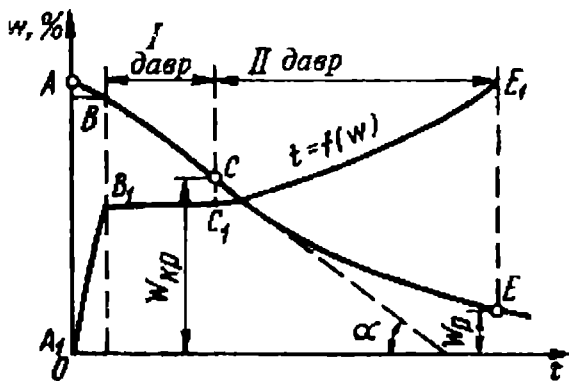
5.43. Қуритиш жараёни кинетикаси

Юқорида қайд этилгандек, қуритиш жараёни мураккаб иссиқлик ва масса алмашилиш жараёндир. Материалдаги намлик унинг ичидаги фазаларни ажратиб турувчи юзага масса ўтказувчанлик, ажратиб турувчи юзадан газ оқими ядросига эса - конвектив диффузия ҳисобиға ўтказилади.

Материал таркибидаги намликнинг диффузияси на фақат нам сақлаш градиенти, балки температура градиенти ҳам таъсири остида рўй беради.

Материалдаги диффузияни аналитик усулда ифодалаш жуда қийин масала. Маълумки, қуритиш жараёни тезлиги материал билан намликнинг боғланиш шакли ва унда намликнинг диффузия механизмига боғлиқ. Қуритиш жараёни кинетикаси материалнинг нам сақлаши ёки ўртача намлигининг маълум вақтдан кейин ўзгариши билан характерланади.

Одатда, қуритиш тезлигини тажрибавий усулда топиш учун қуритиш эгри чизиги қурилади, сўнг у дифференциалланиб қуритиш тезлигининг эгри чизиги ҳосил қилинади.



5.97-расм. Қуритиш эгри чизиги.

5.97-расмда материал намлиги W ва қуриш вақти t орасидаги боғлиқлик тасвирланган.

Ундан ташқари, расмда материал температурасининг намликка боғлиқлиги ҳам келтирилган.

Типик қуритиш эгри чизиги қуритиш жараёнининг турли даврларини ифодаловчи бир неча қисмдан иборат.

Жараён бошланишида нам материал қизийди ва ундан намлик буғланиб чиқа

бошлайди. Материалнинг қуритиш температурасигача қизиши AB кесма билан ифодаланади. Ундан сўнг, ўзгармас қуритиш тезлиги даври (BC кесма), яъни I давр, бошланади. Бу давр қиялик бурчаги α нинг ўзгармас тангенсли тўғри чизиги (BC кесма) билан ифодаланади ва C нуқтада якунланади. Ушбу даврда материалнинг температураси термометрнинг ҳўл температураси (температура эгри чизигидаги B_1C_1 кесма) қийматига тенг бўлади. Ўзгармас қуритиш тезлиги даврида узатилаётган иссиқлик, материалдаги эркин намликни буғланишига сарфланади. Ушбу, ўзгармас қуритиш тезликли давр тўғри чизик билан ифодаланади ва у биринчи критик тезлик $W_{кр}$ га етганда тамом бўлади.

$W_{кр}$ дан бошлаб эса камаювчи тезлик даври бошланади, яъни материал намлиги аста - секин камаяди ва у CE кесма билан ифодаланади. Бу даврда материалдаги температураси C_1E_1 эгри чизик бўйлаб кўтарилади. Қуритиш жараёни охирида материал намлиги асимптотик равишда мувозанат намлиги W_M га яқинлашиб боради. Материал W_M намликка эришиши билан ундан намлик чиқиши тўхтайди. Ушбу дақиқада материал температураси уни ўраб турган иссиқлик элткич температурасига (E_1 нуқта) тенг бўлади. Лекин, мувозанат намлигига эришиш учун анча вақт зарурдир.

Қуритиш тезлиги вақт бирлигида намлик ўзгаришини ифодалайди, яъни $dW/d\tau$ (%/соат) ёки $dx/d\tau$ (c^{-1}).

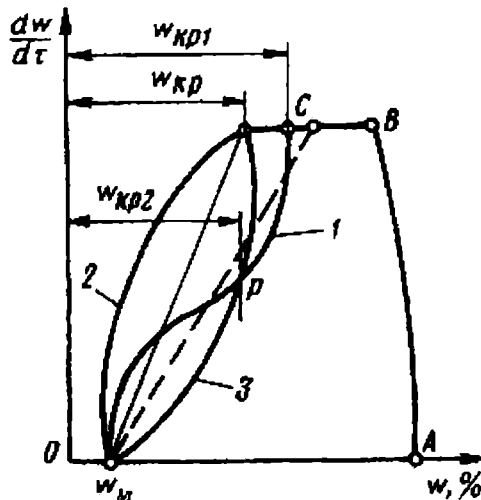
Қуритиш тезлиги бўйича маълумотлар асосида қуритиш тезлигининг эгри чизиклари қурилади (5.98-расм).

BC горизонтал кесма қуритиш жараёнининг биринчи, CE эса - иккинчи даврдаги тезлигини кўрсатади.

Жараённинг биринчи даврида эркин боғланган намлик йўқотилади ва унинг тезлиги ташқи диффузия зонасидаги масса алмашилиш қаршилиги, яъни конвектив масса бериш коэффициентини билан аниқланади. Биринчи критик тезликка оид C нуқтада материал ташқи юзасидаги намлик гигроскопик намликка тенг бўлиб қолади.

$W_{кр}$ дан бошлаб материалдан боғланган намлик ҳайдалиб бошланади ва жараён тезлиги анча сусаяди. Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, қуритиш тезлиги эгри чизиқларининг кўриниши 5.98-расмда келтирилгандан анча фарқ қилиши мумкин. Намликнинг материал билан боғланиш шакллариға қараб, иккинчи даврнинг ўзи бир неча даврдан иборат бўлиши мумкин (5.99-расм).

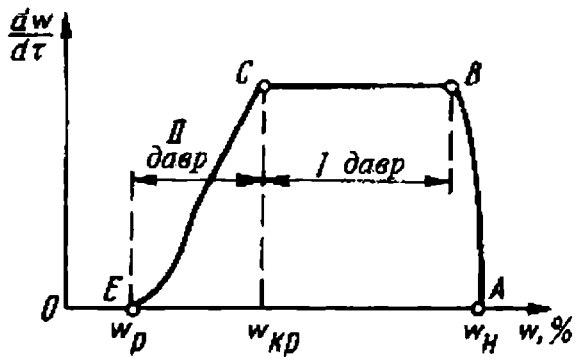
Расмдаги эгри чизиқ 1 типик капилляр - ғовакли жисмлар учун хосдир. Чизиқнинг тепа қисми капилляр, пастки қисми эса - $W_{кр}$ га тенг адсорбцион намликни йўқотиш тезлигини ифодалайди. Эгри чизиқ 2 газлама ва юпқа листли материаллар, 3 эса - керамик материалларни қуритиш жараёнини характерлайди.



5.99-расм. Капилляр - ғовакли материалларнинг қуритиш тезлиги эгри чизиқларининг тасвири.

турувчи юзадан газ оқими ядросига намликнинг тарқалиши эса, конвектив диффузия усулида ўтади.

Маълумки, капилляр ғовакли материалларда модданинг тарқалиши концентрация ва температура градиентлари остида бўлиши мумкин. Температура градиенти таъсирида қаттиқ материалда рўй берадиган намликнинг



5.98-расм. Қуритиш тезлигининг эгри чизиғи.

Қуритиш тезлиги жараённинг муҳим технологик параметри бўлиши - қуритиш интенсивлигини аниқлаш имконини беради.

Материал намлигининг буғланиш интенсивлиги, қуритилаётган материал юзаси бирлигидан вақт бирлигида чиқариб юборилаётган намлик миқдори билан белгиланади, яъни:

$$m = \frac{W}{F\tau}$$

бу ерда τ - қуритиш жараёнининг умумий давомийлиги.

Қаттиқ нам материалда намликнинг диффузияси 5.6-расмда келтирилган. Қаттиқ материал ичидан ташқи юзасига намликнинг тарқалиши масса ўтказувчанлик усулида боради. Фазаларни ажратиб

тарқалиши термодиффузия ҳисобига бўлади. Агар, материални қуритиш қаттиқ режимларда олиб борилса, яъни температуралар градиенти салмоқли бўлганда, термодиффузия ҳодисаси намоён бўлади.

$p = \text{const}$ бўлганда, массавий оқимни ушбу тенглама билан ифодалаш мумкин:

$$i = \frac{dW}{Fd\tau} = \pm k \rho_{\text{акм}} \left(\frac{\partial x}{\partial l} + \delta \frac{\partial t}{\partial l} \right) \quad (5.206)$$

бу ерда k - масса ўтказувчанлик коэффиценти, $\text{м}^2/\text{соат}$; $\rho_{\text{акм}}$ - абсолют қуруқ материал зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; x - материалнинг нам сақлаши, $\text{кг}/\text{кг}$ -қуруқ материалга; l - изоконцентрацион юза нормали; δ - термонамлиқ ўтказувчанлик коэффиценти, К^{-1} ; t - температура, К .

(5.206) тенгламанинг биринчи қўшилувчиси концентрация градиенти таъсирида, иккинчиси эса - температура градиенти таъсирида модда узатилишини характерлайди.

Тенгламадаги кинетик k ва δ коэффицентлар температура ва жисм намлиги функциясидир. Шунинг учун, нам материалда намликнинг тарқалишини унда иссиқлик алмашиниш билан биргаликда қараш керак. Иссиқлик алмашиниш Фурьенинг иссиқлик ўтказувчанлик қонуни билан ифодаланади.

$$\frac{dQ}{Fd\tau} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}$$

Юқорида келтирилган масса ва иссиқлик ўтказувчанлик тенгламалар асосида А.В. Ликов томонидан капилляр - ғовакли жиемда иссиқлик ва масса алмашишининг дифференциал тенгламалар системаси келтириб чиқарилган:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l} \left(k \frac{\partial x}{\partial l} + k \delta \frac{\partial t}{\partial l} \right) \quad c \rho_{\text{акм}} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial l} \right) + \epsilon \frac{\partial x}{\partial \tau} \quad (5.207)$$

бу ерда $\epsilon = dx_{\phi}/dx$ - фазавий ўзгариш критерийси; r - буғланиш иссиқлиги, $\text{кЖ}/\text{кг}$.

Ушбу тенгламадаги λ , c , ϵ ва r коэффицентлар ўзгарувчи катталиклар бўлиб, жисмнинг намлиги ва температурасига боғлиқ.

(5.207) даги биринчи тенглама қаттиқ жисмда намлик ва температура градиентлари таъсирида нам сақлашнинг ўзгариш тезлигини ифодалайди. Иккинчи тенглама эса, иссиқлик ўтказувчанлик ва ички буғланиш ҳисобига температура майдони ўзгариш тезлигини характерлайди.

Конвектив қуритишда моддалар диффузияси йўналишига қарши йўналган термодиффузия оқими масса ўтказувчанлик тезлигини пасайтиради.

Материалдаги нотургун концентрация ва температура майдонларини топиш учун дифференциал тенгламалар системасини ечиш керак. Қуритиш жараёнини бундай ҳисоблаш усули, керакли намликка эришиш вақтини ва қуриткич ўлчамларини аниқлаш, назарий жиҳатдан ўринлидир.

Лекин, дифференциал тенгламалар системасини ечиш учун масса ва иссиқлик ўтказиш коэффицентларини материал намлиги ва температурага боғлиқлигини билиш зарур. Юқорида қайд этилган ҳамма коэффицентлар, c ва r дан ташқари, x ва t га боғлиқлиги жуда мураккабдир.

Проф. А.Н. Плановский томонидан қуритиш жараёнини фақат масса ўтказувчанлик коэффиценти k орқали ҳисоблаш мумкинлиги исботланган. Унга биноан, (5.207) нинг биринчи тенгламаси ушбу кўринишни олади:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial l} \left(k^* \cdot \frac{\partial x}{\partial l} \right) \quad (5.208)$$

бу ерда k^* - ҳам термодиффузия, ҳам масса ўтказувчанликни характерловчи коэффицент бўлиб, фақат материал намлигига боғлиқ.

Агар, намликнинг маълум оралиғида $k = \text{const}$ ва $\delta = \text{const}$ деб қабул қилсак, (5.208) чизиқли тенглама кўринишига келади:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = k \frac{\partial^2 x}{\partial l^2} \quad (5.209)$$

Қуритиш жараёнининг бошланғич шартларига, қаттиқ материалда намликнинг бир текисда тарқалиши, яъни $\tau = 0$ бўлганда $x = x_0 = \text{const}$ тўғри келади.

(5.208) ва (5.209) тенгламалар таҳлилидан қуйидаги кўринишдаги критериял формула келтириб чиқарилади:

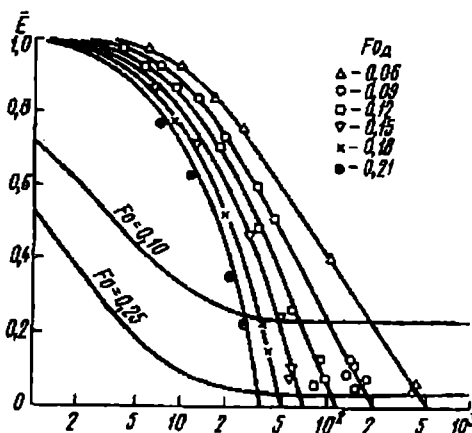
$$E = f(Bi_l, Fo_l) \quad (5.210)$$

бу ерда E - материалдаги намликнинг ўлчамсиз концентрацияси, яъни:

$$E = \frac{x - x_M}{x_0 - x_M}$$

бу ерда x_M - материалдаги намликнинг мувозанат концентрацияси; $Bi_0 = \beta l / (k \cdot \rho_k)$ - Био диффузион критерийси; $Fo_0 = k \tau / l^2$ - Фурье диффузион критерийси.

Нотўғри геометрик шаклдаги жисмлар учун (5.210) тенглама $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$ параметрик критерийлар билан тўлдирилиши мумкин.



5.100-рasm. Иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини ечишга оид $Fo_0 = \text{const}$ ва $Fo = \text{const}$ чизиқлари.

Агар материалнинг иссиқлик - физик хоссалари ва жараён давомида температуранинг ўзгариши маълум бўлса, қуритиш кинетикаси проф. А.Н.Плановский ва проф. С.П.Рудобашта томонидан таклиф этилган иссиқлик ўтказувчанлик тенгламалари асосида ҳисоблаш усулидан фойдаланиш мумкин. Лекин, Фурье тенгламаси ва масса ўтказувчанлик тенгламалари орасидаги ўхшашлик расмий характерга эга. $Fo = \text{const}$ чизиқларининг турли характери температура ўтказувчанлик коэффиценти a нинг t дан ва масса ўтказувчанлик коэффиценти k^* нинг x дан боғлиқликлари орасида принципиал фарқ борлигини кўрсатади (5.100-рasm)

$Fo_0 = const$ эгри чизиклар $k = f(x)$ функцияни характерлайди.

Тўғри геометрик шаклли жисм ва чексиз оқим учун (5.200) тенглама-нинг умумий ечими ушбу кўринишда бўлади:

$$E = \frac{x - x_u}{x_0 - x_u} = \sum_1^{\infty} A_n \exp(-\mu_n^2 Fo_{0,1}) \quad (5.211)$$

бу ерда $A = f(Bi_0, \mu_n)$ - жисм шакли, чегаравий ва бошланғич шартларига боғлиқ бўлган жисм функцияси: μ_n - характеристик тенгламалар илдизлари.

Капилляр-говакли жисмда масса ўтказувчанлик бўйича маълумотлар бўлса, (5.211) тенгламадан i - интервалда қуритиш вақтини аниқлаш мумкин (бу ерда $k_i = const$):

$$\tau_i = \sum_1^n \frac{\ln \prod_1^3 \frac{\beta_{j,i}}{E_i}}{k_i \sum_{j=1}^n \frac{\mu_j^2}{R_j^2}} \quad (5.212)$$

бу ерда $\mu_{j,i}$ ва $\beta_{j,i}$ - j йўналишда жисм юзаси шаклига ва намлик ўзгаришининг i - оралиғидаги Bi_m нинг катталиги.

Амалиётда қуритиш вақтини аниқлаш учун кинетика ва қуритиш тезли-ги эгри чизикларидан ёки кинетик тенгламалардан фойдаланилади.

Кинетик тенгламалар ёрдамида қуриткичнинг асосий ўлчамлари ҳисобланади. Даврий қурилмаларда - қуритиш жараёни давомийлиги, узлуксиз ишлайдиган қуриткичларда материални қуритиш вақти ёки фазалар ўзаро таъсир учун зарур юза аниқланади.

Умумий ҳолатда даврий жараёнлар учун умумий қуритиш вақти қуйидаги тенгламадан ҳисобланади:

$$\tau_{y\kappa} = \tau_1 + \tau_2 \quad (5.213)$$

бу ерда τ_1 - биринчи даврда қуритиш давомийлиги, соат; τ_2 - иккинчи даврда қуритиш давомийлиги, соат.

τ_1 нинг қиймати масса ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади:

$$\tau_1 = \frac{W}{\beta_x F \cdot \Delta x_{yp}} \quad \text{ёки} \quad \tau_1 = \frac{W}{\beta_p F \Delta P_{yp}} \quad (5.214)$$

бу ерда x_{yp} - жараённинг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучи.

$$\Delta x_{yp} = \frac{\Delta x_0 - \Delta x_{ox}}{2,3 \lg \frac{\Delta x_0}{\Delta x_{ox}}} \quad \text{ёки} \quad \Delta P_{yp} = \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{ox}}{2,3 \lg \frac{\Delta P_0}{\Delta P_{ox}}}$$

бу ерда $\Delta x_0 = (x_{my\ddot{u}} - x_0)$ - қуритиш жараёнидаги тўйинган ҳаво нам сақлаши ва ишчи нам сақлашларнинг бошланғич фарқи, кг/кг қуруқ ҳаво; $\Delta x_{ox} = (x_{my\ddot{u}} - x_{ox})$ жараён охиридаги нам сақлашлар фарқи, кг/кг қуруқ ҳаво; $\Delta P_0 = (P_{my\ddot{u}} - P_0)$ қуритиш жараёнидаги тўйинган ҳаво парциал босими ва ишчи парциал босимларнинг фарқи; $\Delta P_{ox} = (P_{my\ddot{u}} - P_{ox})$ - жараён охиридаги парциал босимлар фарқи.

Куритиш жараёнининг биринчи даври учун кинетик қонун масса бериш тенгламаси билан ифодаланиши мумкин:

$$W = \beta_x F(x_{myi} - x) \cdot \tau; \quad W = \beta_p F(p_{myi} - p) \cdot \tau \quad (5.215)$$

бу ерда W - буғлатилган суюқлик миқдори, кг; F - фазалар ўзаро таъсир юзаси, м²; x_{myi} - материал ташқи юза температурасидаги тўйинган ҳаво нам сақлаши, кг/кг қуруқ ҳаво; x - ҳавонинг ҳақиқий нам сақлаши, кг/кг қуруқ ҳаво; β_p - масса бериш коэффициентни, кг/(м²·соат·Па); p_{myi} - материал юзаси атрофидаги тўйинган ҳаво сув буғларининг босими, Па; p - ҳаводаги сув буғининг парциал босими, Па.

Куритиш жараёнининг биринчи даврида масса бериш коэффициентини ҳисоблаш учун қуйидаги тахминий формуладан фойдаланиш мумкин:

$$Nu = 2 + A Re^n \cdot Pr_{\text{д}}^{0,33} \cdot Gu^{0,133} \quad (5.216)$$

бу ерда $Gu = (T_c - T_m)/T_c$ - Гухман критерийси; T_c - муҳит температураси, К; T_m - материал ташқи юзасининг температураси, К.

Формуладаги константа A ва даража кўрсаткичи n Рейнольдс критерийсига боғлиқ, яъни Nu , Re ва Pr критерийларидаги параметрлар газ оқимининг ўртача температурасида ҳисобланади.

Re	A	n
200...25000	0,385	0,57
25000...70000	0,102	0,73
70000...315000	0,025	0,9

Куритиш жараёни иккинчи даврининг давомийлигини ҳисоблаш учун Шервуд - Ликов тахминий усулидан фойдаланса бўлади. Лекин, қуритиш тезлигининг эгри чизиғи тўғри чизиқ тенгламаси билан ифодаланиш шарти бажарилиши зарур. Иккинчи давр учун кинетик қонун ушбу кўринишга эга:

$$-\frac{dW}{Fd\tau} = K(x - x_m) \quad (5.217)$$

бу ерда K - қуритиш тезлиги коэффициенти; x - материалнинг шу ондаги намлиги, кг/кг қуруқ ҳаво; x_m - материалнинг мувозанат намлиги, кг/кг қуруқ ҳаво.

Лекин, қуритиш тезлигининг x_{kp} ва x_{ox} ораликдаги ўзгариши тўғри чизиқли қонунга бўйсинмайди. Шунинг учун, (5.217) тенглама 40...60% хатолик беради.

Моддий баланс тенгламасини ҳисобга олсак:

$$dW = Gdx = KF(x - x_m) \cdot d\tau$$

бу ерда G - қуритилаётган материал массаси, кг.

Математик ўзгартиришлардан сўнг ушбу кўринишга эришамиз:

$$2,3 \lg \frac{x_{kp} - x_m}{x_{ox} - x_m} = \frac{KF}{G} \tau \quad (5.218)$$

Охирги тенгламадан иккинчи даврдаги қуритиш жараёни давомийлигини аниқлаш мумкин:

$$\tau_2 = \frac{G}{KF} 2,3 \lg \frac{x_{кр} - x_m}{x_{ох} - x_m} \quad (5.219)$$

Агар қуритиш жараёни узлуксиз бўлса, биринчи ва иккинчи даврларни ўтказиш учун зарур бўлган фазалар тўқнашиш юзасини ушбу тенгламадан топамиз:

$$F_{ум} = F_1 + F_2 \quad (5.220)$$

бу ерда F_1 - биринчи даврдаги газ ва материаллар ўзаро таъсир юзаси, m^2 ; F_2 - иккинчи даврдаги фазалар тўқнашиш юзаси, m^2 .

W/τ ни W_r орқали белгилаб, (5.213) ва (5.214) тенгламалардан F_1 ни топамиз:

$$F_1 = \frac{W_r}{\beta_p \cdot \Delta P_{ур}} = \frac{W_r}{\beta_x \cdot \Delta x_{ур}} \quad (5.221)$$

G/τ ни G_r деб белгилаб, (5.219) тенгламадан ушбу қўринишни оламиз:

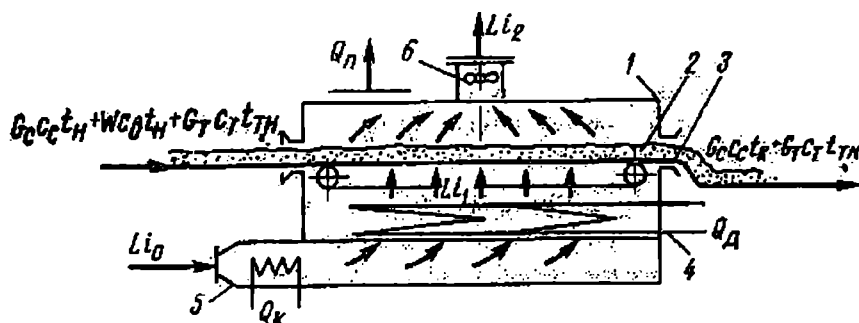
$$F_2 = \frac{G_r}{K} 2,3 \lg \frac{x_{кр} - x_m}{x_6 - x_m} \quad (5.222)$$

Шундай қилиб, қуритиш жараёни тезлигини оширувчи омилларга қуйидагилар кирази:

- жараён температурасини кўтариш;
- қуритилаётган материал устидаги бўшлиқда босимни пасайтириш;
- иссиқлик элткич нам сақлашини камайтириш;
- материал устидаги иссиқлик элткич тезлигини ошириш;
- жараён давомида материални аралаштириш.

5.44. Қуриткичининг моддий ва иссиқлик баланслари

Конвектив қуритиш қурилмаси қуриткич, транспорт мосламаси, вентилятор ва калорифердан таркиб топган деб фараз қилайлик (5.101-расм).



5.101-расм. Конвектив қуриткич схемаси.

1 - қуриткич; 2 - нам материал; 3 - лентали транспортер; 4 - қўшимча калорифер; 5 - асосий калорифер; 6 - вентилятор.

Қуритишга узатилаётган нам материалнинг массавий сарфини G_6 (кг/соат), қуритилган материал массавий сарфини G_{ox} (кг/соат), материалнинг бошланғич ва охириги намликларини W_1 ва W_2 (%), буғланган намлик миқдорини W (кг/соат) деб белгилаб оламиз.

Унда, жараённинг моддий балансини ушбу тенглама кўринишида ифодалаш мумкин:

$$G_6 = G_{ox} + W \quad \text{ёки} \quad W = G_6 - G_{ox} \quad (5.223)$$

Қуруқ моддалар бўйича моддий балансни қуйидаги ёзиш мумкин:

$$G_6 = (100 - W_1) = G_{ox}(100 - W_2) \quad (5.224)$$

ёки

$$G_{ox} = G_6 \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \quad (5.225)$$

Буғлатилган намлик миқдори эса, ушбу тенгламадан ҳисоблаб аниқланади:

$$W = G_6 \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \quad (5.226)$$

Қуриткичга узатилаётган газ ёки абсолют қуруқ ҳаво миқдорини L (кг/соат), бошланғич нам сақлашини x_1 ва охиригисини x_2 деб белгилаб оламиз.

Унда, намлик бўйича моддий баланс:

$$W + Lx_1 = Lx_2 \quad (5.227)$$

бундан қуруқ ҳаво сарфи:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \quad (5.228)$$

Ҳавонинг солиштирма сарфи (1 кг намликни буғлатиш учун кетаётган сарф) эса,

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad (5.229)$$

Конвектив қуритишнинг иссиқлик балансини ҳам 5.101-расм асосида тузамиз. Қуритиш вақтида иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнлари биргаликда ўтади. Моддий ва иссиқлик оқимлар орасида маълум боғлиқлик мавжуд. Контактли қуритиш жараёнида иссиқлик материални қандайдир бошланғич қуритиш температурасигача иситиш ва қуритиш учун сарфланади.

Қуритишга кираётган материал миқдори $G_c + W$ (кг/соат) бўлиб, у масса-си G_m бўлган конвейерда жойлашган. Қуриткичга L (кг/соат) миқдорда абсолют қуруқ ҳаво узатилмоқда. Калориферда иситилаётган ҳавога Q_k (кЖ/соат) миқдорда иссиқлик узатилса, қурилмада эса унга қўшимча Q_d (кЖ/соат) иссиқлик берилади.

Куритиш жараёнида қатнашаётган материал, иссиқлик элткич ва мосламалар параметрларини қуйидагича белгилаб оламиз:

G_c куритилаётган материал массаси, кг/соат;
 c_c куритилган материал солиштира иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К);
 c_T транспорт мосламасининг солиштира иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К);

t_n материалнинг куритишгача бўлган температураси, °С;
 c_θ сувнинг солиштира иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К);
 t_k материалнинг куритилгандан кейинча температураси, °С;
 t_{mn}, t_{mk} - транспорт мосламасининг куриткичга киришдан аввалги ва ундан чиққандан кейинги температуралари, °С;

I_0 - куриткичга кираётган ҳавонинг солиштира энтальпияси, кЖ/кг;
 I_1 калориферда иситилаётган ҳавонинг солиштира энтальпияси, кЖ/кг;

I_2 - куриткичдан чиқаётган ҳавонинг солиштира энтальпияси, кЖ/кг;
 Q_n атроф муҳитга иссиқликнинг йўқотилиши, кЖ/кг.

Жараённинг иссиқлик баланс тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$LI_0 + Q_k + Q_n + G_c c_c t_n + W c_\theta t_n + G_T c_T t_{mn} = LI_2 + G_c c_c t_k + G_T c_T t_{mk} + Q_n \quad (5.230)$$

Ушбу тенгламадан куритиш учун керакли иссиқлик сарфини аниқлаш мумкин:

$$Q = Q_k + Q_d = L \cdot (I_2 - I_0) + G_c c_c (t_k - t_n) + G_T c_T (t_{mk} - t_{mn}) - W c_\theta t_n + Q_n \quad (5.231)$$

Агар, ҳамма иссиқлик сарфларини буғлатилаётган 1 кг намликка нисбатан олиб, тегишли белгилашларни амалга оширсак, (5.231) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$q = q_k + q_d = l \cdot (I_2 - I_0) + q_m + q_T + q_n - c_\theta t_n \quad (5.232)$$

Ушбу тенгламадан калорифердаги солиштира иссиқлик сарфини топамиз:

$$q_k = l \cdot (I_2 - I_0) + q_m + q_T + q_n - q_d - c_\theta t_n \quad \text{ёки} \quad q_k = l \cdot (I_2 - I_0) \quad (5.233)$$

Олинган q_k қийматини (5.232) тенгламага қўйиб, қуйидаги кўринишга эришамиз:

$$l \cdot (I_1 - I_0) + q_d = l \cdot (I_2 - I_0) + q_m + q_T + q_n - c_\theta t_n$$

ёки

$$l \cdot (I_1 - I_0) = q_d + c_\theta t_n - q_m - q_T - q_n \quad (5.234)$$

Агар, $q_d = 0$ бўлса

$$l \cdot (I_2 - I_0) = c_\theta t_n - q_m - q_T - q_n$$

(5.234) тенгламанинг ўнг томонини

$$(q_{\text{д}} + c_{\text{с}} t_{\text{н}}) - (q_{\text{м}} + q_{\text{т}} + q_{\text{н}}) = \Delta \quad (5.234\text{а})$$

деб белгиласак, ушбу кўринишга эришамиз:

$$l(I_2 - I_1) = \Delta$$

ёки

$$I_2 = I_1 + \frac{\Delta}{l} \quad (5.235)$$

Агар, (5.229) тенгламани инобатга олсак, ушбу тенгламага эришамиз:

$$\frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} = \Delta \quad (5.236)$$

оралиқ, бирор ондаги қийматлар учун эса:

$$\frac{I - I_1}{x - x_1} = \Delta \quad (5.237)$$

(5.237) тўғри чизик тенгламаси бўлиб, қуриштиш жараёнининг ишчи тенгламаси деб номланади.

Шундай қилиб, энтальпия ва нам сақлашлар орасидаги боғлиқлик тўғри чизик функцияси билан характерланади.

Қуриштиш жараёнларини таҳлил қилиш учун назарий қуриткич тушунчасини киритамиз. Қуриштишга узатилаётган материал температураси нольга тенг, ҳамда материал ва транспорт воситалар иситилиши бўлмаган қурилма, назарий қуриткич деб аталади. Унда, (5.234а) тенгламага биноан, $\Delta = 0$ бўлади. Бунда $I \neq 0$ ва (5.235) тенгламадан назарий қуриштиш учун $I_1 = I_2$ эканлигини аниқлаймиз. Шундай қилиб, $I - x$ диаграммада жараён $I = \text{const}$ чизиги билан тасвирланади. Назарий қуриткичда материал намлигининг буғланиши фақат ҳавонинг совиши ҳисобига бўлади. Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ҳаво бераётган иссиқлик миқдори материалдан буғланган намлик билан бирга қайтарилади.

Ҳақиқий қуриткичларда ҳавонинг энтальпияси кўпчилик ҳолларда ўзгарувчан бўлади.

Агар иссиқликнинг кириши унинг сарфидан катта ($q_{\text{д}} + c_{\text{с}} t_{\text{н}} > q_{\text{м}} + q_{\text{т}} + q_{\text{н}}$) бўлса, яъни $\Delta > 0$, унда (5.235)га биноан $I_2 > I_1$ бўлади. Бундай ҳолларда қуриткич иқтисодий жиҳатдан тежамсиз режимда ишлайди, чунки ҳамма иссиқлик фойдали сарфланмайди.

Агар, $\Delta < 0$ дан бўлса, унда $I_2 < I_1$ бўлади. Бундай ҳолларда қуриткич тежамкор ва самарали ишлайди.

Ҳақиқий қуриткичларда $\Delta = 0$ бўлган тенглик ҳоллари ҳам бўлиши мумкин. Бундай ҳолатда қуриткичга кираётган иссиқлик унинг сарфига тенгдир, яъни, $q_{\text{д}} + c_{\text{с}} t_{\text{н}} = q_{\text{м}} + q_{\text{т}} + q_{\text{н}}$

Контактли қуриткичда намликни буғлатиши учун зарур иссиқлик фазаларни ажратиб турувчи девор орқали узатилади. Ушбу қуриштиш жараёнида иссиқлик элткич сифатида тўйинган сув буғи ишлатилади.

Узатилаётган иссиқлик материални қуритиш температурасигача иситиш ва унинг ичидаги намликни йўқотиш учун сарфланади, яъни $Q_{ум} = Q_n + Q_c$

Материални иситиш учун иссиқлик сарфи

$$Q_n = D_n (I'' - I') = G_c c_c (t_{c\theta} + t_K) + W c_\theta (t_{cн} - t_n) + Q_n \quad (5.238)$$

Қуритиш учун зарур иссиқлик сарфи

$$Q_c = D_c (I'' - I') = G_c c_c (t_{cк} + t_{cн}) + W (I_\theta - c_\theta t_{cн}) + Q_n \quad (5.239)$$

Бугнинг умумий сарфи

$$D_{ум} = \frac{Q_{ум}}{I'' - I'} \quad (5.240)$$

Конвектив қуритиш жараёнини $I - x$ диаграммада тасвирлаш учун ҳавонинг 2 та бошланғич параметри t_1 ва x_1 берилган бўлиши керак. Жараён тамом бўлгандан сўнг, ҳавонинг охириги 3 та параметрларидан, яъни нисбий намлик, температура ёки нам сақлашдан, биттаси қабул қилинади.

Кейин, ҳавонинг бошланғич параметрларини ифодаловчи ва берилган ($\varphi = const$, $t_2 = const$ ёки $x = const$) нуқталар бўйича $I - x$ диаграммада қуритиш жараёнининг ишчи чизиги ўтказилади. Топилган нуқта бўйича иссиқлик элткич ҳавонинг ҳамма охириги параметрлари, ҳамда унинг сарфи ва иссиқлик миқдори аниқланади.

I-x диаграммада қуритиш учун ҳаво ва иссиқликнинг сарфини аниқлаш

Қуритиш жараёни $I-x$ диаграммада қуйидагича тасвирланади (5.102-расм). Калориферга кираётган ҳавонинг температураси t_0 ва унинг нисбий намлиги φ_0 бўлган параметрли ҳаво диаграммада A нуқта билан ифодаланади. Ушбу параметрли ҳавонинг нам сақлаши x_0 .

Калориферда ҳавонинг t_0 дан t_1 температурагача иситиши ўзгармас нам сақлаш $x_0 = x_1$ да ўтади ва жараён диаграммада вертикал кесма AB билан ифодаланади. Нуқта B га изотерма t_1 тўғри келади.

Қуритиш жараёнида ҳаво ҳолатининг ўзгаришини қуйидаги тенглама ёрдамида аниқлаймиз:

$$I(I_1 - I_2) = \Delta \quad (5.241)$$

бу ерда Δ -иссиқликнинг солиштирма сарфи.

Агар қуриткичга қўшимча иссиқлик узатилмаса $Q_{қўш} = 0$, унда

$$q_M + q_T + q_{ўйқ} > q_W$$

яъни $\Delta > 0$. Қуриткичдан чиқиб кетаётган иссиқ ҳавонинг энтальпияси унга кираётгандан кичик ($I_2 < I_1$).

Агар қуриткичга қўшимча иссиқлик $Q_{қўш}$ узатилса, унда

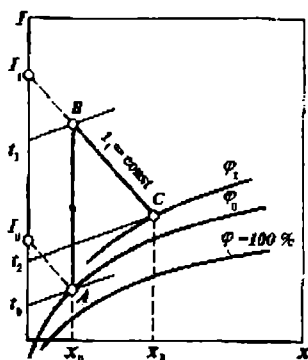
$$q_M + q_T + q_{ўйқ} < q_{қўш} + q_W$$

яъни $\Delta < 0$. Қуриткичдан чиқиб кетаётган ҳавонинг энтальпияси ортиб боради ($I_2 > I_1$).

Лекин, шундай қуритиш шароитларини ташкил этиш мумкинки, унда

$$q_M + q_T + q_{\text{ўқ}} = q_{\text{қўш}} + q_W$$

яъни $\Delta=0$ ва $I_1=I_2=\text{const}$.



5.102-расм. I - x диаграммада назарий қуритиш жарёнининг график тасвири.

Қуриткичда ҳаво энтальпияси ўзгармасдан кечадиган жараён назарий қуритиш деб номланади. I - x диаграммада назарий қуритиш жарёни B нуқтадан $I=\text{const}$ бўйлаб ҳавонинг юқори нам сақлаш қийматлари ўнгга томон йўналган чизиғи билан ифодаланади. Ушбу чизиқ C нуқтадаги изотерма t_2 ёки нисбий намлик φ_2 тўхтайдиган (5.102-расм). Нуқта C нинг абсциссаси ишлатиб бўлинган иссиқ ҳаво нам сақлаши x_2 ни кўрсатади.

Агар, x_2 ва x_0 маълум бўлса, ҳавонинг солиштирма сарфи L , унинг сарфи $L=I \cdot W$ ва калориферда ўзатилаётган иссиқлик миқдори $Q=L(I_1-I_0)$ аниқланиши мумкин. Ҳисоблашларда ишлатиладиган ҳамма катталиклар (x_0 , x_2 , I_0 , I_1) I - x диаграммадан топилади.

Агар, $\Delta \neq 0$ бўлган ҳолларда C нуқта $I=\text{const}$ чизиғидан юқорида ёки пастда бўлади.

Аввал $\Delta > 0$ бўлган шароит учун I - x диаграммада қуритиш чизиғининг шаклини кўрамиз. Бошлангич маълумотлар бўйича назарий қуритишнинг чизиғи BC ни топамиз. Қуриткичга қўшимча иссиқлик узатилганда ($\Delta > 0$), ҳақиқий қуриткичнинг чизиғи B нуқтадан бошланиб, $I_1=\text{const}$ чизиғининг юқорисидан ўтади (5.103-расм). Ҳақиқий қуриткич чизиғини топиш учун BC кесмада ихтиёрий C_1 нуқтани танлаймиз ва вертикал, горизонтал чизиқлар ўтказиб D , D_1 ва E , E_1 нуқталарни топамиз. BC_1E_1 ва BCE , ҳамда BD_1C_1 ва BDC учбурчакларнинг ўхшашлигидан қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$\frac{CE}{CD} = \frac{C_1E_1}{C_1D_1}$$

Нуқта E да ҳаво энтальпияси I_1 бўлиб, C да эса - I_2 бўлгани учун, уларга тегишли кесмалар $CE=I_1-I_2$ ва $DC=x_2-x_1$ га тенг бўлади.

Демак,

$$\frac{CE}{CD} = \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_1}$$

Аммо, $\Delta=(I_1-I_2)/(x_2-x_1)$ эканлигини инобатга олсак, яъни

$$\frac{CE}{CD} = \Delta = \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_1}$$

Агар, C_1 нуқтанинг координатларининг x ва I деб белгилаб олсак, унда тегишли кесмалар қуйидаги кўринишни олади:

$$C_1E_1 = I_1 - I \quad \text{ва} \quad C_1D_1 = x - x_0$$

Юқорида келтирилганларни ҳисобга олсак, ушбу нисбатни оламир:

$$\frac{CE}{CD} = \frac{C_1 E_1}{C_1 D_1} = \Delta = \frac{I_1 - I_2}{x_2 - x_0} = \frac{I_1 - I}{x - x_0}$$

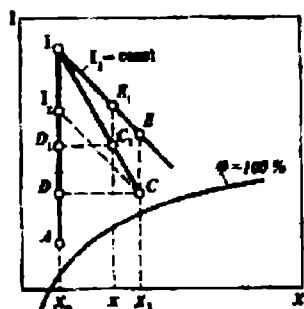
ёки

$$I_1 - I = \Delta(x_2 - x_0)$$

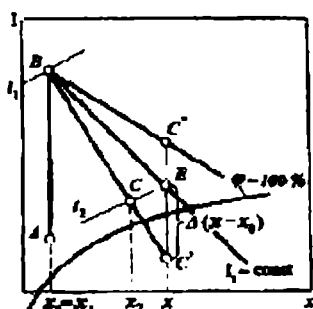
Демак, BC қуритиш чизиғи Δ катталикини ҳавонинг бошланғич параметрлари I_1 ва x_0 , ҳамда координатлар I ва x лар билан боғлайди.

Шундай қилиб, юқорида келтирилганларга асосланиб исталган ҳолат учун қуритиш чизиғининг йўналишини топиш мумкин.

Агар, $\Delta < 0$ бўлса, яъни қуриткичда иссиқликнинг йўқотилиши мавжуд бўлса, ҳақиқий қуриткичнинг чизиғини тузиш аввалги мисолдан (яъни $\Delta > 0$ бўлгандан) фарқ қилмайди (5.103а-расм). Қуритиш чизиғи BC' кесма билан ифодаланади.



5.103-расм. Қуритиш жараёнининг ишчи чизиғини I - x диаграммада тасвирлаш.



5.103а-расм. I - x диаграммада қуритиш чизиғини аниқлаш.

5.45. Қуритиш жараёнини ташкил этиш усуллари

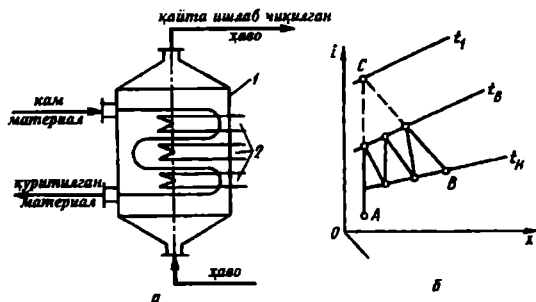
Кимё, озиқ овқат ва бошқа саноатларда ҳаво қиздирилиши ва бир марта қуритиш камерасидан ўтиши каби энг содда қуритиш жараёнидан ташқари бошқа усуллар ёрдамида ҳам жараённи ташкил этиш мумкин. Саноат миқёсида қуйидаги усуллар қўлланилади: ҳавони кўп марта оралиқ иситиш йўли билан қуритиш, ишлатилган ҳавони қисман рециркуляция қилиш йўли билан қуритиш, ишлатилган ҳаводан кўп марта фойдаланиш йўли билан қуритиш.

Ҳавони кўп марта оралиқ иситиш йўли билан қуритиш схемаси 5.104-расмда келтирилган.

Одатда, бу усулда ҳавонинг юқори t_0 ва қуйи t_n температуралари қабул қилинади. Даставвал ҳаво t_0 температурагача қиздирилади ва ундан сўнг нам материал билан ўзаро таъсирда бўлиб, t_n температурагача совийди. Кейин, калориферда ҳаво яна t_0 температурагача қиздирилади ва яна материал билан ўзаро таъсирда бўлиб t_n температурагача совийди ва ҳ. Бу ҳолда ҳавонинг охириги температураси B нуқта орқали аниқланади.

Қуритишнинг бу усулида нам материални нисбатан паст температурали иссиқ ҳаво ёрдамида қуритиш имкони бор. 5.104б-расмдаги пунктир чи-

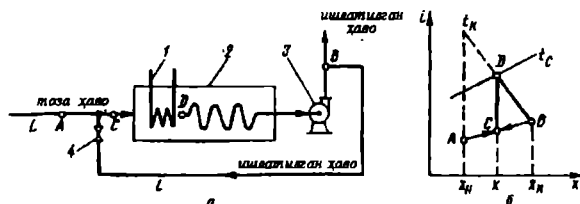
зиқлардан кўриниб турибдики, агар иссиқлик элткич камералар оралиғида қўшимча қиздирилмаганда, ҳавони t_1 температура (C нуқта) гача қиздириш зарур бўлар эди.



5.104-расм. Ҳавони кўп марта оралиқ иситиш йўли билан қуритиш схемаси (а) ва жараёнинг $i - x$ диаграммадаги (б) тасвири.
1 - қуритиш камераси; 2 - калорифер.

Бу усулда юқори температураларга чидамли материаллар қуритилади.

Ишлатилган ҳавони қисман рециркуляция қилиш йўли билан қуритиш схемаси 5.105-расмда кўрсатилган. Диаграммада A нуқтани ифодаловчи параметрли иссиқ ҳаво, ишлатиб бўлинган ҳаво (AC ва BC чизиқлар) билан аралашади ва калориферда t_c температурагача қиздирилади. Ундан кейин, қиздирилган ҳаво нам материал билан ўзаро таъсир эттирилади. Нам ҳавонинг сўнгги параметрларини B нуқта характерлайди.



5.105-расм. Ишлатилган ҳавони қисман рециркуляция қиладиган қуриткич схемаси (а) ва жараёни $i - x$ диаграммада тасвирлаш (б).
1 - калорифер; 2 - қуритиш камераси; 3 - вентильатор; 4 - кран.

Оддий қуритиш усулига нисбатан бу усул пастроқ температураларда, яъни t_k ўрнига t_c да ва газ оқимининг юқори тезликларида ўтказилади.

Юқорида қайд этилган ҳавонинг параметрлари ва унинг қуриткичдаги тезлиги аралашуш карралиги $n = l/L$ га боғлиқ. Циркуляцияли ва циркуляциясиз қуритиш усуллари ва ҳаво ҳолатининг ўзгариш оралиғи бир хил бўлганда, иссиқлик сарфи

сиқлик сарфи ҳам бир хил бўлади.

Ишлатилган газ кўп марта фойдаланиш усулида қуритиш схемаси 5.106-расмда келтирилган.

Қуритувчи газ сифатида тоза ва қиммат газлар, масалан водород, ишлатилганда ушбу усулни қўллаш мақсадга мувофиқ. Бундай ҳолларда ишлатиб бўлинган газни атмосферага чиқариб бўлмайди. Шунинг учун, бу схемалар ёпиқ циркуляцияли бўлади.

Сув буғлари билан тўйинган газ калориферда қиздирилади (AB кесма). Натижада унинг нисбий намлиги пасаяди ва қуритиш қобилияти ортади. Ундан кейин, газ ва материал ўзаро таъсирда бўлади (BC кесма) ва намлик билан тўйинади. Сўнг эса, намланган газ шудринг нуқтасигача (CD кесма) совутилади. Лекин, намланган газ таркибидаги бир қисм намлик конденсацияланади

(ДЕ кесма). Кейин эса, газ қиздирилади ва яна қуриткичга йўналтирилади.

Бу қуритиш усули ҳавонинг паст температураси, юқори бошланғич нам сақлаш ва нисбий намликлари билан характерланади. Ундан ташқари, қуриткичда газ тезлиги ҳам жуда катта. Газ тезлигининг юқори бўлиши масса бериш коэффициентини ва биринчи даврда қуритиш тезлигининг орттишига олиб келади.

Юқорида қайд этилган қуритиш усуллари керакли миқдордаги иссиқликни узатиш ва майин қуритиш режимларини таъминлайди.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, у ёки бу қуритиш усули жараёни тезлаштириши ёки секинлаштириши, уни ўтказиш шароитига таъсир этиши мумкин. Лекин, иссиқлик сарфига салмоқли таъсир этмайди, чунки у қуритувчи газнинг бошланғич ва охириги параметрлари билан аниқланади.

5.46. Қуриткичлар конструкциялари

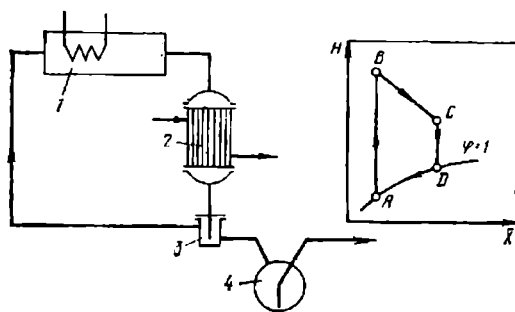
Кимё, озиқ - овқат ва бошқа саноатларда қўлланиладиган қуриткичлар конструкциялари турли - тумандир. Улар бир биридан ҳар хил белгиларига қараб фарқланади. Қаттиқ, нам материалга иссиқлик узатиш турига қараб конвектив, контактли ва махсус қуриткичларга бўлинади. Иссиқлик элткич сифатида ҳаво, газ ва буг қўлланилиши мумкин. Қуритиш камерасидаги босим катталигига қараб, вакуум ва атмосфера босимида ишлайдиган қуриткичларга бўлинади. Жараёни ташкил этиш усулига қараб, даврий ва узлуксиз ишлайдиган қуриткичлар бўлиши мумкин. Ундан ташқари, материал ва иссиқлик элткич ҳаракатига қараб параллел, қарама-қарши ва ўзаро кесишган йўналишли қуриткичлар тайёрланади. Юқорида қайд этилганлардан қўриниб турибдики, қуриткичларни умумлаштирувчи классификация қилиш жуда қийин.

Шунинг учун, қуйида иссиқликни узатиш ва қуритилаётган материал қатламининг ҳолатига қараб гуруҳларга ажратилган қуриткичлар конструкцияларини кўриб чиқамиз.

Ҳалқ хўжалигининг турли соҳаларида камерали, туннелли, лентали, шахтали, сиртмоқли, мавҳум қайнаш қатламли, барабанли, тебранма, жўвали, пурковчи, пневматик, икки поғонали ва бошқа қуриткичлар қўлланилади.

Камерали қуриткичлар конвектив қурилмалар ичида энг содда тузилган ва қобик 1 ичида вагонетка 2 лар жойлашган бўлади.

Вагонеткалар токчаларида нам материал жойлаштирилади. Ҳаво калориферда қиздирилиб, вентилятор ёрдамида ҳайдалади ва материал устидан ёки ичидан ўтиб намликни буғлатади. Ишлатиб бўлинган ҳавонинг бир қисми янги ҳаво билан аралаштирилади. Бу турдаги қуриткичлар, одатда атмосфера босимида ишлайди. Улар кичик корхоналарда майин режим ва паст температурада нам материалларни қуритиш учун мўлжалланган. Афзалликлари: тузилиши

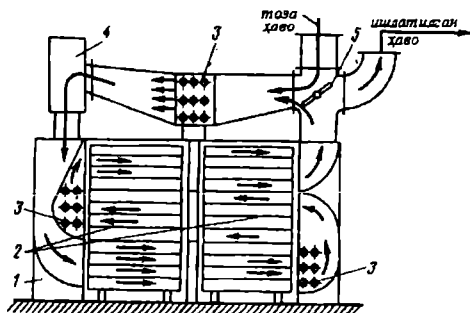


5.106-расм. Ишлатилган газдан қўп марта фойдаланиш усулида қуритиш схемаси.

1 - қуриткич; 2 - конденсатор-совуткич; 3 - сув ажраттич; 4 - йигич.

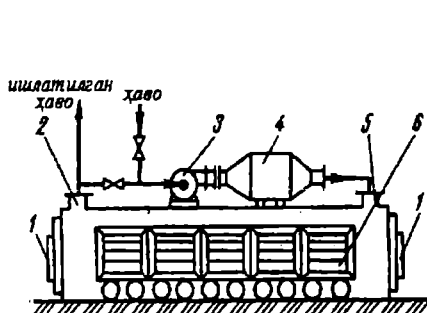
содда ва таъмирлаш осон. Камчиликлари: камерали куруткичларнинг иш унумдорлиги кичик ва маҳсулот қуриши бир текисда эмас.

Туннелли қуриткичлар. Жараёни тайшқил этиш бўйича бу қурилмалар узлуксиз ишлайдиган қуриткичлар қаторига киради. Бу қуриткичлар тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли узун камерадан иборатдир (5.108-расм). Нам материал юкланган аравачалар темир рельслар устида ҳаракатланади. Қурилманинг кириш ва чиқиш эшиклари зич ёпилади. Аравачаларнинг қуриши камерасида бўлиш вақти қуриши жараёни давомийлигига тенг. Материал юкланган аравачаларнинг камерадан бир марта ўтишида нам материал қурилади. Иссиқлик элтқич калориферда қиздирилиб, вентилятор ёрдамида қурилмага узатилади.



5.107-расм. Камерали куриткич.

1 - қобік; 2 - вагонетка;
3 - калорифер; 4 - вен-
тилятор; 5 - шибер.



5.108-расм. Туннели куриткич.

1-эшикчалар; 2-газоход;
3- вентилятор; 4-кало-
рифер; 5- қобик; 6-ма-
териалли араваца.

Бу турдаги куриткичларда иссиқлик элткич қисман рециркуляция қилинади. Нам материал ва иссиқлик элткич параллел ёки қарама – қарш йўналишли бўлиши мумкин. Кўпинча калорифер ва вентилятор куриткичнинг ёнига ёки томига ўрнатилади. Ишлатиб бўлинган ҳаво қувур орқали атмосферага чиқариб юборилади. Бу турдаги қурилмаларда, материални аралаштириб бўлмайди ва қуриш бир текисда эмас; туннелли куриткичлар ўлчами катта, донасимон материалларни, сабзавот, мева, макарон ва бошқа маҳсулотларни қуритиш учун мўлжалланган. Куриткич камчиликлари: қуритиш тезлиги кичик, жараён узоқ муддатда давом этади ва бир текисда эмас.

Лентали куруткичлар узлуксиз ишлайдиган куруткичлар қаторига кира-ди (5.109-расм).

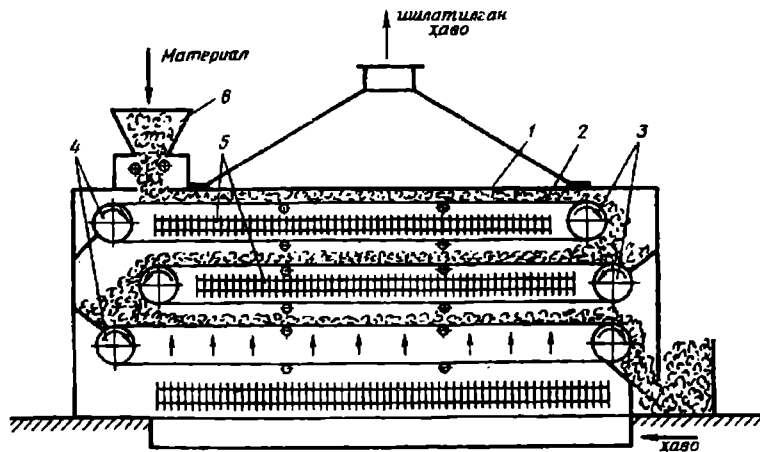
Нам материал қурилманинг тепа қисмидаги бункер орқали юкланади ва конвейернинг юқори лентасига тушади. Одатда, иккита барабан орасига тортилган лента тешикли бўлади ва нам материал унинг устида ҳаракатланади. Лентанинг иккинчи учига етганда, материал пастки конвейерга тўкилади. Энг пастки конвейердан, қурилган материал чиқариш бункерига тўкилади.

Қуритилаётган материалнинг бир лентадан иккинчиси тўкилиб ўтиши унинг аралашишига сабабчи бўлади. Натижада, қуритиш тезлиги ортади. Кўпинча бундай қуриткичлар кўп лентали қилиб ясаллади.

Материал ва иссиқлик элткич ўзаро кесишган йўналишда ҳаракатланади.

Шу билан бирга, параллел ва қарама - қарши йўналишли қуриткичлар ҳам ишлаб чиқарилади. Бундай қуриткичларда иссиқлик элткич қисман рециркуляция қилиниши мумкин.

Ҳавони рециркуляция ва оралиқ қиздирилиши туфайли лентали куриткичларда майин куритиш режимларига эришиш мумкин.

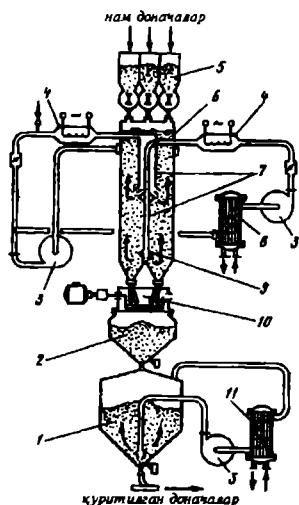


5.109-расм. Лентали қуриткич.

1 - қобик; 2 - лентали конвейер; 3 - етакловчи барабанлар; 4 - етакланувчи барабанлар; 5 - калорифер; 6 - юкловчи мосламали бункер.

Лентали қуриткичларнинг айрим конструкцияларида, бир текисда қуритишга эришиш учун, материал қатламини аралаштириш ва қатламни текислаш учун лента устига махсус ағдирувчи мослама ўрнатилади.

Қуриткичнинг асосий камчиликлари: қўпол, қўп жой эгаллайди, таъмирлаш ва эксплуатация қилиш мураккаб, иш унумдорлиги кичик ва иссиқлик сарфи катта.



5.110-расм. Сочилувчан, дондор материалларни қуритиш учун шахтали қуриткич.

1 - бункер - совуткич; 2 - оралиқ бункер; 3 - газодувка; 4 - калорифер; 5 - бункер; 6 - шахта; 7 - иссиқлик элткични узатиш трубалари; 8 - конденсатор-совуткич; 9 - жалюзлар; 10 - қадоқлагич; 11 совуткич.

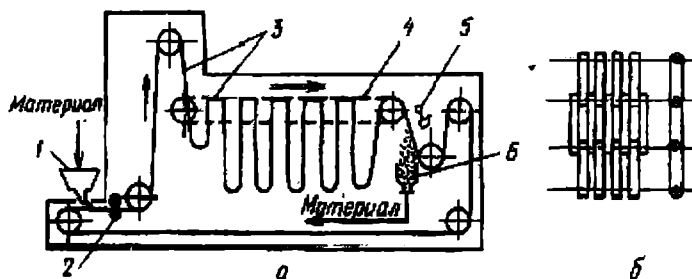
Шахтали қуриткичлар дондор, сочилувчан материалларни қуритиш учун ишлатилади (5.110-расм). Иссиқлик элткични узатиш учун қуриткичнинг ўқи бўйлаб трубалар ўрнатишган.

Трубаларнинг иккинчи учида иссиқлик элткични бир хилда тақсимлаш учун жалюзлар ўрнатишган. Иссиқлик элткични узатиш ва циркуляция қилиш системаси қуритиш ҳажмини иккита зонага бўлади. Биринчи зонада иккинчидан чиқаётган иссиқликдан фойдаланилади. Биринчи зонада асосан сиртий намлик, иккинчисида эса - ички намлик йўқотилади.

Иккинчи зонага юборилаётган иссиқлик элткич даставвал шу зонадаги конденсаторда қисман қуритилади. Қуриткичнинг тепа қисмида иккила оқим бир-бирига аралашиб кетади ва калориферда қиздирилгандан сўнг, газодувка ёрдамида қуриткичнинг биринчи зонасига узатилади. Қуритилган мате-

риални тўкиш узлуксиз ишлайдиган токчали қадоклагич ёрдамида амалга оширилади.

Сиртмоқли қуриткичлар пастасимон материалларни узлуксиз қуритишга мўлжалланган қурилмалардир (5.111-расм).



5.111-расм. Сиртмоқли қуриткич (а) ва тўрли лента элементи (б).

1 - нам материал таъминлагич; 2 - иситиладиган жувалар; 3 - чексиз тўрли лента; 4 - занжирли конвейер; 5 - таянчли механизм; 6 - шнекли бункер.

Сиртмоқли қуриткичларда материал 5...20 мм ли қатламда, икки томонидан иссиқ ҳаво билан иситиладиган жувалар қиздирилиши натижасида (масалан, қоғоз) қуритилади. Бу қурилмада камерали қуриткичга қараганда жараён тезлиги юқори. Қуриткич камчиликлари: конструкцияси мураккаб ва эксплуатацион сарфлар катта.

Тебранма қуриткичлар майин дисперс, полидисперс, қумоқ — қумоқ ва шулар каби бошқа, яъни мавҳум қайнашга мойил бўлмаган, материалларни қуритиш учун мўлжалланган. Дисперс материал қатламига паст частотали тебранишлар таъсири қатламдаги иссиқлик ва масса алмашилиши жараёнларни интенсивлайди. Ундан ташқари, тебранишлар ўзаро кесишган йўналишли, юқори самарадор ва идеал сиқиб чиқарувчи қуриткичлар яратиш имконини очиб беради. Бу турдаги қуриткичларда температура ва концентрация майдонлари бир текисда бўлади.

Тебранма мавҳум қайнаш қатламини вертикал, горизонтал ва новли қурилмаларда ташкил этиш мумкин.

Кимё ва озиқ овқат саноатларида новли қуриткичлар энг кенг тарқалган. Лекин, шуни алоҳида қайд этиш керакки, бу қурилмалар кичик қиялик бурчак остида ўрнатилган бўлади (5.112-расм).

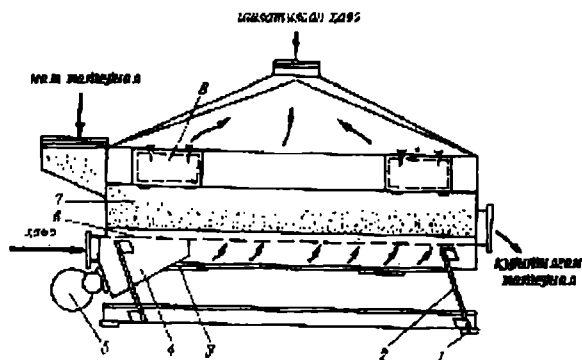
Қуриткич узатмаси маятникли юриткич - тебратгичдан иборат. Қатлам орқали ўтаётган газ оқими ва паст частотали тебранмаларнинг бир вақтда таъсири натижасида тебранма мавҳум қайнаш қатлами ҳосил бўлади. Бундай қатламда масса ва иссиқлик алмашилиши жуда юқори бўлади.

Барабанли қуриткичлар узлуксиз ишлайдиган қурилмалар қаторига кирди ва атмосфера босимида дондор, сочиловчан материалларни (минерал туз, фосфорит, қанд лавлаги турпи, буғдой, шакар ва ҳ.) қуритиш учун қўлланилади. Иссиқлик элткич сифатида ҳаво ёки тутун газлари хизмат қилади.

Барабанли қуриткичлар ичи бўш цилиндрдан иборат бўлиб, уфқга нисбатан кичик қиялик бурчагида ўрнатилган бўлади (5.113-расм).

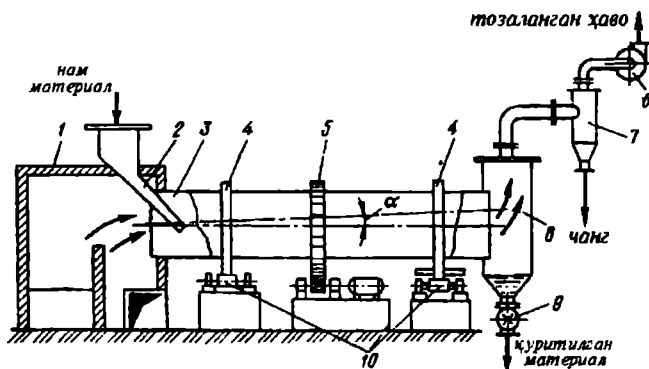
Барабан бандаж ва роликларга таяниб туради. Унинг айланиши электр юриткич ва редуктор, ҳамда тишли ғилдирак ёрдамида амалга оширилади. Барабаннинг айланиш частотаси 5...8 мин⁻¹ дан ошмайди. Қуриткичга нам материал таъминлагич ёрдамида узатилади. Барабан айланиши даврида материал

тепага қўтарилиб пастга тўкилади ва бу жараён узлуksиз давом этади. Шу билан бирга, қурилма ўрнатилгани ва ичига махсус насадкалар жойланганлиги сабабли, қуритилаётган материал тўкиш бункери томонига қараб ҳаракатланади. Одатда насадкалар цилиндрик барабаннинг бутун узунлиги бўйлаб жойлаштирилади. Барабан ичида материал иссиқлик элткич билан ўзаро таъсирда бўлиб қуригилади.



5.112-расм. Тебранма мавҳум қайнаш қатламли қуригич.

- 1 - амортизатор; 2 - пружина; 3 - тўкиш люки; 4 - тебраткич; 5 - юриткич; 6 - газ тақсимловчи тешикли панжара; 7 - тарнов; 8 - кузатиш ойнаси.



5.113-расм. Барабанли қуригич.

- 1 - ўтхона; 2 - бункер; 3 - барабан; 4 - бандаж; 5 - тишли филдирак; 6 - вентилятор; 7 - циклон; 8 - тўкиш бункери; 9 - шлюзли таъминлагич; 10 - таянч роликлар.

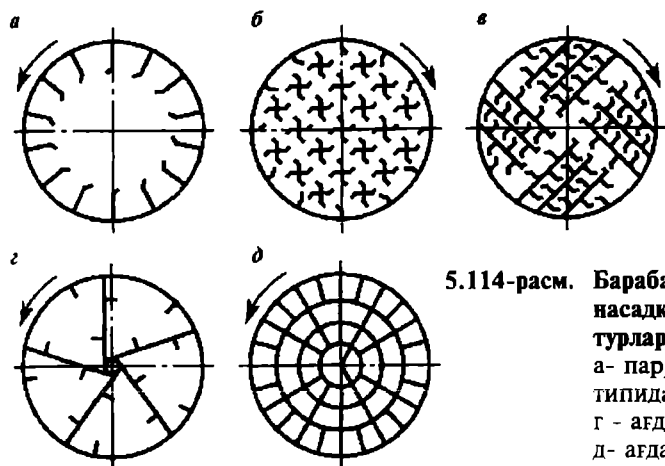
Материал ва қуригич элткич билан ўзаро таъсир самарасини ошириш учун турли хилдаги насадкалар мавжуд.

Насадкалар нам материални бир текисда тарқатади ва уни иссиқлик элткич билан ювилиб туришини яхшилаиди. Насадка тури материал хоссаларига қараб танланади (5.114-расм).

Йирик бўлакчи ва ёпишиб қолишга мойил материалларни қуригиш учун қўтарувчи куракчали насадкаларни қўллаш мақсадга мувофиқ. Майда, сочилувчан материалларни қуригиш учун эса, тақсимловчи насадкалар қўлланилади. Майин дисперс, кукунсимон, чангийдиган материаллар эса ағдарувчи насадкали қурилмада қуригилади.

Иссиқлик элткич ва материал параллел ва қарама-қарши йўналишда ҳаракатланиши мумкин. Параллел йўналишли қуригичларда материал ўта

қизиб кетиш олдини олиш мумкин, чунки иссиқлик элткич юқори намликка эга материал билан ўзаро таъсирда бўлади. Қуритилаётган материал таркибидаги кукунсимон фракция учиб кетмаслиги учун вентилятор ҳайдаётган иссиқлик элткич тезлиги 2...3 м/с дан ошмаслиги керак. Ишлатилган газ атмосферага чиқариб юборишдан аввал циклонда тозаланади.



5.114-расм. Барабанли қуриткич насадкаларининг асосий турлари.

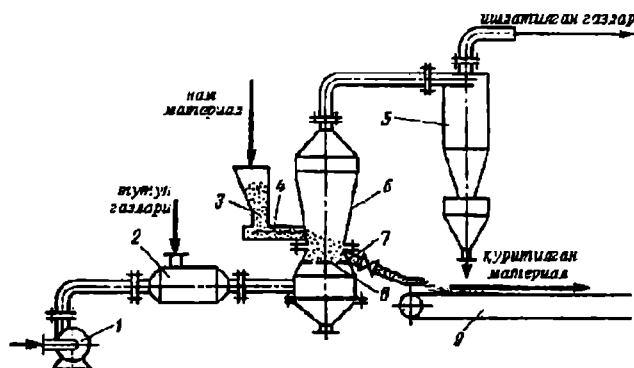
а- парракли; б,в- ҳажмий типдаги, тақсимловчи; г - ағдарувчи, секторли; д- ағдарувчи, ёпиқ ячейкали.

Барабанли қуриткичлар диаметри 1 дан 3,5 м гача бўлади. Диаметри 2,8, 3,0 ва 3,5 м ли барабанларнинг узунликлари 14, 20 ва 27 м қилиб ясалади.

Ундан ташқари, барабанли вакуум-қуриткичлар ҳам саноатнинг турли соҳаларида ишлатилади. Кўпинча бу қурилмалар даврий ишлайдиган бўлади. Ушбу қуриткичлар иссиқликка сезгир материаллардан сув ва органик эритмаларни йўқотиш, ҳамда заҳарли материалларни қуриштиш учун қўлланилади.

Барабанли вакуум қуриткичлар гербицид, заҳарли дорилар, баъзи бир полимерларни ишлаб чиқариш, ҳамда медицина, озиқ - овқат, кимё ва фармацевтика саноатларида ишлатилади.

Мавҳум қайнаш қатламли қуриткичлар узлуксиз ишлайдиган қурилмалар қаторига киради ва майда, сочиловчан, донатор нам материалларни қуриштиш учун кенг қўламда ишлатилади. Бундай қурилмаларда сиртий ва боғланган материалларни сувсизлантириш мумкин. Мавҳум қайнаш қатламли қуриткичлар вертикал ва горизонтал, бир ёки бир неча секцияли қилиб ясалади. Узлуксиз ишлайдиган, бир секцияли мавҳум қайнаш қатламли қуриткич 5.115-расмда келтирилган.



5.115-расм. Бир секцияли мавҳум қайнаш қатламли қуриткич.

1 - вентилятор; 2 - калорифер; 3 - бункер; 4 - шнек; 5 - циклон; 6 - қуриткич; 7 - тўқиш патрубкиси; 8 - газ тақсимловчи тешикли ланжара; 9 - конвейер.

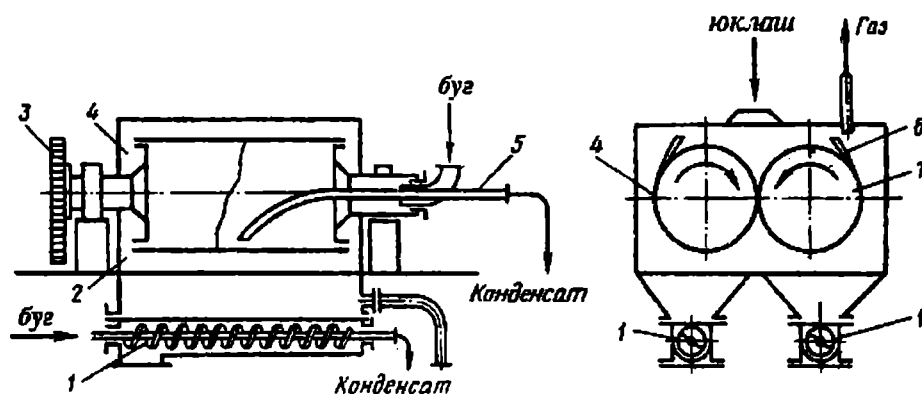
Нам материал узлуксиз равишда қуриткичга узатилади. Калориферда қиздирилган иссиқлик элткич вентилятор ёрдамида газ тақсимловчи тешикли панжара остига ҳайдалади. Қуритиш жараёни ушбу панжара яқинидаги зонада юз беради. Қуритилган материал тўкиш патрубкеси орқали чиқарилади. Ишлатиб бўлинган газ циклонда тозаланиб, қуриткичдан атмосферага чиқазиб юборилади.

Мавҳум қайнаш қатламли қуриткич камчиликлари: материални қуритиш бир текисда эмас. Бу камчиликни бартараф қилиш учун кўп секцияли ёки ўзгарувчан кўндаланг кесимли қуриткичлардан фойдаланилади.

Ушбу турдаги қурилмаларда материал қуриши бир текисда бўлади. Ко-нуссимон қуриткичларда тартибли циркуляция вужудга келади, яъни заррача-лар қурилманинг марказий қисмида тепага кўтарилади ва чекка қисмида эса - пастга қараб тушади. Натижада материал бир текисда қизийди ва камеранинг ишчи баландлиги камаяди.

Ҳозирги кунда мавҳум қайнаш қатламли қуриткичлар кимёвий техноло-гияда минерал ва органик тузлар, ёпишиб қолишга мойил, масалан сульфат аммоний, поливинилхлорид, полиэтилен ва бошқа полимерларни, ҳамда пас-тасимон материаллар (пигмент, анилинли бўёвчи моддалар), эритмалар, сус-пензияларни қуритиш учун ишлатилади.

Жували қуриткичлар суёқ ва пастасимон материалларни атмосфера бо-сими ёки вакуум остида қуритиш учун мўлжалланган (5.116-расм).



5.116-расм. Жували қуриткич.

1 - шнекли нов-қуриткич; 2 - қобиқ; 3-узатма; 4 - етакловчи жува; 5 - сифон трубкеси; 6 - пичоқ; 7 - етакланувчи жува.

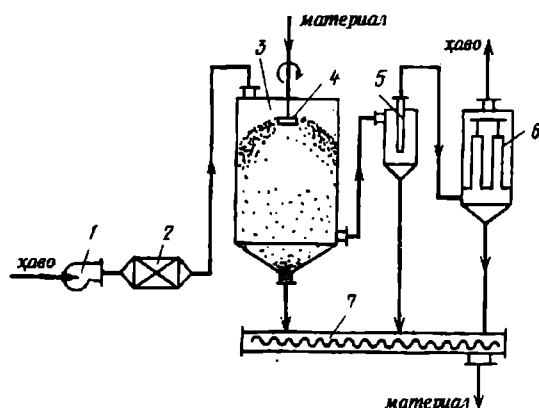
Жува бир - бирига қараб $2...10 \text{ мин}^{-1}$ частота билан айланади. Ичи бўш жувага цапфа орқали иситувчи буг юборилади ва иссиқлигини бериб кондеи-сатга айланади. Жувалар иссиқ сув ёки юқори температурали органик суёқликлар ёрдамида қиздирилиши мумкин.

Материал қурилманинг тепасидан, жувалар орасига юкланади ва уни юпқа қатлам билан қолайди. Юпқа қатлам қалинлиги жувалар орасидаги тирқиш катталиги билан белгиланади. Одатда, ушбу тирқиш эни $0,5...1,0 \text{ мм}$ бўлади. Материалнинг кириши юпқа қатламда, жуванинг тўлиқ айланишида содир бўлади.

Жувадаги материал қатламининг қалинлиги қапчалик кичик бўлса, у шунчалик тез ва бир текисда қурийд. Лекин, қуритиш давомийлиги кам бўлгани учун, кўпинча қўшимча қуритиш талаб этилади. Қуритилган материал пичоқ ёрдамида жувалай кесиб олинади.

Пурковчи қуриткичлар эритма, суспензия ва пастасимон материалларни қуритиш учун қўлланилади. Пуркаб қуритиш усулида сут кукунни, сут-сабзавот концентратлари, хамиртуриш, тухум кукунни ва бошқа маҳсулотлар олинади.

Бундай қуриткичларда материал махсус мосламаларда пуркалади ва иссиқлик элткич оқимида қуритилади (5.117-расм). Материалнинг қуритиш зонасида бўлиш вақти жуда қисқа, лекин юқори даражада майдаланганлиги ва намликнинг бугланиш тезлиги катталиги, унинг тез қуришига олиб келади. Шунинг учун, пурковчи қуриткичларда юқори температурали иссиқлик элткичларни қўллаш мумкин.



5.117-расм. Пурковчи қуриткич.

1 - вентилятор; 2 - калорифер; 3 - қуритиш камераси; 4 - диск; 5 - циклон; 6 - енгли филтр; 7 - қуритилган материални тўкувчи шнек.

Қуритиш натижасида олинган маҳсулот бир хил дисперс таркибли, сочилувчан ва майда дисперс бўлади.

Пурковчи қуриткичлар камчиликлари: габарит ўлчамлари ва энергия сарфи катта.

Материални пуркаш механик ёки пневматик пуркагичлар ёрдамида, ҳамда айланиш частотаси $4000 \dots 20000 \text{ мин}^{-1}$ бўлган марказдан қочма дискда амалга оширилади. Қуриткичда материалнинг бўлиш вақти 50 с дан ортмайди. Шу қисқа вақт ичида иссиқлик ва масса алмашиниш жараёни юз беради. Пурковчи қуриткичларда фазалар параллел ва қарама-қарши йўналишда ҳаракатланиши мумкин. Бундай қуриткичлар

афзалликлари: юқори температурали иссиқлик элткичларни ҳам қўллаш мумкин.

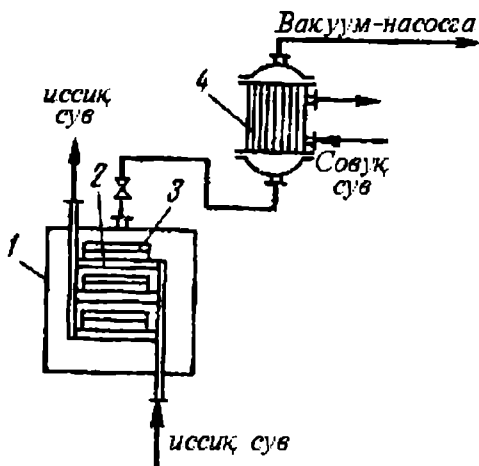
Камчиликлари: иссиқлик элткич сарфи катта бўлгани учун энергия ва металл сарфи ҳам нисбатан юқори; солиштирма намлик олиш кўрсаткичи жуда паст, яъни 20 кг/м^3 ; материал қуриткич деворларига ёпишиб қолади; иссиқлик элткич тезлиги нисбатан кичик, чунки катта тезликларда майда зарралар учиб кетади.

Сублимацияли қуриткичлар. Турли материаллардаги муз агрегат ҳолатидаги намлигини вакуум остида буғга (суёқ агрегат ҳолатидан сакраб) айлантириб сувсизлантириш жараёни сублимацияли қуритиш деб номланади. Сублимацияли қуритиш юқори вакуум, қолдиқ босим $133,3 \dots 13,3 \text{ Па}$ ($1,0 \dots 0,1 \text{ мм сим.уст.}$) бўлган оралик ва паст температураларда ўтказилади.

Сублимация қуритиш жараёнида материал юзасидан намликнинг буғ агрегат ҳолатида тарқалиш механизми ўзига хос **эффузия** усулида боради. Эффузия усулида буғ молекулаларининг эркин ҳаракати даврида молекулалар бир-бири билан ўзаро тўқнашмайди.

Сублимацияли қуриткич қуритиш камераси, конденсатор-музлаткич ва вакуум насосдан таркиб топган (5.118-расм.)

Плита ичида иссиқ сув насос ёрдамида циркуляцияли ҳаракат қилади. Қуритилаётган материал тунука товарларда плита устига жойлаштирилади. Плита ва товарлар орасида маълум ҳаволи бўшлиқ бўлади. Плиталардан товарларга иссиқлик нурланиш усули (радиация) ҳисобига ўтади.



5.118-расм. Сублимацияли қуриткич
1 - қуритиш камераси; 2 - плита;
3 - тунука това; 4 - конденсатор-музлаткич.

Материалдан намликни чиқариб юбориш жараёни 3 босқичдан иборат:

1) қуритиш камерасида босим пасайиши билан намлик ўз - ўзидан музлайди ва материалдан чиққан иссиқлиги ҳисобига муздан бугга айланади. Бу босқичда 15% намлик йўқотилади;

2) намликнинг асосий қисми сублимация йўли билан қуритиш жараёни-нинг ўзгармас тезлик даврида йўқотилади;

3) қолдиқ намлик материалдан иссиқлик ёрдамида йўқотилади.

Сублимацияли қуритиш оз миқдорда паст температурали (40...50°C) иссиқлик элткич сарфланади. Лекин, умумий энергия ва эксплуатацион сарфлар бошқа қуритиш (диэлектрик қуритишдан ташқари) усулларига қараганда юқори.

Шунинг учун, бу қуритиш усули қимматбаҳо моддалар, юқори температурага чидамсиз ва биологик хоссалари узоқ муддат давомида сақланиб туриши керак бўлган материалларни (гўшт, мewa, сабзавот, медицина ва фармацевтика маҳсулотлари) қуритиш учун ишлатилади.

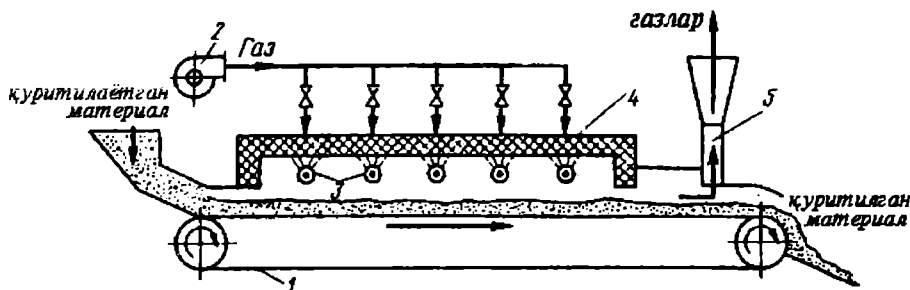
Энергия сарфи бўйича сублимацияли қуритиш, атмосфера босимида қуритишга яқинроқ туради.

Терморрадиацияли қуриткичлар. Бу қуриткичларда материал таркибидаги намликни буглатиш учун зарур иссиқлик инфрақизил нурлар орқали узатилади. Иссиқлик инфрақизил нурланишга мосланган лампалар ёки ўта қиздирилган керамик ёки металл юзалардан тарқалади. Инфрақизил нурланишли лампалар оддий ёритиш лампаларидан қиздириш температураси билан фарқ қилади. Нурланиш оқимини нам материалга йўналтириш учун парабола шаклли рефлекторлар ишлатилади.

Ушбу усулда қуритиш даврида материал юза бирлигига контактли қуритишга қараганда вақт бирлигига анча кўпроқ иссиқлик тўғри келади. Натижада, жараён интенсивлашади. Масалан, юпқа қатламли материалларни инфрақизил нурлар ёрдамида қуритиш давомийлиги 30...100 мартагача қисқаради.

Газ билан иситиладиган радиацияли қуриткич тузилиши 5.119-расмда келтирилган. Бундай қуриткичлар тузилиши содда ва лампали қуриткичларга нисбатан арзон.

Сублиматорда ҳосил бўлган сув буғи ва ҳаво аралашмаси конденсатор музлаткичга ўтади. Буғ-ҳаволи аралашма қобиқ-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмасининг трубалар бўшлиғида, трубалараро бўшлиқда эса аммиак циркуляцияли ҳаракат қилади. Қурилма трубаларида сув буғлари аввал конденсацияланади, ундан сўнг эса музлайди. Сублимацияли қуриткичларда 2 та конденсатор-музлаткич бўлади. Улар навбатма-навбат ишлайди, яъни биттасида конденсация ва музлатиш содир бўлса, иккинчисида ҳосил бўлган муз эритиб йўқотилади.



5.119-расм. Радиацияли қуриткич.

1-конвейер; 2-газодувка; 3-газ горелкаси; 4-нур тарқатгич;
5-чиқиш труба.

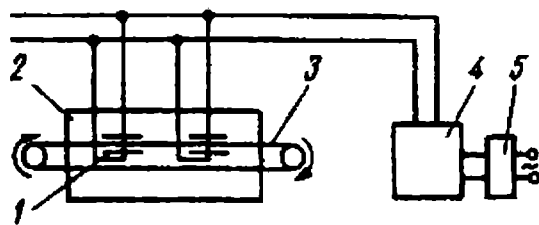
Нур тарқатувчи қурилманинг пастки қисмида газ ёқилади. Газ ёниши оқибатида нур тарқатувчи қурилма қизийди, сўнгра инфрақизил нурларни тарқатади. Нур тарқатгич нам материал хоссаларига қараб танланади. Юқори сифатли маҳсулот олиш учун мураккаб жараёнлардан (масалан, радиацияли ва конвектив усулларни бир вақтда қўллаш) фойдаланилади.

Намликнинг термодиффузион оқими материал сиртидан намлик диффузияга ҳалақит бермаслиги, ҳамда терморадияцияли қуритиш жараёнини интенсивлаш учун қуриткич осцилляцияли режимда ишлаши керак.

Терморадияцияли қуриткич тузилиши ихчам, юпқа қатламли материалларни қуритишда юқори самара беради. Лекин, унинг энергия сарфи нисбатан кўп, яъни 1 кг намликни буғлатиш учун 1,5...2,5 кВт·соат энергия зарур.

Юқори частотали (диэлектрик) қуриткичлар қалин қатламли материалларни қуритиш учун мўлжалланган. Бу қуритиш усулида материалнинг юзаси ва қалинлиги бўйлаб температура ва намликни ростлаш мумкин. Ушбу қуриткичда пластмасса ва диэлектрик хоссаларга эга бўлган материалларини, ҳамда озиқ-овқат маҳсулотларини қуритиш мумкин.

Диэлектрик қуриткичлар лампали юқори частотали генератор, қуриткич ва лентали конвейердан таркиб топган (5.120-расм).



5.120-расм. Юқори частотали қуриткич.

1-конденсатор пластинкаси; 2-қуритиш камераси; 3-лентали конвейер; 4-лампали, юқори частотали генератор; 5-тўғрилагич.

Частотаси 50 Гц ли ўзгарувчан ток тўғрилагич орқали генераторга узатилади. Генераторда ток юқори частотали токка айлантирилади. Сўнг, бу ток лентали конвейернинг икки томонида жойлашган конденсатор пластинкаларига юборилади.

Конденсатор пластибалари заряд ишоралари ўзгариши билан юқори частотали майдон таъсирида материал ион ва электронлари синхрон равишда ҳаракат йуналиши ўзгаради. Диполь молекулалар айланма ҳаракатланса, электр зарядлар силжиши туфайли кутбсиз молекулалар кутбланади.

Юқорида қайд этилган ҳодисалар оқибатида материалда иссиқлик ажраб чиқади ва у қизийди. Электр майдон кучланишини ўзгартириб қуритиш тезлигини рoстлаш мумкин.

Бу усулда намлик ва температура градиентларнинг йўналиши бир хил бўлади. Натижада, намликнинг диффузияси тезлашади. Шунинг учун бу қуритиш усули тезлиги, конвектив қуритиш тезлигидан анча катта.

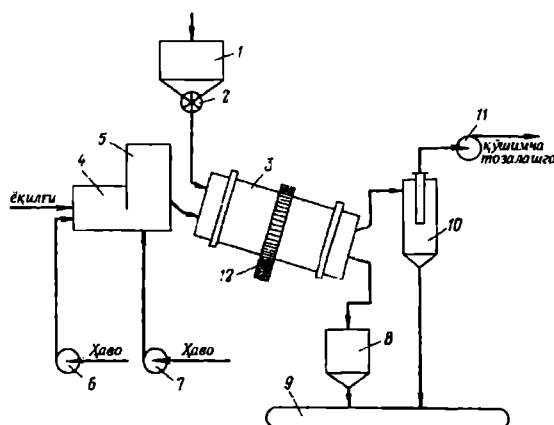
Диэлектрик қуритиш жараёни учун кўп миқдорда энергия зарур. 1 кг намликни буғлатиш учун 2,5...5 кВт·соат энергия сарфланади.

Бу турдаги қуриткичлар тузилиши мураккаб ва қиммат. Шунинг учун, юқори частотали қуриткичлар қимматбаҳо материалларни сувсизлантириш учун ишлатиш мақсадга мувофиқ, яъни иқтисодий жиҳатдан самарали.

5.47. Қуриткичларни ҳисоблаш

Бу қурилмалар атмосфера босимда узлуксиз равишда турли сочиловчан ва донасимон материалларни тутунли газлар ёки иссиқ ҳаво билан қуритиш учун ишлатилади. Улар цилиндрсимон корпусдан иборат бўлиб, горизонтга нисбатан жуда кичик оғиш бурчагида жойлаштирилади. Барабан иккита роликли таянчларга жойлаштирилган бўлиб, электр юриткич ва редуктор ёрдамида айлантирилади. Айланиш сони 5-8 айл/мин. Барабан ичида насадкалар ўрнатилган бўлиб, улар фазалараро таъсир юзасини ошириш учун қўлланилади. Насадкалар барабаннинг қўндаланг кесими бўйича материални бир метёردа тарқатиш ва аралаштиришни таъминлайди. Материал ва иссиқлик элткич бир-бирига нисбатан тўғри йўналишда берилса, барабаннинг ичида материал ўта қизиб кетмайди, чунки бу шароитда юқори температурали иссиқлик элткич катта намликка эга бўлган материал билан ўзаро таъсирда бўлади. Барабанли қуриткичлар узунлиги L ва ташқи диаметри D бўйича танланади.

Нам материал бункер 1 дан таъминлагич 2 орқали айланиб турган барабан 3 га берилади. Материал билан бир хил йўналишда барабанга иссиқлик элткич берилади. У ёқилғи ўтхонаси 4 да ёнишида ҳосил бўлган газларни аралаштириш камераси 5 да ҳаво билан аралаштириш натижасида ҳосил бўлади. Ҳаво ўтхона ва аралаштириш камерасига вентиляторлар 6 ва 7 ёрдамида берилади (5.121- раем).



5.121-расм. Барабанли қуриткичнинг принципиал схемаси.

1 - бункер; 2 - таъминлагич; 3 - қуритувчи барабан;
4 - ўтхона; 5 - аралаштириш камераси; 6,7,11 - вентиляторлар;
8 - оралик бункер; 9 - транспортер; 10 - циклон;
12 - тишли узатма.

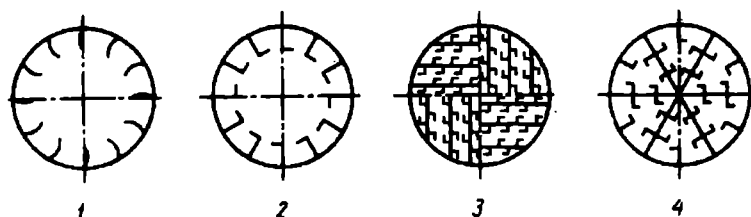
Қуритилган материал барабаннинг бошқа томонидан бункер 8 га тушади ва ундан транспортер 9 га ўтади.

Ишлатилган газлар атмосферага чиқариб юборишдан аввал майда заррачалардан циклон 10 да тозаланади ва керак бўлса яна қўшимча тозаланилади.

Қуритувчи элткич барабан орқали вентилятор 11 ёрдамида узатилади. Узатилиш даврида унча катта бўлмаган сийракланиш ҳосил бўлади ва бу эса қуритувчи элткичнинг барабанли қуриткич тешиклари орқали йуқотилишига йўл қўймайди.

Барабан электр юриткич ва тишли узатма 2 ёрдамида айлантириб турилади.

Барабаннинг ичида материални бир меъёردа тарқатиш, аралаштириш ва йўналтириш учун насадка жойлаштирилган. Қуритилаётган материал доналарининг ўлчамига ва хоссаларига қараб, ҳар-хил насадкалардан фойдаланилади. Катта бўлакли ва ёпишиб қолиш хусусиятига эга бўлган материалларни қуритишда кўтарувчи парракли насадкалар, ёмон сочилувчан ва юқори зичликка эга бўлган катта бўлакли материалларни қуритиш учун секторли насадка; кичик бўлакли, тез сочилувчан материалларни қуритишда тарқатувчи насадка ишлатилади; майда қилиб эзилган, чанг ҳосил қилувчи кукун материалларни берк ячейкали, довосимон насадкалар бўлган барабанларда қуритиш мақсадга мувофиқдир. Айрим шароитларда мураккаб насадкалардан фойдаланса ҳам бўлади (5.122-расм).



5.122-расм. Барабанли қуриткич насадкаларининг турлари ва уларнинг тўлдирилиш коэффициентлари β .

1 - кўтарувчи - парракли, $\beta = 12\%$; 2 - худди аввалгидек, $\beta = 14\%$;
3 - тақсимловчи, $\beta = 20,6\%$; 4 - тақсимловчи, ёпиқ ячейкали, $\beta = 27,5$.

I. Қуритиш қурилмасининг ҳисоби

1. Қурилманинг қуритилган модда бўйича унумдорлиги:

$$G = 10 \text{ т/соат}$$

2. Материал заррачаларининг ўлчамлари (NaCl):

$$d = 2,0-1,5 \text{ мм} - 25\%$$

$$d = 1,5-1,0 \text{ мм} - 75\%$$

3. Материалнинг намлиги (NaCl):

$$\text{бошланғич} \quad w_1 = 6,0\%$$

$$\text{охирги} \quad w_2 = 0,2\%$$

4. Боқу шаҳри учун нам ҳавонинг параметрлари

	январь	июль
температура	$t = +3,4^{\circ}\text{C}$	$t = +25,3^{\circ}\text{C}$
нисбий намлик	$\varphi_0 = 82\%$	$\varphi_0 = 65\%$

5. Иссиқ ҳавонинг температураси

барабанга киришда	- $t = 160^{\circ}\text{C}$
барабандан чиқишда	- $t = 60^{\circ}\text{C}$

1. Моддий баланс

Моддий баланс тенгламасидан қуритиш давомида буғлатилган намлик W миқдорини аниқлаймиз.

$$W = G_k \cdot \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}$$

$$G_2 = 10 \text{ м/соат} = \frac{10 \cdot 1000}{3600} = 2,778 \text{ кг/с}$$

$$W = 2,778 \cdot \frac{6 - 0,2}{100 - 6} = 0,171 \text{ кг/с}$$

II. Қуритишга сарфланган ҳаво ва иссиқликни аниқлаш

Қуриткичнинг ички иссиқлик балансини ёзамиз:

а) Қиш фасли учун:

$$\Delta = c \cdot \theta_1 + q_k - (q_{тр} + q_m + q_u)$$

Бу ерда:

c - сувнинг иссиқлик сифими, $c = 4190 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}$;

q_k - қўшимча ички калорифер берган иссиқлик миқдори, $q_k = 0$;

$q_{тр}$ - транспорт қурилмалари билан кирган иссиқлик миқдори,

$q_{тр} = 0$;

q_u - атроф муҳитга йўқотилган иссиқлик миқдори, тахминан иситишга сарфланган иссиқлик миқдорининг 10% ни олса бўлади;

q_m - моддани иситишга сарфланган иссиқлик миқдори,

$$q_m = G_k \cdot c_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) / W$$

θ_2 - модданинг қуриткичдан чиқишдаги температураси қуритувчи элти-
кичнинг ҳўл термометр температурасига тенг деб оламиз.

$$\theta_2 = t_x = 42^{\circ}\text{C}$$

Рамзиннинг $I - x$ диаграммасидан аниқланади.

c_m - материалнинг иссиқлик сифими [6]:

$$c_m = \frac{c_{Na} + c_{Cl}}{M_{(NaCl)}}$$

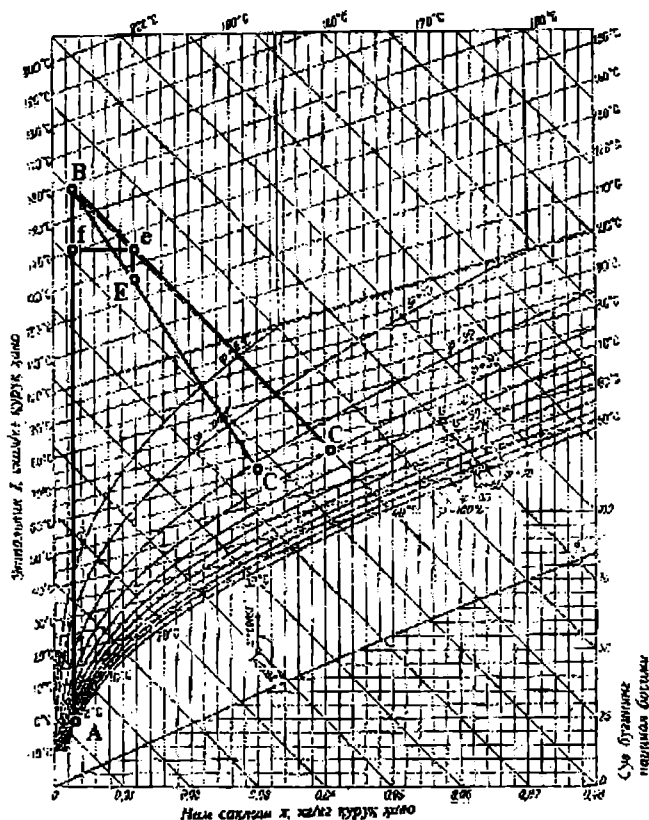
$$Na = 26,0 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{K}; \quad Cl = 26,0 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{K}$$

$$c_m = (26+26)/56 = 0,88 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{K}$$

$$q_m = 2,778 \cdot 0,88 \cdot (42 - 3,4)/0,171 = 551,83 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{K}$$

$$\Delta = 4,19 \cdot 3,14 - 551,83 - 22,6 = -560,185 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{K}$$

Қуритиш жараёнига сарфланган солиштирма ҳаво ва иссиқлик сарфларини аниқлаш учун $I - x$ диаграммада қуритиш жараёни ифодаланади (5.123-расм).



5.123-расм. Нам ҳавонинг $I - x$ диаграммасы.

Боку шаҳри учун ҳавонинг ўртача температураси ва нисбий намлиги аниқланади

а) Қиш фасли учун $t_0 = +3,4^\circ\text{C}$ ва $\varphi_0 = 82\%$.

Шу параметрлар бўйича диаграммада "А" нуқта топилади, яъни калориферга кираётган ҳавонинг параметрларини кўрсатувчи нуқтани топамиз. "А" нуқтадан, яъни ўзгармас нам сақлаш чизиғи бўйича тўғри чизиқ ўтказиб, берилган қуритиш температураси билан кесишган "В" нуқтани топамиз. Бу нуқта калориферда иситилган ва қуриткичга кираётган ҳавонинг параметрлари $x_1 = x_0$, t_1 , I_1 - ларни кўрсатади. АВ чизиқ ҳавони калориферда иситиш жараёнини ифодалайди. Калориферда ҳаво қиздирилганда унинг нам сақлаши ўзгармайди. "В" нуқтадан I_1 чизиғини - ўзгармас энтальпия чизиғини ўтказамиз. Шу I_1 чизиғида ихтиёрий бир нуқта "е" олинади ва ундан АВ чизиғига перпендикуляр

туширилади ва ҳосил бўлган " f " деб белгилаймиз. Сўнг ef кесманинг узунлиги ўлчанади - $ef = 2,4 \text{ см} = 24 \text{ мм}$. Ниҳоят, қуритишнинг идеал жараёндан фарқи eE кесманинг узунлиги ҳисобланади.

$$eE = ef \cdot \frac{\Delta}{M} = 24 \cdot \frac{(-560,185)}{1250} = 10,75 \text{ мм}$$

бу ерда $M = 1250$ - $I - x$ диаграмма масштаби.

Диаграммада eE кесмани " e " нуқтадан пастга $x = \text{const}$ чизик бўйича ўтказамиз, чунки $\Delta < 0$. " B " нуқтадан " E " нуқта орқали тўғри чизик ўтказиб, берилган $t_2 = 60^\circ\text{C}$ чизиги билан кесишгунча давом эттирамиз. Кесишган нуқтани " C " деб белгилаймиз ва бу нуқта қуритиш қурилмасидан чиқаётган ҳавонинг параметрлари x_2 , t_2 , I_2 , φ_2 ни кўрсатади:

$$x_2 = 0,029 \text{ кг/кг ва } I_2 = 136 \text{ кЖ/кг (I - x диаграммадан топилади).}$$

Қиш фаслида қуритиш жараёнига кетган солиштира ҳаво сарфи:

$$x_o = x_i = 0,003 \text{ кг/кг} \quad l = \frac{l}{x_2 - x_o} = \frac{l}{0,029 - 0,003} = 38,46 \text{ кг/кг}$$

Ҳавонинг умумий сарфи

$$h = l \cdot W = 38,46 \cdot 0,171 = 6,58 \text{ кг/с}$$

Сарфланган солиштира иссиқлик миқдори эса:

$$I_o = 11 \text{ кЖ/кг} \quad q = \frac{I_2 - I_o}{x_2 - x_o} = \frac{136 - 11}{0,029 - 0,003} = 4707,69 \text{ кЖ/кг}$$

ва умумий иссиқлик сарфи:

$$Q = q \cdot W = 4707,69 \cdot 0,171 = 622,12 \text{ кВт}$$

Калорифердаги иссиқлик сарфи:

$$q_k = \frac{I_1 - I_o}{x_2 - x_o} = \frac{169 - 11}{0,029 - 0,003} = 6076,9 \text{ кЖ/кг}$$

$$I_1 = 169 \text{ кЖ/кг} \quad I - x \text{ диаграммадан топилади.}$$

б) Ёз фасли учун.

$$\begin{aligned} \Delta &= c \cdot \theta_1 + q_k - (q_{mp} + q_m + q_{\ddot{u}}) \\ c &= 2,95 \quad 4,19 = 12,36 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{K} \\ q_k &= 0; \quad q_{mp} = 0; \quad q_m = G_2 \cdot c_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) / W; \\ \theta_2 &= 42^\circ\text{C} = t_m \text{ (I - x диаграммадан)} \\ \theta_1 &= t_o = 25,3^\circ \text{ (Боку шаҳри учун)} \\ q_m &= 2,778 \cdot 0,88 \cdot (42 - 25,3) / 0,171 = 238,746 \text{ кЖ/кг} \\ \Delta &= 12,36 \cdot 42 - 238,746 - 23,87 = 257,77 \text{ кЖ/кг} \end{aligned}$$

Нам ҳаво параметрларини, ҳавонинг солиштирма ва иссиқлик сарфини ёз фасли учун аниқлаймиз. Бунинг учун $I - x$ диаграммада қуритиш жараёни-ни ифодалаймиз.

$$ef = 94 \text{ мм}; \quad M = 1250; \quad Ee = ef \cdot \frac{\Delta}{M} = 94 \cdot \frac{297,77}{1250} = 19,5 \text{ мм}$$

Сўнг, $I - x$ диаграммадан:

$$x_0 = 0,014 \text{ кг/кг}; \quad x_2 = 0,0525 \text{ кг/кг};$$

$$I_0 = 55 \text{ кЖ/кг}; \quad I_1 = 192 \text{ кЖ/кг}; \quad I_2 = 195 \text{ кЖ/кг}.$$

$$l = \frac{l}{x_2 - x_0} = \frac{l}{0,0525 - 0,014} = 25,98 \text{ кг/кг}$$

$$L = l \quad W = 25,98 \quad 0,171 = 4,13 \text{ кг/с}$$

$$q = \frac{I_2 - I_0}{x_2 - x_0} = \frac{195 - 55}{0,0525 - 0,014} = 3381,64 \text{ кЖ/кг}$$

$$Q = q \quad W = 3381,64 \quad 0,171 = 578,26 \text{ кВт}$$

$$G_2 = 10 \text{ т/соат} = \frac{10 \cdot 1000}{3600} = 2,778 \text{ кг/с}$$

$$q_k = \frac{I_1 - I_0}{x_2 - x_0} = \frac{162 - 55}{0,0525 - 0,014} = 3309,18 \text{ кЖ/кг}$$

Ёз ва қиш фасллари учун топилган сарфларни солиштирамиз:

$$\begin{aligned} L_{\text{қиш}} &= 6,58 \text{ кг/с} > L_{\text{ёз}} = 4,13 \text{ кг/с} \\ Q_{\text{қиш}} &= 822,12 \text{ кВт} > Q_{\text{ёз}} = 578,26 \text{ кВт} \end{aligned}$$

II. Барабанли қуриткичнинг асосий ўлчамларини аниқлаш

Барабаннинг ҳажмини топамиз:

$$V_{\text{бар}} = \frac{W}{A_v} \cdot 3600 = \frac{0,171 \cdot 3600}{7,2} = 85,5 \text{ м}^3$$

бу ерда A_v барабаннинг намлик бўйича қучланиши, $A_v = 7,2 \text{ кг/(м}^3 \text{ соат)}$ [16,128].

Барабаннинг ҳажми бўйича 9.3-жадвалдан барабаннинг асосий ўлчамларини [128], яъни №7208 сериясини танлаймиз. Ушбу сонли барабаннинг асосий параметрлари қуйидагича:

- барабаннинг ички диаметри, м	2,8
- барабаннинг узунлиги, м	14
- деворларнинг қалинлиги, мм	14
- қуритиш ҳажми, м.	86,2
- ячейкалар сони, дона	51
- айланиш тезлиги, айл/мин	5
- умумий массаси, т	70
- истеъмол қилинадиган қувват, кВт	25,8

Ҳавонинг барабандаги ҳақиқий тезлиги ушбу формулада аниқланади:

$$w_x = V_x / (0,785 \cdot d^2)$$

бу ерда V_x - қуригувчи элткичнинг барабандан чиқишдаги ҳажмий сарфи:

$$V_x = L \cdot V_o \cdot \frac{(T_o + t_{-p})}{T} \cdot \left(\frac{1}{M_1} + \frac{\gamma \cdot p}{M} \right)$$

$$t_{-p} = (t_1 + t_2)/2 = (160 + 60)/2 = 110^\circ$$

$$x_p = (\gamma_1 + \gamma_2)/2 = (0,003 + 0,029)/2 = 0,016 \text{ ж/ж}$$

$$V_x = 6,58 \cdot 22,4 \cdot \frac{273 + 110}{273} \cdot \left(\frac{1}{29} + \frac{0,016}{16} \right) = 7,31 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$w_x = 7,31 / (0,725 \cdot 2,8^2) = 1,2 \text{ м/с}$$

Материалнинг барабанда ўртача бўлиш вақти:

$$\tau = \frac{G_m}{G_2 + (W/2)}$$

G_m - барабандаги материалнинг сарфи:

$$G_m = V \cdot \beta \cdot \rho_m$$

бу ерда V - қуриткичнинг ҳажми, $86,2 \text{ м}^3$; ρ_m - материалнинг «тўлма» зичлиги $\rho_m = 1200 \text{ кг/м}^3$ [6,16]; β - барабаннинг тўлдирилиш даражаси, ушбу мисолдаги насадка учун 12% [128].

$$G_m = 86,2 \cdot 0,12 \cdot 1200 = 12412,8 \text{ кг}$$

унда:

$$\tau = \frac{12412,8}{2,778 + 0,171/2} = 4335 \text{ с}$$

Барабаннинг оғиш бурчаги қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\alpha' = \left(\frac{30 \cdot l}{d \cdot n \cdot \tau} + 0,007 \cdot w_x \right) \cdot \frac{180}{\pi}$$

бу ерда l - барабаннинг узунлиги, 14 м ; n - айланишлар сони, 5 айл/мин ; d - барабаннинг диаметри, $2,8 \text{ м}$.

$$\alpha' = \left(\frac{30 \cdot 14}{2,8 \cdot 5 \cdot 4335} + 0,007 \cdot 1,2 \right) \cdot \frac{180}{3,14} = 0,88''$$

Агар α^I нинг қиймати жуда кичик бўлса (0,5 дан кам), барабаннинг айланиш сони n камайтиради ва ҳисоб қайтарилади.

Материалнинг энг кичик заррачалари қурилмадан ҳаво билан чиқиб кетмаслиги учун, унинг тезлигини ҳисоблаймиз. Бунинг учун модданинг чиқиб кетиш тезлигини, яъни эркин учиш тезлигини топамиз:

$$w_s = \frac{\mu_{yp}}{d \cdot \rho_{yp}} \cdot \left(\frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \right)$$

бу ерда ρ_{yp} - қуриувчи элтикчининг зичлиги.

$$\rho_{yp} = [m_x \cdot (p_o - p) + m_c \cdot p] \cdot \frac{T}{v_o \cdot p_o \cdot (T + t_{yp})}$$

бу ерда p - нам ҳаводаги бугларнинг парциал босими.

$$p = \frac{x/m_c \cdot p_o}{1/m_x + x/m_a}$$

$p_o = 10^5$ Па, чунки қурилма атмосфера босими остида ишлайди.

қурилмага киришдаги:

$$p_1 = \frac{0,003/18 \cdot 10^5}{1/29 + 0,003/18} = 480,81 \text{ Па}$$

қурилмадан чиқишидаги:

$$p_2 = \frac{0,029/18 \cdot 10^5}{1/29 + 0,029/18} = 4463,64 \text{ Па}$$

унда ўртача p

$$p = (480,81 + 4463,64) / 2 = 2472 \text{ Па}$$

ва зичлик:

$$\rho_{yp} = [29 \cdot (10^5 - 2472) + 18 \cdot 2472] \cdot \frac{273}{22,4 \cdot 10^5 [273 + 110]} = 0,91 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Архимед критерийсини аниқлаймиз:

$$Ar = d^3 \cdot \rho_s \cdot \rho_{yp} \cdot g / \mu_{yp}^2$$

бу ерда ρ_s - қуритилаётган материал заррачаларининг зичлиги, $\rho_s = 2165 \text{ кг/м}^3$ [129]; μ_{yp} - ҳавонинг ўртача температурадаги қовушоқлиги, $\mu_{yp} = 0,022 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ [130].

$$Ar = \frac{(1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2165 \cdot 0,91 \cdot 9,8}{(0,022 \cdot 10^{-3})^2} = 39891468 \cdot \frac{10^6}{10^9} = 3,99 \cdot 10^4$$

ва чиқиб кетиш тезлиги

$$w_2 = \frac{0,022 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,91} \cdot \left(\frac{3,99 \cdot 10^4}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{3,99 \cdot 10^4}} \right) = 7,3 \text{ м/с}$$

Ҳавонинг қурилмадаги тезлиги 1,2 м/с ва бу 7,3 м/с дан анча кам. Демак, заррачалар қурилмадан ҳаво билан чиқиб кетмайди, чунки $w_x < w_n$

Агар бу сон аксинча каттароқ бўлса, ҳаво тезлиги камайтирилади ва ҳ и соб қайтадан ўтказилиши керак.

III. Қуритиш қурилмасининг гидравлик ҳисоби.

Иссиқ элткич қуриткич ичида ва каналларда ҳ аракат қилганда гидравлик қаршиликлар ҳ осил бўлади. Улар ишқаланиш ΔP_n , ма ҳаллий $\Delta P_{м.к}$, қурит-кичнинг ичидаги ΔP_k , калорифер ва чанг тозаловчи қурилма қаршилик-ларидан ҳ осил топади:

$$\Delta P = \Delta P_n + \Delta P_{м.к} + \Delta P_k + \Delta P_{кал} + \Delta P_{ч}$$

1) Ишқаланиш қаршиликлари туфайли йўқотилган босимни аниқланади:

$$\Delta P_n = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \rho$$

бу ерда λ - ишқаланиш қаршилиги коэффиценти, ва у ҳ аракат режимига боғлиқ:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

бу ерда w - қуритувчи элткичнинг трубадаги тезлиги, одатда уни 10 - 20 м/с атрофида олиш мумкин [5,129]; d - трубаинг диаметри, секундли сарф тенгламасидан аниқланади

$$d = \sqrt{\frac{V_c}{0,785 \cdot w}}$$

бу ерда V_c - қуритувчи элткичнинг секундли ҳажмий сарфи:

$$V_c = \frac{L}{\rho}$$

бу ерда ρ - ҳавонинг зичлиги, одатда у атроф муҳит температурасида олинади.

$$t_0 = + 3,4^\circ \text{C} \text{ (Боку шаҳри учун қиш фаслида).}$$

$$\rho = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 3,4)} = 1,28 \text{ кг/м}^3$$

ва унда

$$V = \frac{6,58}{1,28} = 5,14 \text{ м}^3/\text{с}$$

Трубанинг диаметри:

$$d = \sqrt{\frac{5,14}{0,785 \cdot 20}} = 0,570 \text{ м}$$

ва

$$Re = \frac{20 \cdot 0,57 \cdot 1,28}{\mu} = \frac{20 \cdot 0,57 \cdot 1,28}{0,017 \cdot 10^{-3}} = 858353$$

яъни турбулент режим [6,130]:

$$\lambda = 0,11 \cdot (e + 68/Re)^{0,25}$$

$$e = \frac{\Delta}{d}; \quad \Delta = 0,08; \quad e = 0,0002$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \sqrt[4]{0,0002 + 68/858353} = 0,0142$$

Бу ерда l - трубанинг узунлиги. Вентилятор жойлашишига қараб олинади, бизнинг мисол учун $l = 2$ м деб ҳисоблаймиз (5.121-расм).

$$\Delta P_u = 0,0142 \cdot \frac{2}{0,57} \cdot \frac{20^2 \cdot 1,28}{2} = 12,78 \text{ Па}$$

2) Маҳаллий қаршиликларни енгилда йўқотилган босим:

$$\Delta P_{\text{м.к}} = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \rho}{2}$$

бу ерда $\sum \xi$ - маҳаллий қаршилик коэффициентларини иловадаги 5-7 жадвалдан аниқлаймиз [5]:

1. Трубага кириш	$\xi = 0,5$
2. Трубадан чиқиш	$\xi = 1,0$
3. Тўғри бурчак (90°) остида трубанинг бурилиши	$\xi = 1,1$
4. Нормал вентил	$\xi = 5,5$
иккита бўлгани учун	$5,5 \cdot 2 = 11$

$$\Delta P_{\text{м.к}} = (0,5 + 1 + 1,1 + 11) \cdot \frac{20^2 \cdot 1,28}{2} = 3481,6 \text{ Па}$$

Чанг тозалагич сифатида циклон олсак:

$$\Delta P_{\eta} = \xi \cdot w_{\alpha}^2 \cdot \rho / 2;$$

$$\rho = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot (T + t)} = \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 60)} = 1,1 \text{ кг/м}^3$$

$\xi = 6$ циклон АТИ учун [127],

$$\Delta P_{\eta} = 6 \cdot 20^2 \cdot 1,1 / 2 = 1320 \text{ Па}$$

Қуриштиш барабанининг қаршилиги $\Delta P_6 = 100$ Па [19] ва калорифер-нинг қаршилиги $\Delta P_k = 200$ Па [19,128].

$$\Delta P = 12,76 + 3481,6 + 200 + 100 + 1320 = 5798,36 \text{ Па}$$

IV. Вентиляторни танлаш

Вентилятор асосан икки параметр: ҳавонинг ҳажмий сарфи ва напори орқали танланади:

$$V_c = \frac{h_{max}}{\rho} = \frac{6,58}{1,28} = 5,14 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{5498,36}{1,28 \cdot 9,8} = 439,87 \text{ м}$$

бу параметрлар орқали [127] ёки иловадаги 15 жадвалдан [5] газодувка ТВ - 450 - 1,08 ни танлаймиз, у $V = 5,86 \text{ м}^3/\text{с}$ ва $\Delta P = 6000$ Па га тўғри келади.

Газодувканинг АО2-82-2 маркали электр юриткичи $N = 55$ кВт қувватга эга.

V. Калорифер ҳисоби

Нам ҳавони иситиш учун кўпинча буғ билан ишлайдиган пластиналы калориферлар ишлатилади.

Калориферни танлаш учун иситиш юзасини аниқлаш керак:

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{yp}}$$

бу ерда Q - ҳавони иситишга сарфланган иссиқлик миқдори:

$$Q = h_{max} \cdot c_x \cdot (t_1 - t_o);$$

бу ерда c_x - ҳавонинг иссиқлик сифими, $c_x = 0,241$ кЖ/кг·К [25]; $t_1 = 160^\circ\text{C}$; $t_2 = 3,4^\circ\text{C}$.

$$Q = 6,58 \cdot 0,24 \cdot (160 - 3,4) = 248,3 \text{ кЖ/с},$$

бу ерда k буғдан ҳавога иссиқлик ўтказиш коэффиценти $k = 40$ Вт/(м²·К); Δt_y - ўртача температуралар фарқи. Буғнинг температурасини t_1 (160°C) дан 20°C баландроқ оламиз [5, 127].

Буғ конденсатга айланганда унинг температураси ўзгармайди.

$$3,4^\circ \xrightarrow{\text{буғ}} 160^\circ \qquad 180^\circ \xrightarrow{\text{ҳаво}} 180^\circ$$

$$\Delta t_{ка} = 180 - 3,4 = 176,6^\circ\text{C} \quad \frac{\Delta t_{ка}}{\Delta t_{км}} = \frac{176,6}{20} = 8,83 > 2$$

$$\Delta t_{км} = 180 - 160 = 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{ур} = \frac{\Delta t_{ка} - \Delta t_{ку}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{ка}}{\Delta t_{ку}}} = \frac{176,6 - 20}{2,3 \cdot \lg 8,83} = \frac{156,6}{2,3 \cdot 0,946} = 71,2^{\circ}C$$

$$F = \frac{248,3 \cdot 10^3}{40 \cdot 71,2} = 87,2 \text{ м}^2$$

Ушбу юза бўйича КФС - 11 калорифер танлаймиз ва ундан икки дона олишимиз керак [127].

КФС - 11 нинг характеристикалари:

- иссиқлик алмашилиш юзаси	- $F = 54,6 \text{ м}^2$
- массаси	- $m = 244,45 \text{ кг}$
- баландлиги	- $h = 1160 \text{ мм}$
- эни	- $l = 960 \text{ мм}$
- кўндаланг кесим юзаси, м^2 :	
ҳ а в о бўйича	- $f = 0,638 \text{ м}^2$
иситувчи буғ бўйича	- $f = 0,0122 \text{ м}^2$

VI. Қуриткичнинг механик ҳисоби.

Барабан деворларининг қалинлиги

$$\delta = 0,007 \quad D_{бар} = 0,007 \quad 2814 = 19 \text{ мм}$$

Барабаннинг айланиш тезлиги.

$$n = \frac{(m \quad k \quad L_{бар})}{(\tau \quad D_{бар} \cdot \lg \alpha)}$$

бу ерда m - насадканинг турига боғлиқ коэффициент: $m = 0,5$; $k = 0,5...2,0$ [127,128].

$$n = \frac{(0,5 \quad 2 \quad 14)}{(4335 \quad 2,814 \quad \lg 24,4)} = 0,05 \text{ айл/с}$$

Одатда, қумни қуритишда $n = 3,8 \text{ айл/мин}$ қабул қилинади.

Барабанни айлантиришга сарфланган қувват:

$$N = 0,078 \quad D_{бар}^3 \quad L_{бар} \quad \rho \quad \sigma \cdot n$$

бу ерда σ - қувват коэффициенти, насадка турига ва барабаннинг тўлалик коэффициентига боғлиқ $\sigma = 0,071$ [85,127].

$$N = 0,078 \quad 2,8^3 \quad 14 \quad 1200 \quad 0,071 \quad 3 = 6,127 \text{ кВт}$$

5.48. Умумий тушунчалар

Эритмалардан эриган қаттиқ компонентларни кристалл ҳолда ажратиш олиш **кристалланиш** жараёни деб номланади.

Кристалланишга тескари жараён **эритиш** жараёни дейилади.

Кристалл деганда ҳар хил шаклдаги, текис қирралар билан чекланган бир жинсли қаттиқ моддалар тушунилади.

Кристалланиш қаттиқ моддаларни тоза ҳолда олишнинг асосий усули, чунки кристалланиш жараёнида ҳар доим шундай шароит яратиш мумкинки, кераксиз моддалар эритмада қолиб, фақат тоза модда кристалланади.

Кристалланиш жараёни кимё, нефть кимёси, металлургия, медицина, фармацевтика, озиқ – овқат ва бошқа саноатларда кенг миқёсда қўлланилади. Кристалланиш жараёнини ўтказишдан мақсад: эритмалардан кристаллик фазани ажратиш; бир ва кўп босқичли кристаллаш усулларида аралашмаларни ажратиш; моддаларни аралашмалардан ўта тозалаш; монокристаллар етиштириш.

Кристалланиш жараёнида турли ўлчамли кристаллар, яъни сочилувчан маҳсулот олинади.

Ҳар бир модда кристалларининг ўзига хос геометрик шакллари бор. Ҳаммаси бўлиб 32 хил кристаллар симметрия ўқлар сони мавжуд ва улар 7 та кристаллографик гуруҳга ажратилган: кубик, тригонал, тетрагонал, гексагонал, ромбик, моноклин, триклин.

Бир кимёвий модда бир неча хил кристаллар ҳосил қилиши **полиморфизм** деб юритилади.

Ўз таркибида сув молекулаларини тутган кристалл **кристаллогидратлар** дейилади.

Кристалланиш жараёни рўй бериши учун бошланғич эритма ўта тўйинган ҳолатда бўлиши керак. Агар, эритмадаги эриган модда концентрацияси унинг эрувчанлигидан юқори бўлса, бундай эритмалар ўта тўйинган деб номланади. Лекин, ўта тўйинган эритмалар нотурғун система бўлгани учун, ундан эриган модданинг ортиқча миқдори ажралиб чиқади, яъни кристалланиш жараёни содир бўлади. Кристаллар ажраб чиқиши тутагандан кейин тўйинган эритма қолади.

Саноат технологик жараёни 3 босқичдан иборат: 1) кристалланиш; 2) кристалларни эритмалардан ажратиш; 3) кристалларни ювиш ва қуриштириш.

5.49. Кристалланиш статикаси ва кинетикаси

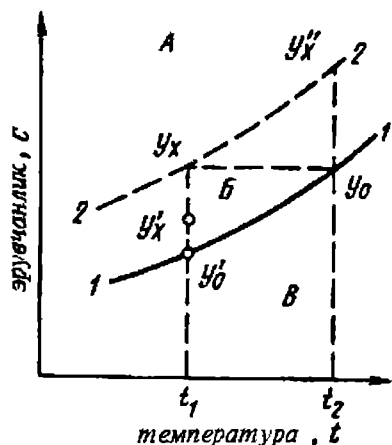
Жараён статикаси. Температура ортиши билан қаттиқ моддалар эрувчанлиги ўзгаришига қараб "мусбат" ёки "манфий" эрувчанликка эга бўлиши мумкин.

Агар, температура ўсиши билан моддалар эрувчанлиги ортса, унда "мусбат", аксинча бўлса "манфий" эрувчанликли бўлади.

Маълум температурада қаттиқ фаза билан мувозанатда бўлган эритма **тўйинган** эритма деб номланади. Бундай эритмаларда қаттиқ модда ва эритма ўртасида динамик мувозанат ҳолати мавжуддир.

Эриган модда концентрацияси унинг эрувчанлигидан катта бўлган аралашмаларга **ўта тўйинган** эритмалар деб номланади. Ўта тўйинган эритмалар нотурғун бўлади ва тўйинган ҳолатга осон ўтади. Бундай ўтиш даврида ўта тўйинган эритмалардан кристаллар ажралиб чиқади.

Температура ўзгариши билан эритмаларда юз берадиган ўзгаришларни ҳолат диаграммаси характерлайди (5.124-расм).



5.124-расм. Эритмалар ҳолат диаграммаси.
1-1 - эрувчанлик эгри чизиги;
2-2 - метастабил соҳа чегараси;
А - лабил (ўзгаришчан) эритмалар зонаси; Б - метастабил эритмалар зонаси; В - барқарор эритмалар зонаси.

Концентрацияси лабил (ўзгаришчан) зонага тўғри келадиган эритмалар жуда тез кристалланади. Метастабил зонага оид концентрацияли эритмалар эса - нисбатан секин кристалланади, чунки жараён тезлиги эритма температураси, иссиқликни ажратиш олиш ёки эритувчини буғланиш тезлиги, аралаштириш ва бошқа омилларга боғлиқ.

Агар, температура t_2 дан t_1 гача ўзгарса, эритмадан жуда кам миқдорда кристаллар ажраб чиқади ва у эритма концентрацияси $y_2 - y_0$ ўзгаришига тўғри пропорционалдир.

Ўзгармас t_2 температурада эритувчининг бир қисми йўқотилган тақдирда, ўта тўйинган эритма олишга эришиш мумкин. Бунда, концентрациялар фарқи $y_x - y_0$ га пропорционал миқдорда кристаллар ҳосил бўлади.

Демак, бундай эритмалар кристалланиши эритма температурасини пасайтириш ёки эритувчининг бир қисмини йўқотиш йўли билан ўтказиш мумкин.

Эритма эрувчанлигининг температурага боғлиқлиги жуда катта бўлса, температурани камайтириб кристаллаш оптимал усулга тўғри келади.

Агар, температура ортиши билан моддалар эрувчанлиги ўзгармаса, унда эритувчининг бир қисмини йўқотиш усулида кристаллаш мумкин.

Жараён кинетикаси. Эритмадан моддани қаттиқ фазага ўтиши, эриган моддаларнинг чегаравий қатлам орқали диффузия усулида амалга ошади. Кристалланиш жараёнининг тезлиги чегаравий қатлам орқали эриган модда диффузияси ёки кристалл билан модда қўшилиш тезлиги ёки бир вақтнинг ўзида иккала омил билан аниқланиши мумкин.

Сахарозанинг кристалланиш жараёнини кўриб чиқамиз. Кристаллар ўлчами ўсиши жараёнида улар δ қалинликдаги ўта тўйинган, метастабил эритма чегаравий қатлами билан ўралган бўлади. Ушбу ўта тўйинган эритмадан ортиқча сахароза молекулалари тезда ажралиб чиқади ва кристалл юзасига ёпишади. Натижада, эритма y_n концентрацияли ҳолатига ўтади.

Лекин, кристалларни маълум бир масофада ўраб турган эритмада концентрацияси y_n бўлган ўта тўйинган сахароза сақланиб туради.

Концентрациялар фарқи $y_n - y_0$ бўлгани учун эритманинг чегаравий қатлами орқали сахароза диффузия қилади. Кристалл қирраларига яқинлашган, сахароза молекулалари кристаллик панжарага ўтади, яъни фазавий ўтиш содир бўлади. Шундай қилиб, кристаллар ўсиш тезлиги сахарозанинг диффузия ва фазаларни ажратувчи чегарада фазавий ўтиш тезликлари билан белгиланади. Агар, фазавий ўтиш тезлиги сахарозанинг диффузия тезлигидан юқори бўлса, унда сахарозанинг кристалланиш жараёнини чекловчи босқичи бўлиб унинг диффузияси ҳисобланади.

Сахароза кристалларининг ўсиш тезлиги ушбу тенглама ёрдамида ифодалаш мумкин:

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{D \cdot F(y_n - y_{\text{н}})}{\delta} \quad (5.242)$$

бу ерда dM - вақт бирлигида кристалланган модда миқдори; D - диффузия коэффициентини; F - кристалланиш юзаси; y_n - ўта тўйинган эритма ҳажмидаги модда концентрацияси; $y_{\text{н}}$ - кристалл сирти атрофидаги модда концентрацияси (одатда эритма концентрациясига тенг деб қабул қилинади); δ - концентрацияси y_n лан $y_{\text{н}}$ гача ўзгарадиган эритма чегаравий қатламнинг қалинлиги.

(5.242) тенгламани интегралласак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$M = \frac{D \cdot (y_n - y_{\text{н}}) F \tau}{\delta}$$

Кристалланиш тезлиги эса:

$$\frac{M}{F\tau} = \frac{D \cdot (y_n - y_{\text{н}})}{\delta} \quad (5.243)$$

Кристаллар ламинар режимда ўта тўйинган эритма билан ювилиб туришини ҳисобга олсак, чегаравий қатлам қалинлиги ушбу ифодадан аниқланади:

$$\delta \approx \left(\frac{\mu}{\nu} \right)^{0.5} \quad (5.244)$$

бу ерда μ - тўйинган эритманинг динамик қовушоқлиги; ν - кристалларнинг эритмадаги ҳаракат тезлиги. Стокс қонунига биноан $\nu = l/\mu$

Эйнштейн назариясига биноан диффузия коэффициентининг абсолют температура T ва қовушоқлик μ га боғлиқлиги қуйидаги функция билан ифодаланади:

$$D = \frac{kT}{\mu} \quad (5.245)$$

бу ерда k - диффузияланаётган модда табиатига боғлиқ ўзгармас катталик.

(5.244) ва (5.245) тенгламаларни (5.243) га қўйсак, ушбу кўринишга эришамиз:

$$\frac{M}{F\tau} = \frac{kT(y_n - y_{\text{н}})}{\mu^2} \quad (5.246)$$

$\mu^2 = 1$ бўлганда, коэффициент $k = 2318$. Унда, (5.246) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$\frac{M}{F\tau} = \frac{2318 \cdot (y_n - y_{\text{н}})}{\mu^2} \quad (5.247)$$

бу ерда $M/(F\tau)$ - сахарозанинг кристалланиш тезлиги, мг/(м²·мин); $y_n - y_{\text{н}}$ - концентрациялар фарқи, грамм 100 г эритмага; μ - тўйинган эритманинг динамик қовушоқлиги, мПа·с.

Кристалланиш тезлигини белгиловчи асосий омиллар: эритманинг ўта тўйиниш даражаси; температура; кристалланиш марказларининг ҳосил бўлиши; аралаштириш интенсивлиги; эритмада қўшимча моддалар борлиги ва ҳ.

Кристалланиш жараёни 2 босқичдан иборат: кристалланиш марказларини ҳосил бўлиши ва кристалларнинг ўсиши.

Кристалланиш марказларининг ҳосил бўлиши. Ўта тўйинган ёки совутилган эритмаларда кристалланиш марказларини сунъий равишда ҳосил қилиш мумкин. Масалан, эритмага майин дисперс заррачалар ёки "томизғи" қўшиш йўли билан ёки эркин, ўз - ўзидан ҳосил бўлади.

Ўз - ўзидан кристалланиш марказларининг ҳосил бўлишига индукцион давр сабабчи, чунки бу даврда кристалланиш юз бермайди. Ушбу даврда кристаллик асослари эритма билан ҳаракатчан мувозанатда бўлади. Кристаллик асослар ва эритма орасидаги ҳаракатчан мувозанат бузилиши билан ёппасига кристалланиш бошланади. Эритмани силкитиш ёки аралаштириш ва температура ортиши билан кристалл асослари ҳосил бўлиш тезлиги кўпаяди.

Кристалларнинг ўсиши. Эритмада эриган модда заррачаларининг ҳосил бўлган кристаллик асосларда адсорбцияси ҳисобига бўлади.

Кристалланиш жараёнида кристалл ҳамма қирралари бўйлаб бир вақтда ўсади, лекин ўсиш тезлиги ҳар хил бўлади. Бу ҳол кристаллар ўлчами ва шаклининг ўзгаришиги олиб келади.

Кристалларнинг шакли асосан кристалланаётган модда табиатига боғлиқ. Агар, кристаллик асослар эркин ва бир текисда ювилиб турса, тўғри шаклли, яхши қирра ва томонли кристаллар ҳосил бўлади. Агар қурилма девори ва аралаштириш мосламасига кристаллар ишқаланса ёки урилса, унинг қирралари силлиқланиши ҳисобига кристалл шакли бузилади, яъни маҳсулот сифати ёмонлашади.

Одатда, олинаётган кристаллар ҳар хил бўлиши, эритмани ёмон аралаштирилиши билан боғлиқдир. Лекин, эритма интенсив аралаштирилиши бир томондан кристалланиш тезлигини оширса, иккинчи томондан - майда кристаллар ҳосил бўлишига сабабчи бўлади.

Олинган маҳсулот гранулометрик таркибини яхшилаш мақсадида классификация қилинади.

Кристаллар тозаллиги кристалланиш жараёнини ўтказиш шароитларига, ҳамда кристалларни филтрлаш ва ювишга боғлиқ.

5.50. Кристалланиш усуллари

Кристалланиш жараёнини даврий ва узлуксиз ташкил этиш мумкин. Даврий кристалланиш жараёни кам тоннажли, узлуксиз эса — кўп тоннажли ишлаб чиқаришда қўлланилади.

Саноат миқёсида қуйидаги кристалланиш усулларида фойдаланади: эритмалардаги эритувчининг бир қисмини буғлатиш; эритма температурасини ўзгартириб кристаллаш; комбинацияланган усуллардан фойдаланиб кристаллаш.

Эритмадаги эритувчининг бир қисмини буғлатиб кристаллаш. Эритувчининг бир қисмини йўқотиш учун буғланиш ёки музлатиш усулидан фойдаланиш мумкин. Эритма таркибидаги сувни ҳайдаш учун буғланиш кенг қўламда ишлатилади. Одатда бу жараён буғлатиш қурилмаларида амалга оширилади. Керакли даражадаги ўта тўйинган эритма ҳосил бўлгандан кейин, у шў қурилмада кристалланади. Ушбу усул **изотермик** кристалланиш деб аталади.

Бу усулнинг камчиликлари: ҳосил бўлаётган кристаллар иссиқлик алмашилиш юзаларига ёпишиб қолади; бошланғич эритма таркибидаги аралашмалар ҳам қуюқлашади.

Қурилма ичида қаттиқ моддалар ёпишиб ёки чўкиб қолмаслиги учун эритманинг циркуляция тезлиги кўпайтирилади.

Кристалларни ажратиш ва ювиш фильтр ёки центрифугаларда ўтказилади.

Эритма температурасини ўзгартириб кристаллаш. Бундай усул **изогидрик** кристаллаш деб номланади, чунки бу жараён эритмада эритувчи миқдори ўзгармас бўлган ҳолатда олиб борилади.

Кимё саноатида мусбат эрувчанликка эга тузларни кристаллаш жуда кенг тарқалган. Бундай эритмаларнинг ўта тўйинишига уни совитиш йўли билан эришилади. Жараён даврий ёки узлуксиз, поғонали жойлашган бир ёки кўп корпусли қурилмаларда олиб борилади. Совутувчи элткич сифатида сув ишлатилади. Ҳаво ёрдамида совутилганда жараён нисбатан секин боради, лекин йирик ва бир жинсли кристаллар ҳосил бўлади. Манфий эрувчанликка эга эритмаларни кристаллаш учун эритма қиздирилиши зарур.

Комбинацияланган усулларга вакуум остида, эритувчининг бир қисмини иссиқлик элткич ёрдамида буғлатиб кристаллаш ва фракцияли кристаллашлар киради.

Вакуум остида кристаллаш. Бу усулда эритувчи девор орқали иссиқлик узатиш йўли билан буғлатилмасдан, балки эритманинг ўз физик иссиқлигини бериш ҳисобига рўй беради. Ушбу иссиқликнинг бир қисми эритувчини (таҳминан 10% масс) буғлатиш учун сарфланади. Ҳосил бўлаётган буғлар вакуум - насос ёрдамида сўриб олинади. Узатилаётган иссиқ тўйинган эритма температураси қурилмадаги босимга тегишли эритманинг қайнаш температурасигача пасаяди ва жараён адиабатик кечади. Эритманинг ўта тўйиниш ҳолатига уни совитиш йўли билан эришилади, чунки концентрация бунда сезилар - сезилмас ўзгаради. Эритувчи эритманинг физик иссиқлиги ҳисобига, ҳамда кристалланиш жараёнида ажралиб чиқаётган иссиқлик ҳисобига буғланиши мумкин. Эритманинг совитиш ва кристалланиши билан бирга буғланиши унинг бугун ҳажмида содир бўлади. Бундай ҳолат қурилма деворларида кристаллар ёпишиб қолишини камайтиради, ҳамда уни тозалаш билан боғлиқ сарфлар қисқаради.

Эритувчининг бир қисмини иссиқлик элткич ёрдамида буғлатиб кристаллаш. Бу усулда эритувчининг бир қисми эритма устида ҳаракатланаётган ҳаво ёрдамида буғланади ва эритма совутилади.

Фракцияли кристаллаш. Агар эритма таркибида ажратиладиган моддалар бир нечта бўлса, уни фракцияли кристаллаш усулида қайта ишланади. Бу усулда эритма температура ва концентрациясини ўзгартириш йўли билан кристаллар кетма - кет чўктирилади ва ажратиб олинади.

5.51. Кристаллизаторлар конструкциялари

Ишлаш принципига қараб кристаллизаторлар даврий ва узлуксиз қурилмаларга бўлинади. Узлуксиз ишлайдиган қурилмалар ўз навбатида эритувчининг бир қисмини буғлатувчи ва эритмани совутувчи кристаллизаторларга ажралади. Ундан ташқари, мавҳум қайнаш қатламли кристаллизаторлар ҳам бўлади.

Табиий циркуляцияли, даврий ишлайдиган, осма иситувчи камерали вакуум - кристаллизатор 5.125-расмда тасвирланган.

Иситувчи камера конуссимон тешикли панжара ва трубалар ўрамидан таркиб топган. Трубалар ушбу панжарага развальцовка усулида маҳкамланган.

Иситувчи камеранинг ўқи бўйлаб циркуляцион труба жойлантирилган. Қурилма қобиғи ва иситувчи камера орасида ҳалқасимон бўшлиқ бўлиб, унда

утфель циркуляция қилади. Қурилмада температуралар фарқи туфайли чизикли узайишлар пайдо бўлади. Шу сабабли, буғни узатиш учун температура деформацияларини компенсация қилувчи махсус мослама ўрнатилган.

Ушбу мослама иситувчи камера билан қаттиқ бирлаштирилган бўлса, қурилма қобиғи билан эса - температура таъсирида ҳосил бўладиган узайишларни бартараф қилувчи мембрана ёрдамида бирлаштирилади. Утфель циркуляциясини яхшилаш мақсадида иситувчи камера остига буғ ёрдамида пуфлаш қўлланилади.

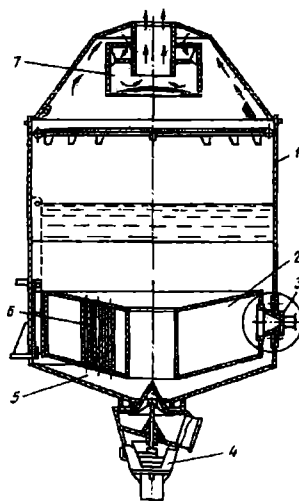
Вакуум - кристаллизаторларда қўлланиладиган иситувчи камера конструкциялари турли бўлиши мумкин. Ҳозирги кунда энг кенг тарқалган иситувчи камера конструкцияси - бу осма камералардир. Уларнинг тешикли панжараси конуссимон, сферик ва бошқа мураккаб шаклли бўлиши мумкин. Иситувчи буғ камеранинг трубалараро бўшлиғига, буғлагилаётган эритма эса - труба ичига юборилади.

Узлуксиз ишлайдиган кристаллизаторлар қуюқлаштиргич, кристалл генератори ва кристалл ўстириш камерасидан иборат. Қурилма конструкцияси кристалларни деворларга чўкиб қолмаслигини таъминловчи, интенсив циркуляцияли бўлиши керак. Ундан ташқари, унинг иссиқлик алмашилиши юқори ва бир хил катталиктаги кристаллар олишни таъминлаши керак.

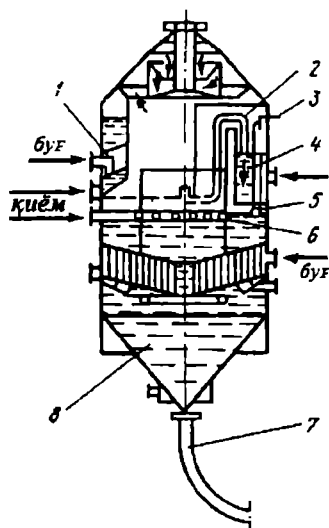
5.126-расмда қанд ишлаб чиқариш саноатида қўлланиладиган узлуксиз ишлайдиган кристаллизатор конструкцияси келтирилган. Қуюқлаштиргич ва кристалл генераторлари ҳалқасимон сегмент кўринишида ясалган бўлиб, иситиш юзалари зарур ўлчамдаги трубалардан ҳосил қилинган. Қурилманинг бошқа қисмларидан қуюқлаштиргич ажратилган ва яхши зичланган. Шунинг учун ҳам, унинг ичида бошқа қисмларига боғлиқ бўлмаган ҳолда ортиқча босим ҳосил қилиш имкони бор. Кристалл генераторининг юқори, очиқ қисми кристалл ўстириш камераси утфель усти бўшлиғи билан боғланган. Одатда, кристалл ўстириш камераси цилиндрик кўринишда бўлиб, цилиндрик ва радиал тўсиқлар ёрдамида 4 та бўлимга ажратилган бўлади.

Турғун режим ўрнатилгандан сўнг, қиём (патока) қуюқлаштиргич ва кристалл ўстириш камерасига узатилади.

Қуюқлаштиргичдаги юқори босимда ва кристалл ҳосил бўлиш температурасидан 10...15°C юқори температурада қиём концентрацияси оширилади. Сўнг эса, қуюқлаштирилган эритма кристалл генераторига юборилади ва у ерда қайнайди. Натижада эритмадаги эритувчининг бир қисми буғланади ва температураси пасаяди. Бу ҳол ўта тўйиниш коэффициентида кескин ўсишига олиб келади. Қиёмнинг циркуляцияси даврида интенсив равишда кристаллар ҳосил бўлиб бошлайди. Қуюқлаштиргичдаги қиёмнинг ўта қизиш катталиги ва кристалл генераторига узатилаётган буғ миқдори билан кристаллар таркибини роллаш мумкин.



5.125-расм. Осма иситувчи камерали вакуум - кристаллизатор.
1 - қобиқ; 2 - иситувчи камера; 3 - буғни узатиш мосламаси; 4 - циркуляция труба; 5 - конуссимон туб; 6 - иситувчи труба; 7 - инерцион сепаратор.



5.126-расм. Узлуксиз ишлайдиган кристаллизатор.

1 - қуюқлаштиргич; 2 - труба; 3 - труба ҳолатини ростловчи гилдирак (штурвал); 4 - кристалл генератори; 5 - қуйилиш трубалари; 6 - барботер; 7 - тўкиш мосламаси; 8 - кристаллар ўстириш камераси.

Кристалл генераторида олинган утфель ва қиём узлуксиз равишда кристалл ўстириш камерасининг биринчи бўлимига узатилади. Утфель эса биринчи бўлимдан тўртинчисига оқиб ўтади, қайнатиб қуюлтирилади ва тўкиш мосламаси орқали узлуксиз равишда чиқариб турилади.

Қурилма ишлаши автоматик равишда бошқарилади.

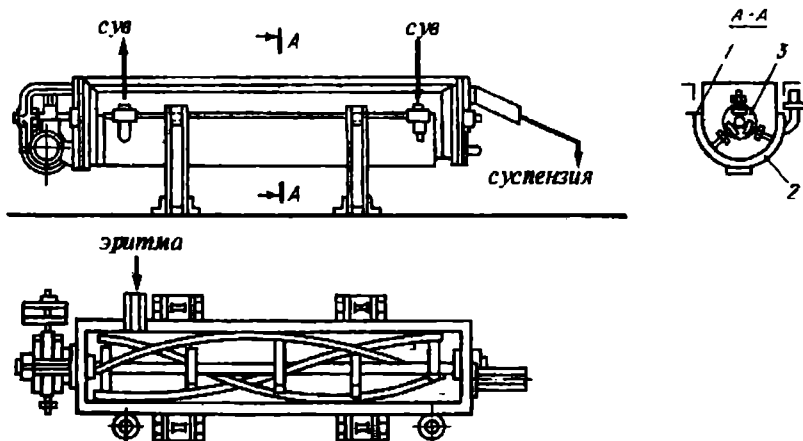
Даврий ишлайдиган кристаллизаторлар механик аралаштиргичли ва змеевикли вертикал, цилиндрлик қурилмалардир. Бундай қурилмаларда кристаллаш жараёни ва эритмани совитиш бир вақтда олиб борилади.

Лента аралаштиргичли тоғорасимон типдаги кристаллизатор 5.127-расмда кўрсатилган. Айрим ҳолларда лентали аралаштиргич ўрнига узлуксиз винт шаклидаги шнекли аралаштиргич ўрнатилиши мумкин.

Бу турдаги кристаллизаторда олинган кристаллар ўлча-

ми 0,5...6 мм дан ошмайди. Тоғорасимон кристаллизаторлар тузилиши содда, эксплуатация қилиш қулай ва ишончлилиги юқори.

Барабанли кристаллизаторлар таркибида сув ёки ҳаволи совитиш мосламали бўлади. Ҳаво ёрдамида совутилганда, эритмадан ҳавога иссиқлик бериш коэффициенти кичик бўлади.

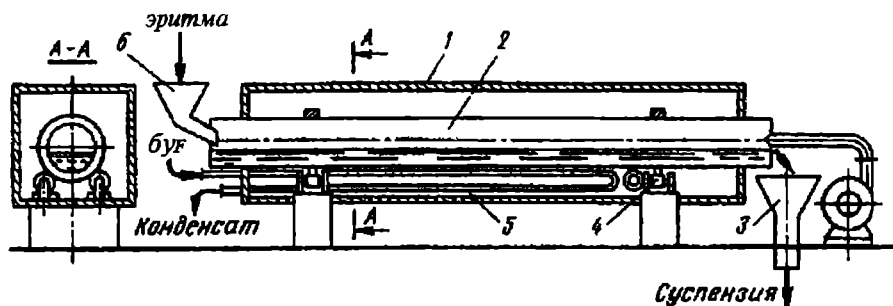


5.127-расм. Лента аралаштиргичли кристаллизатор.

1 - тоғорасимон қобик; 2 - сувли гилоф; 3 - аралаштиргичлар.

Шунинг учун йирик, катта ўлчамли кристаллар ҳосил бўлади. Лекин, кристаллизатор иш унумдорлиги, сув билан совитиш усулига қараганда, камроқ бўлади.

Барабанли кристаллизатор айланувчи, цилиндрик барабандан ташкил топган. Одатда барабан эритма ҳаракат йўналиши бўйлаб, уфқ чизигига нисбатан маълум қиялик бурчагида ўрнатилади (5.128-расм).



5.128-расм. Барабанли кристаллизатор.

1 - қобик; 2 - барабан; 3 - суспензия; 4 - филдиракча; 5 - змеевик; 6 - воронка.

Эритма барабаннинг тепа қисмига берилади ва ҳосил бўлган кристаллар унинг пастки учидан тўкилади. Барабан айланиши пайтида унинг деворлари эритма билан ҳўлланади ва натижада сувнинг буғланиш юзаси ортади.

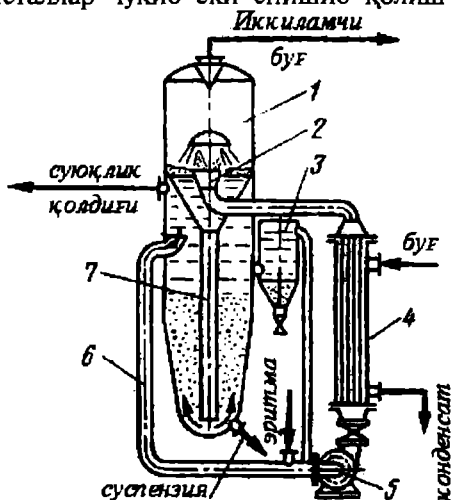
Барабан қобик ичига жойлаштирилган бўлиб, улар орасидаги ҳалқасимон бўшлиққа совуқлик элткичлар, яъни сув ёки ҳаво юборилади. Эритма ва совуқлик элткич қарама қарши йўналишда ҳаракатланади. 1 м³ эритмани совитиш учун тахминан 5 м³ сув сарфланади. Қурилма деворларида кристаллар чўкиб ёки ёпишиб қолиш олдини олиш мақсадида барабаннинг

пастки қисми қиздириб турилади. Бунинг учун қобик ва барабан орасидаги бўшлиққа змеевик ўрнатилади.

Мавҳум қайнаш қатламли кристаллизаторлар кристаллаш жараёнини интенсив режимларда ўтказиш имкониятини беради (5.129-расм).

Кристалланиш жараёни эритувчининг бир қисмини буғлатиб йўқотиш ёки эритмани совитиш усулларида ташкил этилиши мумкин.

Циркуляцион трубада бошланғич эритма циркуляция қилаётган кристаллари ажратиб олинган эритма қолдиги билан аралашади. Сўнг, аралашма иссиқлик алмашилиш қурилма-сида қиздирилади, қайнаш труба-си орқали қурилмага ўтади ва у ерда интенсив равишда қай-



5.129-расм. Мавҳум қайнаш қатламли кристаллизатор.

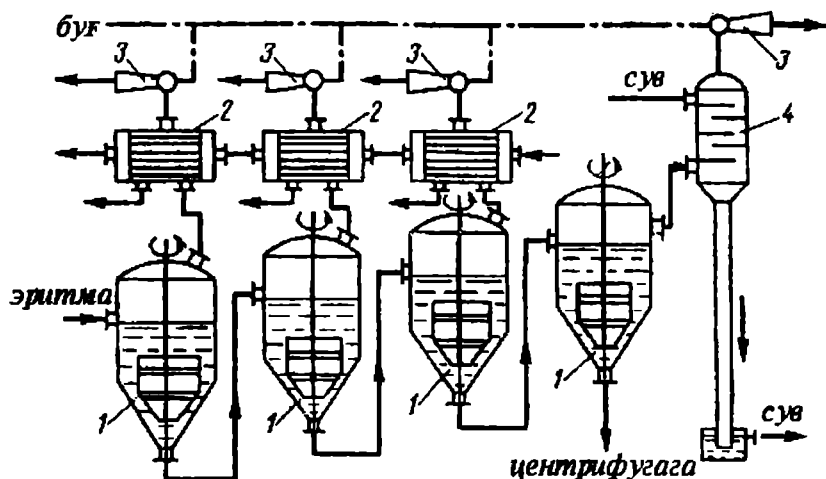
1 - қобик; 2 - қайнаш труба; 3 - йиғич; 4 - иссиқлик алмашилиш қурилмаси; 5 - насос; 6 - циркуляцион труба; 7 - марказий трубалар.

наб буг ҳосил қилади. Жараён мобайнида ҳосил бўлган ўта тўйинган эритма кристаллизаторнинг пастки қисмига тушади. Бу ерда, эритманинг циркуляцияси ҳисобига мавҳум қайнаш қатлами пайдо бўлади. Ҳосил бўлган йирик (2 мм гача) кристаллар қурилма тубига чўкади ва улар чиқариб юборилади.

Майда кристаллар эса, жараёнда қатнашиб, ўсишда давом этади ёки йиғгич 3 орқали чиқарилади.

Мавҳум қайнаш қатламида суспензиянинг интенсив аралашиши туфайли эритмада модданинг диффузия тезлиги ортади ва кристаллларнинг ўсиш жараёни тезлашади. Бунда, эритманинг ўта тўйиниш даражаси камаяди ва кристалларнинг ўсиш тезлиги кристаллаш марказлари ҳосил бўлиш тезлигига нисбатан катта бўлади. Мавҳум қайнаш қатламида кристаллаш жараёнида бошқа усулларга нисбатан яхши гранулометриқ таркибли кристаллар олинади.

Кўп корпусли вакуум – кристаллаш қурилмаси 5.130-расмда келтирилган. Одатда бундай қурилмалар таркибида 3...4 та аралаштиргичли вакуум кристаллизатор бўлади. Эритма, ҳар бир қуйидаги жойлашган корпусдан юқоридаги корпусга вакуум ҳисобига сўриб олинади. Ҳар бир корпус сиртий конденсатор ва буг оқимчали насос билан таъминланган. Охириги корпусдаги вакуум, барометрик конденсатор ёрдамида ҳосил қилинади. Сиртий конденсаторлар бошланғич эритма ёрдамида совутилади. Суспензия эса, охириги корпусдан чиқарилади.



5.130-расм. Кўп корпусли вакуум-кристаллаш қурилмаси.

1 - вакум-кристаллизаторлар; 2 - сиртий конденсаторлар;
3 - буг-оқимчали насос; 4 - барометрик конденсатор.

Кўп корпусли вакуум кристаллизаторлар тузилиши содда, иқтисодий жиҳатдан самарадор ва йирик, кўп тоннажли корхоналарда ишлатилади.

5.52. Кристаллизаторларни ҳисоблаш

МОДИЙ БАЛАНС

Эритмадаги эритувчининг бир қисмини буглатиб кристаллаш. Жараёнда қатнашаётган моддалар ва оқимлар параметрларини белгилаб оламиз:

- G_0 , $G_{кр}$, G_m - бошланғич эритма, олинган кристаллар ва кристаллардан ажратилган суюқлик қолдиқларининг массаси, кг;

W - буглатилган эритувчи массаси, кг;

- x_6, x_m - бошланғич эритма ва кристаллари ажратиб олинган суюқлик қолдиғи таркибидаги эриган модда концентрациялари, массавий улушлар;

- $a = M/M_{кр}$ - эриган абсолют қуруқ модда молекуляр массасининг кристаллогидратнинг молекуляр массасига нисбати; сув молекулаларини қўшмасдан кристаллаш учун $M = M_{кр} \cdot a = 1$;

- L - қуруқ газ сарфи, кг;

- x_1, x_2 - газнинг бошланғич ва жараён охиридаги нам сақлаши.

Кристалланиш жараёнининг умумий моддий баланси ушбу формула билан ифодаланади:

$$G_6 = G_{кр} + G_k + W \quad (5.248)$$

Эриган абсолют қуруқ модда бўйича моддий баланс ушбу кўринишда бўлади:

$$G_6 x_6 = G_{кр} a + G_m x_m \quad (5.249)$$

Агар, $a=1$ бўлса, буглатилган эритувчининг массаси ушбу формуладан топилади:

$$W = \frac{G_{кр}}{G_6 \left(1 - \frac{x_6}{x_m} \right)} \quad (5.250)$$

(5.248) ва (5.250) формулалардан фойдаланиб ҳосил бўлган кристаллар массасини аниқлаш мумкин:

$$G_{кр} = \frac{G_6 (x_m - x_6) - W \cdot x_m}{x_m a} \quad (5.251)$$

Эритмадаги эритувчини буглатмасдан кристаллашда $W=0$ бўлади. Бу усулда олинган кристаллар миқдори:

$$G_{кр} = \frac{G_6 (x_6 - x_m)}{a - x_m} \quad (5.252)$$

Агар $a=1$ бўлса:

$$G_{кр} = \frac{G_6 (x_6 - x_m)}{1 - x_m}$$

Эритувчини буг ҳолатига ўтказиш учун сарфланган газ миқдори ушбу тенгламадан ҳисобланади:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \quad (5.253)$$

ИССИҚЛИК БАЛАНСИ.

Эритмадаги эритувчининг бир қисмини буғлатиб кристаллаш. Иссиқлик балансини тузиш учун ушбу белгилашларни киритамиз:

- D - иситувчи буғ сарфи, кг/с;

- $i_p, i_{кр}, i_m, i_{вт}, i', i''$ - эритма, кристалл, кристаллари ажратиб олинган эритма қолдиғи, иккиламчи буғ, иситувчи буғ ва конденсатларнинг солиштирма энтальпияси, кЖ/кг;

$r_{кр}$ - кристалларнинг кристаллик панжараси ҳосил қилиш иссиқлиғи, кЖ/кг;

- Δq - эритмани x_δ дан x_m гача концентрлашнинг иссиқлик эффекти.

Эритмани кристаллаш жараёнида кристаллик панжараси ҳосил бўлади ва маълум миқдорда иссиқлик (қотиб қолиш иссиқлиғи) ажралиб чиқади. Моддаларни эритиш жараёнида эса, иссиқлик сарфлар зарур бўлади.

Агар, эритилаётган модда эритувчи билан кимёвий реакцияга киришиб гидратлар ҳосил қилса, унда иссиқлик ажралиб чиқади.

Қотиш иссиқлиғи ва гидратлар ҳосил бўлишига қараб кристалланишнинг суммар иссиқлик эффекти мусбат ёки манфий бўлади.

Юқорида қабул қилинган белгилашларни ҳисобга олсак,

- кристалланиш иссиқлиғи $Q_{кр} = Q_{кр} \cdot r_{кр}$,

- гидратлаш иссиқлиғи эса - $Q_r = \pm \Delta q G_m x_m$.

Иссиқлик балансини қуйидаги тенглик билан ифодалаш мумкин:

$$G_\delta i_p + G_{кр} r_{кр} \pm \Delta q G_m x_m + D i'' = G_{кр} \cdot i_{кр} + G_m i_m + W i_{вт} + D i' + Q_n \quad (5.254)$$

Бундан, кристаллаш учун зарур бўлган буғ сарфини аниқлаш мумкин:

$$Q = D(i'' - i') = G_{кр} \cdot i_{кр} + G_m i_m + W i_{вт} + Q_n - G_m r_{кр} \pm \Delta q G_m x_m \quad (5.255)$$

Эритмани совитиш жараёнидаги совуқ сувнинг массавий сарфи:

$$G_{св} = \frac{Q_{сов}}{G_m c_m (t_{ох} - t_\delta)} \quad (5.256)$$

Совуқ ҳавонинг сарфи эса:

$$L = \frac{Q_{сов}}{i_{ох} - i_\delta} \quad (5.257)$$

бу ерда $t_\delta, t_{ох}$ - сувнинг бошланғич ва охири температуралари, °С; $i_\delta, i_{ох}$ - ҳавонинг бошланғич ва охири энтальпиялари, кЖ/кг.

Кристаллизаторларнинг иситиш ва совитиш юзалари иссиқлик алмашиши қурилмаларини ҳисоблаш формулалари бўйича олиб борилади.

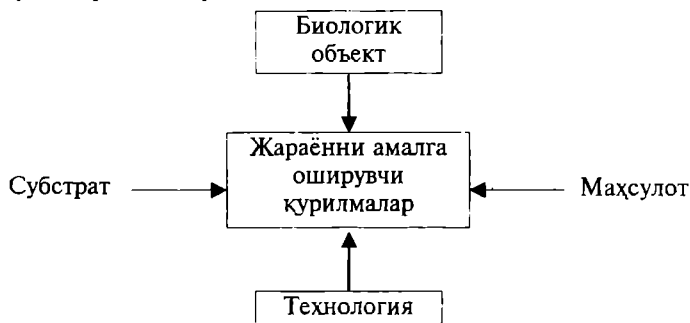
6.1. Умумий тушунчалар

Микроорганизмларнинг ҳаёт фаолиятига йўналтирилган жараёнлар **биокимёвий жараёнлар** дейилади. Бу жараёнлар маълум тезликка эга бўлиб, улар микроорганизмлар биомассасининг ёки муҳитда тўпланган метаболит маҳсулотлар массасининг ўсиши билан характерланади.

Ҳозирги замонда кўпроқ диққат эътибор тирик организмларнинг ҳаёт-фаолиятига суяниб олиб бориладиган саноат жараёнларига қаратилмоқда ва улар **биотехнологик жараёнлар** деб аталади. Биотехнологиянинг гуркираб ривожланиши охириги 40 йилларга тўғри келиб, биология фанининг ютуқлари, генетика ва ҳужайра инженерияси технологияларининг ишланмаларини юзага келиши, ҳамда табиий ресурсларни камайиши (ёки қимматлашиши), анъанавий технологияларнинг инқирозга учраши билан боғлиқдир. Биотехнологиянинг ривожланиши келажакда иқтисодий ва экологик манфаатдорликка олиб келади.

Биотехнологиянинг кенг маънодаги умумий тушунчаси деганда технологик жараёнларда микроорганизмлардан, микроб ҳужайралари ва тўқималаридан фойдаланган ҳолда, биокимё, молекуляр биология ва амалий фанларни, интеграциялаган ҳолда қўллаш тушунилади.

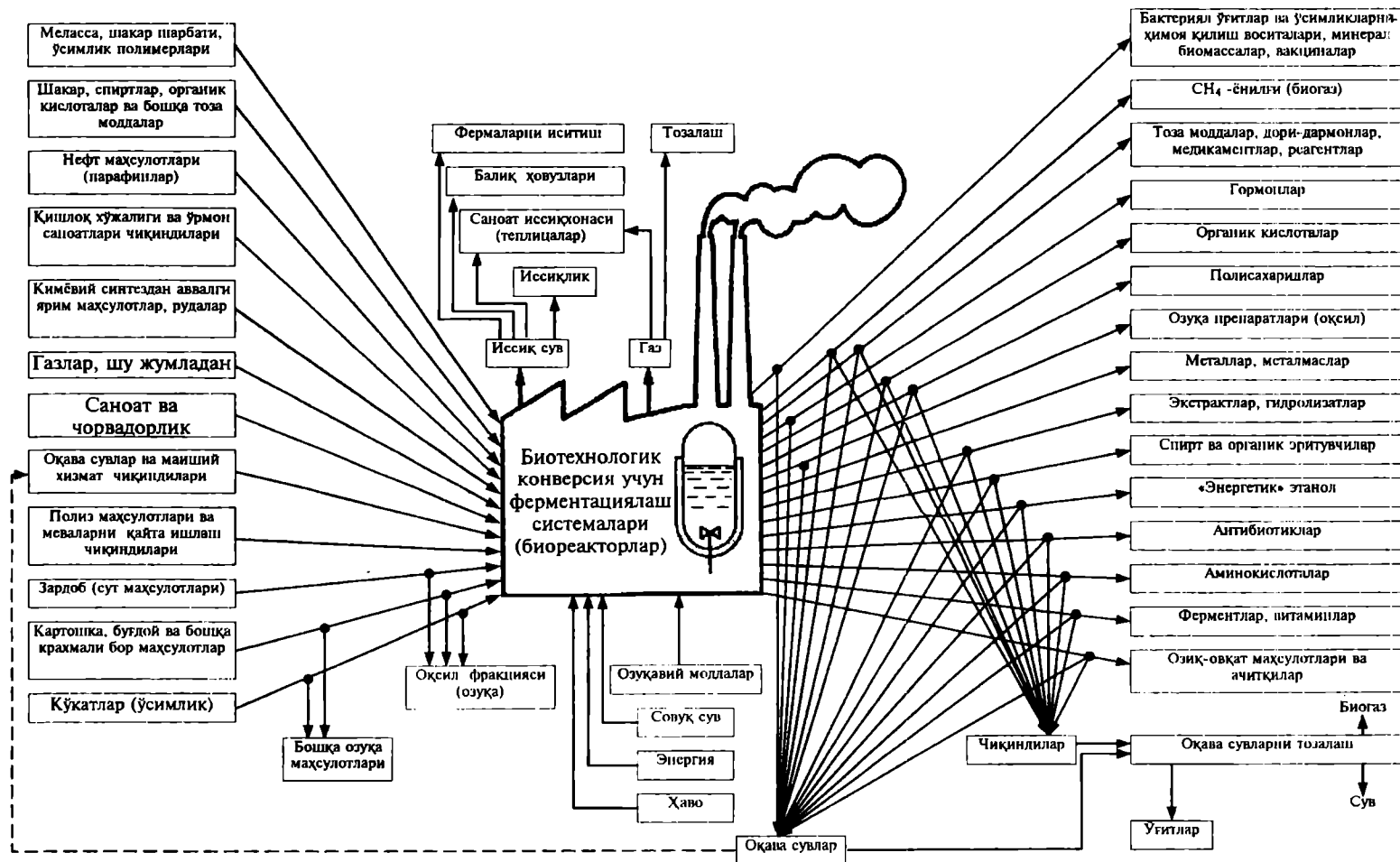
6.1-расмда анъанавий биотехнологик тизимни тузилиши ва унинг асосий таркибий қисмлари келтирилган.



6.1-расм. Биотехнологик тизимнинг асосий компонентлари.

Биотехнологиянинг бугунги кундаги фаол ривожланаётган илмий йўналиши — микробиологик биотехнологиядир ёки уни микроблар синтезининг биотехнологияси деб ҳам юритилади. Микроблар синтези биотехнологиясининг ривожланиши биринчидан айрим маҳсулотларга бўлган талаб ҳисобланса, иккинчидан жараёнда қўлланиладиган хом — ашёнинг бисёрлиги ва тўпланган чиқиндиларни утилизация қилишнинг иқтисодий самарадорлигидир (6.2-расм).

Микробиологик биотехнологиянинг асосий вазифаларидан бири юқори табақадаги оптимал шароитда микроорганизм популяцияларини ва қўзланган мақсадга мувофиқ уларни ҳаёт фаолиятини бошқарган ҳолда маҳсулот олишни (талаб даражасидаги аниқликда) услуб ва тартибларини назарий ва амалий жиҳатдан асослаб беришдан иборат. Қонуниятларни ўрганиш асосида олинган натижалар микробиологик ишлаб чиқаришда, махсус жиҳозлар, ускуналар ва автоматлаштирилган тизимни яратишда асос бўлиб, хизмат қилади.



6.2-расм. Субстрат, хом-ашё ва маҳсулотларнинг муҳим гуруҳларини ҳисобга олган биоконверсия схемаси.

Микробиологик синтез жараёнлари қуйидаги ҳолларда қўлланилади:

1. Микроб биомассасини (ачитқилар, тубан сув ўтлари, оқсил — витамин комплекси ва ҳ.) олишда.

2. Ўстириш жараёнида микроорганизмлардан ажралувчи мураккаб тузилишга эга бўлган биокимёвий маҳсулотларни олишда (антибиотиклар, витаминлар, органик кислоталар, ферментлар, спиртлар ва ҳ.).

3. Микроорганизмлар ферментини ва уларнинг компонентларини қўллаш орқали ўзгариш натижасида кимёвий маҳсулотлар олишда (б-аминопенициллин кислотаси ва ҳ.).

4. Кераксиз компонентлардан тозаланган муҳит олишда (тозаланган оқава сувлар, парафинсизлаштирилган нефть ва бошқалар).

5. Рудалардан металларни микробиологик ишқорлаш йўли билан ноёб металлар олишда.

Микроорганизмларни ўстириш учун ферментациялаш жараёни амалга оширилади. Жараён давомида микроорганизмлар нафас олади, ўсади, кўпаяди, муҳитга газсимон ва суяқ ҳолдаги метаболизм маҳсулотларини ажратади, натижада муҳитда биомасса ёки метаболизм маҳсулоти йиғилади. Демак, ферментациялаш жараёнида муҳитда микроорганизмлар биомассаси ва метаболизм маҳсулоти тўпланади. Масалан, ачитқилар ёки оқсил-витамин концентратларини олишда жараён микроорганизмлар биомассасини тўплашга қаратилади.

Антибиотиклар, ферментлар ва бошқа моддалар олишда эса, жараён микроорганизмлар ҳужайраларида синтезланган метоболит маҳсулотларни олишга йўналтирилади. Микроорганизм ҳужайраларида метоболит маҳсулотлар 2 хил кўринишда учрайди: айрим микроорганизмларда метоболizm маҳсулоти унинг ҳужайларида синтезланади ва муҳитга ажралиб чиқмайди. Демак, бундай микроорганизмлардан, улар тўплаган метоболит маҳсулотни олиш учун микроорганизмлар ҳужайраси парчаланиб, сўнгра ажратиб олинади. Ўзга хил микроорганизмларда метоболizm маҳсулотлари ҳужайларида синтезланиб масса алмашилиш жараёни ҳисобига у ўсаётган муҳитга чиқади. Биомасса қанча кўпайса, метоболит маҳсулот миқдори ҳам шунча кўп бўлади.

Микробиологик синтездан, одатда жуда муҳим маҳсулотлар олишда фойдаланилади, чунки бундай маҳсулотларни кимёвий технология усулида олиб бўлмайди ёки унинг иқтисодий самарадорлиги жуда паст бўлади.

Жумладан, ферментларни, бактериал препаратларни, оқсилларни, антибиотикларни, ва кўпгина витаминларни ишлаб чиқаришда фақат микробиологик синтез усулидан фойдаланилади.

Саноат миқёсида шундай соҳалар борки, уларда жорий қилинган технологиялар асосан микроорганизмлар фаолиятига асосланган: масалан, озиқ-овқат саноатидаги бижғиш маҳсулотларини ишлаб чиқарувчи корхона (пиво қайнатиш, шаробчилик, озуқавий спирт ишлаб чиқариш, лимон, сут ва сирка кислоталарини олиш, ачитқи тайёрлаш, қишлоқ хўжалик хом-ашёсини қайта ишлаш ва ҳоказо) лар бунга мисол бўла олади. Ачитқи ишлаб чиқариш жуда катта миқдордаги микроорганизм биомассасини тўплаш орқали амалга оширилади. Ачитқилар ва бошқа органик кислоталарни олишда, микроорганизмларни нордон муҳитда, чуқур ферментациялаш усулида олиб борилади. Бундай шароитда юқори даражадаги асептика талаб қилинмайди, чунки ушбу нордон муҳитда ёт микроорганизмларнинг ўсиши ўта мушкул. Ундан ташқари, муҳитдаги қанд, спирт ва ўзга компонентларнинг концентрацияси ҳам кўпгина бегона микроорганизмларнинг ривожланишига тўсқинлик қилади. Шу билан бирга, саноатда кўпинча анаэроб микроорганизмлар ишлатилади, бу шароит эса кўпчилик микроорганизмлар (аэроблар) учун ноқулай.

Шу сабабли, саноатда катта ҳажмдаги суюқликларни, усқуналарни стерилизациялашга ва уларни герметиклигини таъминлаш учун ҳавони тозалашга ҳожат қолмайди.

Лекин, бактериологик препаратларни ва физиологик фаол моддаларни, жумладан, антибиотикларни, фермент препаратларни, витаминларни, аминокислоталарни, гормонал препаратларни олишда, озуқа муҳитини ифлосланишлардан муҳофаза қилиш катта аҳамиятга эга. Шунинг учун, ишчи озуқа муҳити ва ферментация босқичларини доимий назорат қилиш талаб этилади.

Ишчи озуқа муҳити одатда, ҳаво орқали ёт микроорганизмлар билан ифлосланади. У ферментаторга қуйилган вақтда, ферментаторнинг герметик равишда ёпилмаслиги ёки ферментаторнинг яхши стерилизация қилинмаганлиги ҳам ферментаторда бегона микроорганизмларнинг ўсишига сабаб бўлади. Шунинг учун ферментаторга ва ишчи озуқа муҳитига жуда эҳтиёткорлик билан ёндошиш лозим.

Мақсадга мувофиқ маҳсулот олишда микроорганизмларнинг турларига катта аҳамият берилади. Бир турдаги микроорганизмлар (махсус танланган микроб тури) ферментаторда кўпайтирилади. Агар ферментаторда технологик жараён давомида ёт микроорганизмлар ўса бошласа, бу усқуналарнинг ёмон стерилизацияланганлиги ёки уларнинг герметиклиги бузулганлигидан далолат беради.

Оқибатда, мақсад асосида ўстириладиган микроорганизм бутунлай ҳалок бўлади ёки олинаётган метаболизм маҳсулоти кескин камайиб кетади. Микроорганизмларнинг ҳаёт жараёни метаболик маҳсулотларни синтезланиши махсус қурилмаларда – ферментаторларда - амалга оширилади.

Шу сабабли бундай жараёнларни амалга оширишда асептикага катта аҳамият берилади: ҳаво махсус филтрларда тозаланади, усқуна ва микробларни ўстирадиган озуқа муҳити стерилизацияланади.

Ферментаторлар 2 хил иш принципіга эга: даврий ва узлуксиз ферментаторлар. Жараён тугагач синтезланган маҳсулотни ажратиб олиш учун, ферментаторларнинг иш принциpidан қатъий назар, микроблар ўстирилган суюқ муҳит филтрланади. Филтрланган суюқликка сепараторда ишлов берилади, ва экстракцияланади, аралашма буғлатилади ва қуритиш усулларида мос бўлгани танланиб, қуритилади. Қўлланиладиган қуритиш усуллари хилма-хилдир ва улардан энг кенг тарқалгани: пуркаш, сублимациялаш, вакуум остида ва мавҳум қайнаш қатламида қуритиш жараёнларидир.

6.2. Ферментация жараёни кинетикаси

Саноатдаги қўлланиладиган кўпчилик микроорганизмлар гетеротрофлардир, яъни улар ўзларининг ҳаёт фаолиёти учун углероднинг органик манбаларидан фойдаланадилар.

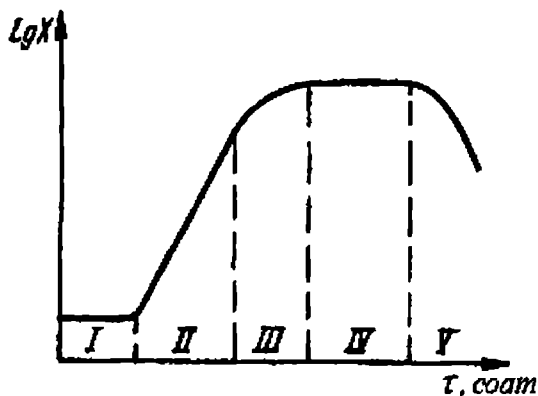
Микроорганизмлар ўзларининг ҳаёти жараёнида ўз ҳужайраларидаги мураккаб тузилмаларни жалб қилган ҳолда, турли хил вазифаларни амалга оширадилар.

Ҳужайра девори, цитоплазматик мембрана, цитоплазма ва унинг киритмалари, ҳамда ядродан иборат.

Ҳужайра микроорганизмларнинг ҳаёти давомида ҳам миқдор, ҳам сифат ўзгаришларини ўз бошидан кечиради: ўсади, кимёвий таркиби, морфологияси ўзгаради, кўпаяди, спора ҳосил қилади ва ниҳоят ўлади.

Микроорганизмларнинг ўсишини кўрсатувчи анъанавий эгри чизиқ 6.3-расмда келтирилган. Чизмадаги биринчи фаза – лаг-фаза (логарифмик фаза) дейилади, яъни бу фазада ҳужайралар ўсмайди. Ушбу фазада (I босқич) экил-

ган микроорганизмлар ташқи муҳитга мослашади ва муҳитга ўзидан ферментлар ажратади. Бу ферментлар жорий озукавий муҳитда ҳужайраларни ўсишига ёрдам беради. II босқич экспоненциал фаза деб аталади. Ушбу фазада ҳужайралар имкони борича максимал юқори тезликда кўпая бошлайди.



6.3-расм. Микроорганизмнинг ўзига хос ўсиш эгри чизиги.

Бу фазанинг давомийлиги муҳитдаги озук модалар захира-сининг ҳажмига, муҳитнинг ара-лашиб туриш даражасига (кисло-родни ҳужайраларга етиб бориши учун, микробларни ўстириш мах-сус тебранувчи ускунада, силки-тиб турилади), ҳужайрани кисло-род билан таъминланиш тезлиги-га, яъни аэрациянинг самара-дорлигига боғлиқ.

Муҳитда микроорганизмлар биомассасининг ортиши билан ундаги озук модалар миқдори камаяди ва масса алмашиниш жараёнининг маҳсулотлари тўп-ланади ва кислороднинг ҳужайра билан масса алмашиниш жараёни сусаяди. Бу кўрсатиб ўтилган ўзгаришлар натижасида микроорганизмларнинг ўсиш да-ражаси пасаяди (III босқич). Жараён давом этган сари муҳитдаги озук модал-лар камайиб, улар ўрнини микроорганизм метаболитлари (ҳаёт чиқиндилари) қоплайди ва оқибатда ҳаёт тўхтайди. Бу жараён IV босқич ёки турғун фаза деб аталади. V босқичда микроорганизмлар сони кескин равишда пасаяди ва у ўлим босқичи деб номланади.

Микроорганизмлар кўпайишининг кинетикасини баён қилиш учун уму-мий ва солиштирма ўсиш тезлигидан фойдаланилади. Микроорганизм масса-сининг умумий ўсиш тезлиги $[кг/(м^3 \cdot с)]$, биомасса dM нинг жуда чексиз қисқа вақт $d\tau$ га нисбати тушунилади. Ушбу тезлик биомасса концен-трациясига пропорционалдир.

Микроорганизм биомассасининг ўсиш кинетикасини ушбу тенглама ёр-дамида ифодалаш мумкин:

$$\frac{dM}{d\tau} = K M \quad (6.1)$$

бу ерда M - биомасса концентрацияси, $кг/м^3$; τ - жараён давомийлиги, соат; K - био-масса ўсишининг солиштирма тезлиги, соат $^{-1}$.

(6.1) тенгламадан солиштирма тезликни топиш мумкин:

$$K = \frac{1}{M} \frac{dM}{d\tau} \quad (6.2)$$

Микроорганизмлар биомассасининг экспоненциал фазадаги солиштирма ўсиш тезлиги доимий ва у шу микроорганизмни ўстириш жараёнидаги макси-мал имконият ва шароитига тенгдир.

Биомасса концентрацияси (6.1) тенгламага бианоан экспоненциал қонун бўйича ўсади:

$$M = M_0 \cdot e^{K\tau} \quad (6.3)$$

бу ерда M_0 - экспоненциал фаза бошланишидаги биомасса концентрацияси, $кг/м^3$.

(6.3) тенгламасини логарифмлаб, ушбу кўринишга эришамиз:

$$\ln M = M_0 + K\tau \quad (6.4)$$

Ярим логарифмик координатларда (6.4) тенглама маълум бир қиялик тангенс бурчаги остидаги тўғри чизик бўлиб, кристалл ўсишининг солиштирма тезлиги K га пропорционалдир.

Солиштирма ўсиш тезлигини ҳисоблаш учун жараён давомийлиги τ_1 ва τ_2 ларга мос келадиган икки нуқта M_1 ва M_2 ларнинг қийматлари аниқланади.

$$\text{Унда} \quad K = \frac{1}{\tau_1 - \tau_2} \cdot (\ln M_2 - \ln M_1) \quad (6.5)$$

Биомасса миқдори 2 марта ортиши учун регенерация давомийлиги τ_p қуйидагича топилади:

$$\tau_p = \frac{\lg 2}{K} = \frac{0,69}{K} \quad (6.6)$$

Микробиологик синтез учун хом-ашё сифатида крахмал-патока ишлаб чиқаришдаги чиқиндилар (меласса, гидрол), торф гидролизати ва озуқа чиқиндилари, сут зардоби, маккажўхори уни, қайта ишланган нефт углеводородлари қўлланилади.

6.3. Ферментация жараёнида масса алмашиниш

Аэроб микроорганизмлар ўзларининг ривожланиши даврида кўп миқдордаги кислородни талаб қилади. Бунда кислород органик субстратларни оксидлаб (нордонлаб), тўқималарни энергия билан таъминлайди. Кислород сувда ёмон эрийди ва унинг сувдаги концентрацияси 8,1 мг/л ни ташкил этади.

Ферментациялаш жараёни ташкил қилишда микроб ўстириляётган суюқликни ҳаво билан доимий тўйинтириб туриш лозимдир.

Суюқликни ҳаво билан тўйинтириш мобайнида иккита жараён юз беради: ферментация шароитидаги озуқа суюқлигини тўйинтирилган ҳаво таркибидан кислородни ютиб олиши (абсорбцияланиш) ва муҳитда эриган кислородни микроорганизмлар томонидан ўзлаштириши (озуқаланиши).

Суюқ фаза учун масса алмашиниш тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$dM = \beta_c (x_m - x) F d\tau \quad (6.7)$$

бу ерда M - кислород концентрацияси, кг; β_c - суюқ фазадаги массани йиғилиш коэффициенти, м/соат; x_m - кислороднинг мувозанат концентрацияси, кг/м³; x - кислороднинг суюқ фазадаги ишчи концентрацияси, кг/м³; F - масса алмашиниш юзаси, м²; τ - жараён давомийлиги, соат;

Барботажли қурилмаларда фазалар юзасини аниқлаб бўлмаганлиги туфайли, қуйидагича ифодалаймиз:

$$F = V_u \cdot a$$

бу ерда V_u - ферментаторнинг ишчи ҳажми, м³; a - масса алмашинишнинг солиштирма юзаси, м²/м³.

(6.7) тенгламани қуйидаги кўринишга келтирамыз:

$$dM = \beta_c \cdot a(x_m - x) \cdot V_u \cdot d\tau \quad (6.8)$$

ёки

$$dM = \beta_{cv}(x_m - x) \cdot V_u d\tau \quad (6.9)$$

бу ерда β_c - ҳажмий масса бериш коэффициенти, соат⁻¹; $\beta_{cv} = \beta_c \cdot a$.

Ишлаб чиқаришда суюқликда эриган кислороднинг концентрация миқдори ўлчанмайди, балки суюқлик билан мувозанатда бўлган газ фазасининг парциал босими аниқланади.

Генри қонунига биноан:

$$x_m = \frac{1}{E} P_{O_2}$$

бу ерда E - Генри доимийси, кг/(м³·Па); P_{O_2} - озуқа муҳитидаги кислороднинг парциал босими, Па.

Ферментация муҳитидаги микроорганизмларнинг кислородни ўзлаштириб олиш тезлиги W_0 ҳар қандай вақтда абсорбция тезлигига тенг деб ҳисобласак, унда $x=0$ бўлиди.

$$W_{O_2} = \beta_{cv} x_m = \beta_{cv} \frac{1}{E} \cdot P_{O_2} \quad (6.10)$$

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, масса бериш коэффициенти суюқ фазадаги муҳитнинг аралашуш тезлигига ва ҳаво билан тўйиниш шароитига боғлиқ. Ферментатордан ташқарига чиқариладиган ҳаводаги кислород концентрациясининг миқдори 18...20% ни ташкил этади.

6.4. Ферментаторлар конструкциялари

Лаборатория шароитида ферментаторлар тубида олиб бориладиган ферментациялаш жараёнларида қуйидаги босқичларни кузатиш мумкин: экиш материалларини тайёрлаш; озуқа муҳитини тайёрлаш ва стерилизациялаш; инокуляторларда экиш материалларини ўстириш.

Экиш материалининг миқдори цехдаги ферментаторларнинг физик ҳажми билан белгиланади.

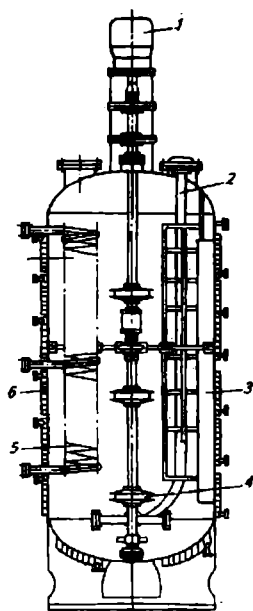
Одатда, экиладиган материал миқдори, ферментаторлар ичидаги озуқавий муҳитнинг 5...10% ни ташкил қилади.

Ферментаторларга озуқавий муҳит ва экиладиган материалларни юклашдан аввал, қурилмалар ва бошқа коммуникациялар стерилизацияланади.

Ферментаторлар ичида қўпик ҳосил бўлишни камайтириш мақсадида унинг ичига сиртқи фаол модда (ПАВ) қўшилади. Ферментация жараёни асептик шароитда 18...24 соат давомида олиб борилади. Жараён давомида ферментатор ичидаги микробли суюқлик, муҳитнинг температураси ва pH миқдори кузатиб турилади.

Ферментациялаш жараёни тугагач, ферментатор ҳосил бўлган маҳсулотдан бўшатилади, маҳсулот филтр ёки сепаратор ёрдамида суюқликдан ажратилади ва унга ишлов бериш учун кейинги босқичга юборилади.

Ферментациялаш жараёнини амалга оширувчи асосий қурилма — бу махсус ферментатор ҳисобланади. Энг кенг тарқалган ферментаторлардан бири, бу механик аралаштиргичли ва ҳаво юборишга мўлжалланган барботёрли қурилмадир (6.4-расм).



6.4- рasm. Ферментатор схемаси.

1- электр юриткич; 2- ҳаво узатиш трубаси; 3- қайтарувчи тўсиқ; 4- аралаштиргич; 5- змеевик; 6- гилоф.

Бундай аралаштиргичда бир вақтнинг ўзида аралаштириш, ҳамда суюқлик аэрациясини таъминловчи ҳавонинг узатилиши амалга оширилади.

Аралаштиргичдаги турбина ичида ҳалқали соғло бўшлиғи мавжуд бўлиб, у ҳаво узатиш каналига уланган. Аралаштиргич ҳаракатга келганда, турбина ичида босим камаяди. Натижада, атмосферадаги ҳаво, аралаштиргич ичидаги бўшлиққа ютилади ва у ферментацияланаётган суюқлик ичида дисперсияланади.

Ферментацияланган суюқликдаги ҳосил бўлган маҳсулотни (антибиотиклар, органик кислоталар ва ҳоказо) ажратиб олиш, экстракциялаш, буғлатиш ва қуриштиш жараёнларини амалга оширишда кимё, фармацевтика ва озиқ-овқат саноатида ишлатиладиган қурилмалардан фойдаланилади.

6.5. Микробиологик синтез асосида маҳсулот ишлаб чиқаришнинг умумлашган технологик схемаси

Биотехнологик ишлаб чиқариш — бу технологик оқимлари ўзаро боғланган қурилмалар йиғиндиси бўлиб, унда озукавий муҳит ва экиш мате-риалини (микробларни) тайёрлаш, мақсадга мувофиқ олинадиган маҳсу-

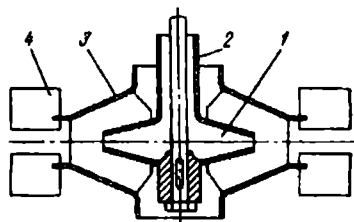
Бундай қурилмада ферментланувчи суюқлик, механик аралаштиргич ва юборилган ҳаво ёрдамида аралаштирилади.

Аралаштиргичнинг ишлаш давомида ферментацияланувчи суюқлик ичида ҳаво қўшимча равишда дисперсияланади.

Ферментаторнинг ҳажмига қараб, унинг баландлиги бўйлаб, унинг ўқиға бир нечта аралаштиргичлар ўрнатилади. Айрим ҳолларда тўлқинларни қайтарувчи тўсиқлар ҳам ўрнатилиш мумкин. Ферментатор ичида зарур бўлган температурани бир хилда ушлаб туриш мақсадида, унга иссиқлик алмашилишни таъминловчи гилоф ўрнатилади.

Ферментация шароитидаги температура, гилоф ичиға совуқ сув юбориш йўли билан бошқарилади.

Аралаштиргичларнинг бир неча хили мавжуд бўлиб, улардан ҳавони ўзи сўриб олувчи конструкцияға эға бўлган аралаштиргични мисол тариқасида келтириш мумкин (6.5-рasm).

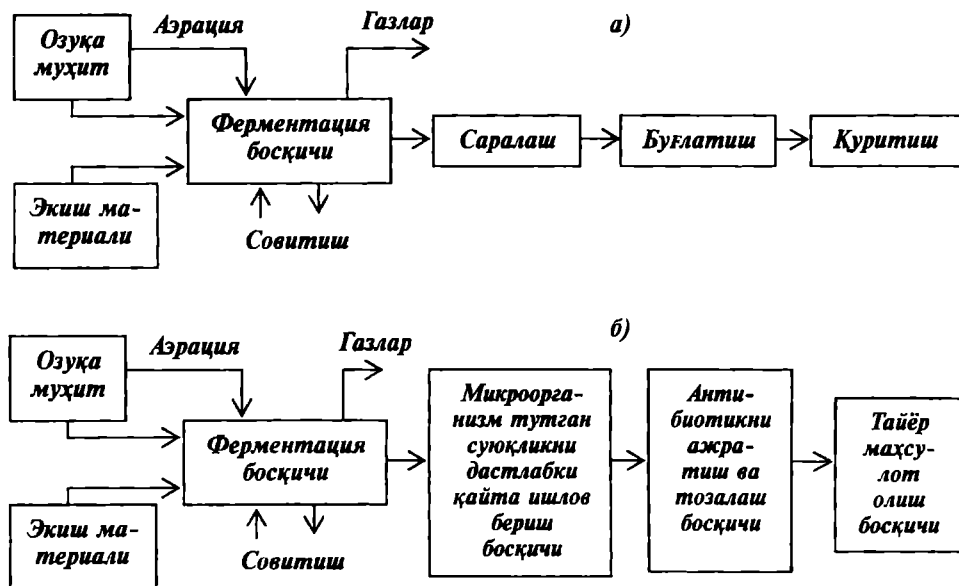


6.5-рasm. Ҳавони ўзи сўриб олувчи аралаштиргич.

1- ҳаво бўшлиғи; 2- ҳаво узатувчи патрубк; 3- турбина; 4- куракча.

лотнинг биосинтез жараёни, уни суюқ фазадан ажратиш ва ҳоказолар, яъни маҳсулотни товар ҳолатда олишгача бўлган технологик жараёнлар маълум бир кетма-кетликда омалга оширилади. Одатда, озуқа муҳитини тайёрлаш деганда, ўстириладиган микроорганизмни озучаланиши учун муҳитни углеводлар, азот, фосфор ва бошқа минерал моддалар, витаминлар билан бойитиш тушунилади.

6.6 – расмда биотехнологик ишлаб чиқаришнинг яхлитланган таркибий схемаси келтирилган. Бунда даврий, яъни узлукли ферментация жараёнида маҳсулот (антибиотиклар, ферментлар, аминокислоталар, ўсимликларни ҳимоя қилиш микробиологик воситалар ва ҳ) ҳосил бўлади.



6.6-расм. Ўсимликларни микробиологик ҳимоя қилиш воситалари (а) ва антибиотикларни (б) биотехнологик йўл билан ишлаб чиқаришнинг таркибий схемалари.

Антибиотиклар ишлаб чиқаришнинг асосий босқичлари бўлиб, қуйидаги жараёнларни ҳисоблаш мумкин: озуқа муҳитини тайёрлаш, ферментациялаш, ажратиб олиш, кимёвий тозалаш ва қуриштиш. Қишлоқ ҳўжалиги учун бактериал препаратларни ишлаб чиқаришда, кимёвий тозалашдан ташқари, қолган ҳамма жараёнлар амалга оширилади.

Озуқа муҳитини тайёрлаш жараёни зарур компонентларни маълум пропорцияларда аралаштириб, сув ва ишқор иштирокида қиздиришдан иборат.

Ҳар бир маҳсулот берувчи микроорганизм учун озуқа муҳитларининг оптимал таркиби мавжуддир. Лекин, биотехнологик ишлаб чиқаришдаги даврий ферментациялаш жараёнларига қўйиладиган асосий талаб стерилликка риоя қилишдир. Бунинг учун озуқа муҳити махсус қурилмаларда стерилланади, унга узатиладиган ҳаво эса, махсус филтрларда тозаланади. Маълумки, биосинтез жараёни ферментаторларда олиб борилиб, унга узлуксиз аралаштирилган ҳолда озуқа муҳит, экиш материали, аэрацияни таъминловчи ҳаво ва жараён кўрсаткичларини мўтадил ҳолатда ушлаб туриш учун совутувчи сув, ҳамда тегишли титрантлар жойланади. Агар, қурилмада кўпиклар ҳосил бўлса, унга кўпикни бартараф қилувчи модда узатилади. Олинган микроорганизм тутган суюқлик кейинги қайта ишлаш жараёнига, яъни ундан мақсаддаги маҳсулотни ажратиб олиш ва қуюқлаштиришга узатилади. Антибиотикларни, масалан, пе-

пенициллин ишлаб чиқаришда, микроорганизм тутган суюқлик коагуляция қилинади ва филтрланади. Натижада, таркибида пеницилин бор табиий эритма мицелийдан ажратилади. Сўнг, табиий эритма, кимёвий тозалашга юборилади ва ундан мақсаддаги маҳсулот ажратиб олинади ва яна тозаланади. Кейин эса, у қуриткичда сувсизлантирилади ва қукун ҳолатига келтирилади.

Қишлоқ хўжалиги учун бактериал препаратлар (масалан, энтобактерин, бацитрацин) ишлаб чиқаришда микроорганизм тутган суюқлик сепаратор ва буғлатиш қурилмаларида қуюқлаштирилади, сўнг эса қуриткичда намсизлантирилади ва нейтрал тўлдирувчи (каолин) билан стандарт кўрсаткичгача тўйинтирилади.

Шундай қилиб, микробиология ва медицина саноатларида мақсаддаги маҳсулот микробиологик синтез жараёнида, яъни ферментация босқичида, фақат мақсаддаги маҳсулотни ажратиб олиш учун хизмат қилади.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, бу жараёнлар технологик жиҳатдан ва қурилмалар билан жиҳозланиши бўйича тубдан фарқ қилади. Лекин, айрим жараёнларнинг мураккаблиги ва хилма-хиллигига (озуқа муҳитини тайёрлаш, мақсаддаги маҳсулотни ажратиб олиш ва тозалаш, аниқ шакли маҳсулот олиш) қарамасдан кимёвий технология соҳаси билан кўпгина ўхшашликка эга.

Аммо, ферментация жараёнларидаги босқичлар саноатнинг ўзга бирон бир соҳасидаги жараёнлар билан ўхшашликка эга бўлмаган босқичлардир. Шу билан бирга, биотехнологик ишлаб чиқаришдаги биосинтез жараёнлари ўзга ишлаб чиқаришлардаги технологик мақсад ва жараёни жиҳозлаш бўйича олиб борадиган тадбирлар билан ҳамоҳангдир.

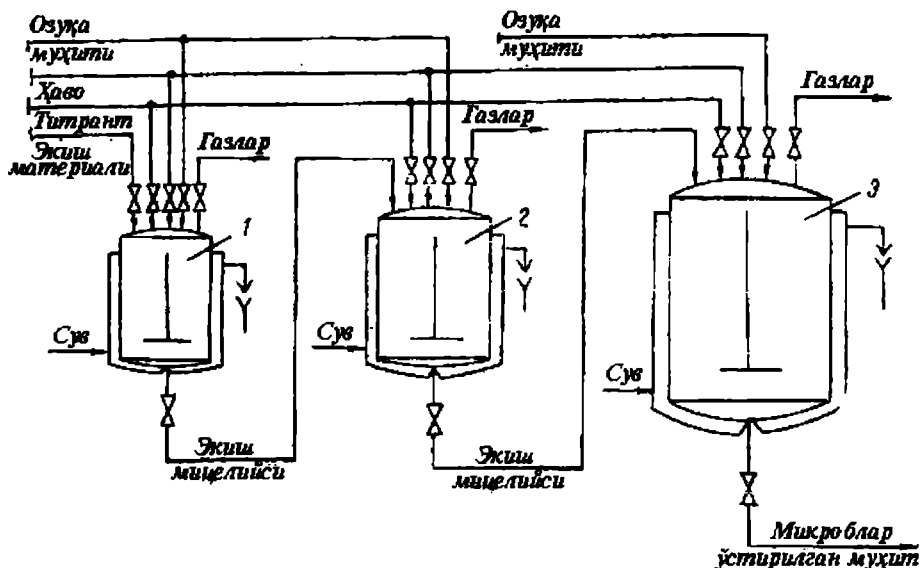
6.6. Ферментация жараёнининг тавсифлари ва технологик схемалари

Биотехнологик схема — бу технологик оқимлар билан ўзаро боғланган қурилмалар мажмуаси бўлиб, уларда жараёнлар маълум кетма-кетликда амалга ошади ва биокимёвий айланишлар натижасида хом-ашёдан мақсаддаги маҳсулот олинади.

6.7 - расмда даврий ферментация жараёнининг типик таркибий схемаси келтирилган. Ушбу схемага биноан 3 босқичда мақсаддаги маҳсулот, яъни антибиотик олиш мумкин. Ўсимликларни микробиологик ҳимоя қилиш воситалари ва медицина учун антибиотикларни олишда биосинтез жараёни стерил шароитларда олиб борилади. Бунинг учун инокулятор 1, ўстириш қурилмаси 2 ва ферментатор 3 ларга узатилаётган озуқа муҳити узлуксиз ишлайдиган стерилизаторда стерилланади. Қурилмаларга юбориладиган ҳаво эса, махсус филтрларда тозаланади. Инокулятор ва ўстириш қурилмаларида кетма-кет равишда микроорганизмлар тутган суюқликлар ўстирилади. Ферментаторда микроорганизм биомассаси тўпланиши билан бир вақтда олинadиган модда биосинтези, яъни мақсаддаги маҳсулот тўпланиш жараёни ва кўпик ҳосил бўлади. Агар, қурилмада микроорганизм тутган суюқликнинг кўп қисми кўпикка айланса, унда йиғичга стерилланган кўпик ўчирувчи, қўшимча озуқа моддалар ва титрантлар эритмаси юборилади.

Қурилмаларни стерилизациялаш вақтида ва уларда микроорганизмлар ўстириш жараёнида температура ва босим зарур миқдорда ушлаб турилади. Чунончи, стерилизациялаш даврида керакли температура буғ узатиш йўли билан, ўстириш даврида эса - қурилма филофи ёки эмеевикга совуқ сув узатиш орқали бошқарилади ва аралаштиргич ёрдамида интенсив аралаштириб, муҳит аэрацияси ташкил этилади. Даврий олинган намуналарнинг таҳлили асосида

микроорганизмлар ривожланиши, микробиологик ва биокимёвий назоратдан ўтказилади.



6.7-рasm. Даврий ферментация бошқичининг типик схемаси.
1-инокулятор; 2-ўстириш қурилмаси; 3-ферментатор.

Антибиотиклар олишда, экиш мицелийсини инокуляторда ва экиш қурилмаларида ўстириш учун макка экстракти, бўр, шакар, натрий, манний, аммоний ва бошқа компонентлар қўшилган озук муҳити ишлатилади. Озуқа муҳитини стерилизациялаш инокулятор ва экиш қурилмаларига солинғач, уларни талаб даражасидаги температурагача (микроорганизмларни экиш учун) қурилма филофига совуқ сув юбориш йўли билан моланади.

Экиш мицелийсини ўсиши ва моддани синтезланиши $26 \pm 1^\circ\text{C}$ температурада ва қурилмада бир оз ортиқча босим яратган ҳолда олиб борилади. Экиш мицелийсини ўстириш 50...70 соат оралигида олиб борилади.

Инокуляторда етиштирилган мицелий, ферментатордаги озук муҳитида ўстириш учун, экиш материалли бўлиб хизмат қилади.

Ўстириш қурилмасидаги озук муҳитининг температураси пасайиши билан инокулятордаги мицелий, орадаги босимларнинг фарқи ҳисобига автоматик равишда ўстириш қурилмасига кўчади.

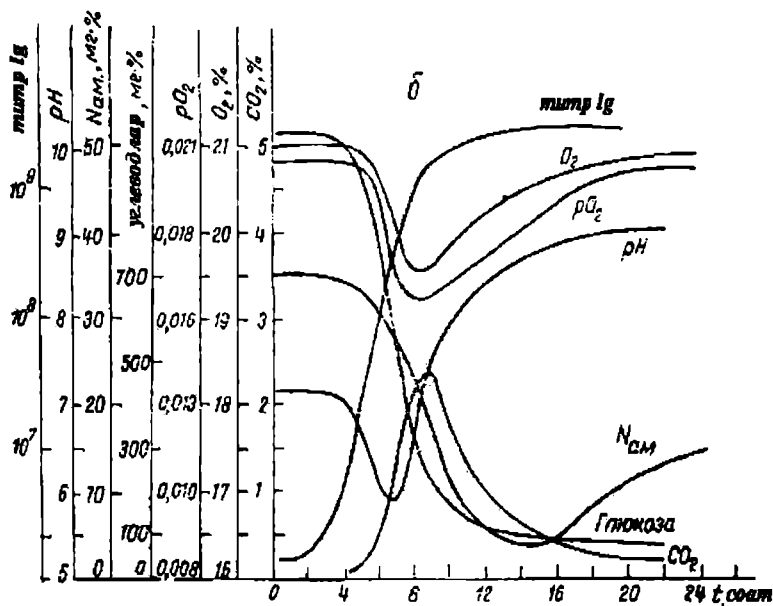
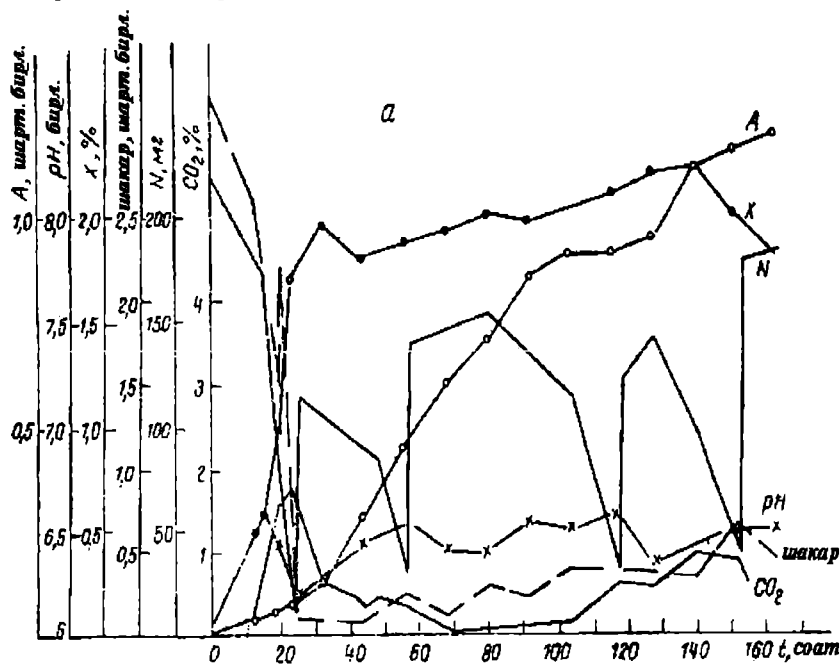
Пеницилиннинг биосинтези $50...65 \text{ м}^3$ ҳажмдаги ферментаторларда амалга ошади. Ферментатордаги озукавий муҳит таркиби, инокуляторда экиш мицелийси учун яратилган озук муҳити таркибидан фарқ қилади. Одатда, ферментатордаги муҳитга қўшимча ҳолда глюкоза, фенил сирка кислота (ФУК) си ва бошқалар қўшилади. Қурилмадаги озук муҳити қўшимча равишда филофга совуқ сув юбориш орқали $26 \pm 1^\circ\text{C}$ температурагача совутилади.

Ферментатордаги озук муҳитига экиладиган материал инокуляторда ўстирилган мицелийдир. Юқорида айтилгандек, ферментатордаги температура керакли даражагача пасайиши билан мицелий экиш қурилмасидан ферментаторга ўтади. Мицелий қурилмада маълум вақт ўстирилғач, муҳитга қўшимча равишда озук муҳити қуйилади.

Антибиотик моддасини ферментатордаги биосинтез жараёнини тезлатиш учун муҳитга ўсиш жараёнининг маълум вақтларида, эритма кўринишидаги фенилацетамид даврий равишда, қўшиб турилади.

Пенициллинни биосинтез қилиш жараёнининг туганлиги, озуқа муҳитидаги моддаларнинг тамом бўлиши ва ферментатордаги суюқликда антибиотиклар кўпайишининг тўхташи билан белгиланади. Ферментациялаш жараёнининг ўртача давомийлиги 150 соат.

Пенициллинни биосинтезлаш жараёнининг асосий параметрлари динамикаси 6.8-расмда келтирилган.



6.8-расм. Пенициллин (а) ва эритромицинни (б) биосинтез қилиш жараёнидаги асосий параметрлар динамикаси.

A - фаоллик; X - қуруқ мицелий оғирлиги;

N_{aa} - аминли азот.

Одатда антибиотикларни биосинтез қилиш жараёни — икки фазада боради [133]. Биринчи фазада, асосий маҳсулот миқдори оз бўлиб, микроорганизмлар сони жуда тез ортади. Иккинчи фазада эса — биомасса ортиши секинлашиб, антибиотик биосинтези жадаллашади.

Иккинчи фаза микроорганизмларнинг ҳаёт фаолияти натижасида тўпланган моддалар билан бойиган микробли суяқлик ичида боради. Суяқлик таркиби озукавий жиҳатдан жуда камбағаллашган бўлиб, унда қисман углеводлар ва ноорганик фосфор учрайди. Ушбу фазанинг бошланғич даврида мицелийнинг антибиотикни синтезлаш хусусияти максимал даражада юқори бўлади.

Иккала фаза ўзаро биокимёвий жараёнларнинг тезлиги билан фарқланади. Шу фарқларни назарда тутган ҳолда, бу фазаларга мос шароитлар танланади. Биосинтез шароитини таъминлашдаги асосий шартлардан бири — антибиотикни синтезловчи микроб учун озука маънбасини таъминлаш, яъни углевод, азот ва фосфор моддалари тутган муҳитни яратишдир. Одатда углевод манбаи сифатида углеводлардан, азот манбаи сифатида ўсимлик ва ҳайвон маҳсулотлари асосидаги моддалардан фойдаланилади.

Ҳозирча микроорганизм ҳолатини биринчи фазадан иккинчи фазага ўтишидаги қонуниятлари тўлиқ ўрганилмаган. Аммо шу нарса маълумки, антибиотикларни максимал синтезланиши ва тўпланиши учун муҳитдаги айрим компонентлар концентрациясини бир меъёрга ушлаб туриш керак. Шу билан бирга, бу компонентлар микроблар биомассасини ортиб кетишини чегаралаш ёки ингибиторлик, яъни тўхтатиш хусусиятига эга бўлиши керак. Масалан, муҳитга глюкоза солинса, пенициллиннинг синтезланиши муҳитда глюкозанинг тўлиқ йўқолганидан сўнг, яъни микроорганизмлар томонидан уни бутунлай ўзлаштирилгандан сўнггина бошланади ёки окситетрациклин биосинтезини тезлатиш учун, ундаги синтезловчи микроб кўпайишини, муҳитга ноорганик фосфор қўшиш орқали чегаралаш мумкин. Айрим ҳолларда эса, микроорганизмни мақсаддаги моддани синтезлаши учун муҳитга шу модданинг ўзидан қисман қўшилади, масалан, пенициллинни синтезланиши учун озука муҳитига қисман пенициллин қўшилади [133].

Ферментация жараёнини нормал ташкил этиш учун муҳитда маълум концентрацияда водород ионлари бўлиши керак. Ушбу концентрация тегишли титрантларни юбориш йўли билан ушлаб турилади. Ундан ташқари, микроорганизмларни кислородга бўлган эҳтиёжини қондириш ва жараёни оптимал температурада олиб бориш ҳам мақсадга мувофиқдир.

Асосий маҳсулотни иккиламчи метаболизм натижасида биосинтез қилишнинг динамик жараёнига энтобактеринни биосинтезланиш жараёни мисол бўла олади. Одатда, жараён давомийлиги 30...35 соат бўлиб, ферментация жараёнининг қуйидаги шартлари бажарилганда амалга ошади: қурилмадаги температура - 28...30°C; аралаштиргич ёрдамида узлуксиз аралаштириш; ҳавонинг сарфи - 25...45 м³/соат; ферментатордаги босим — 0,04...0,05 МПа.

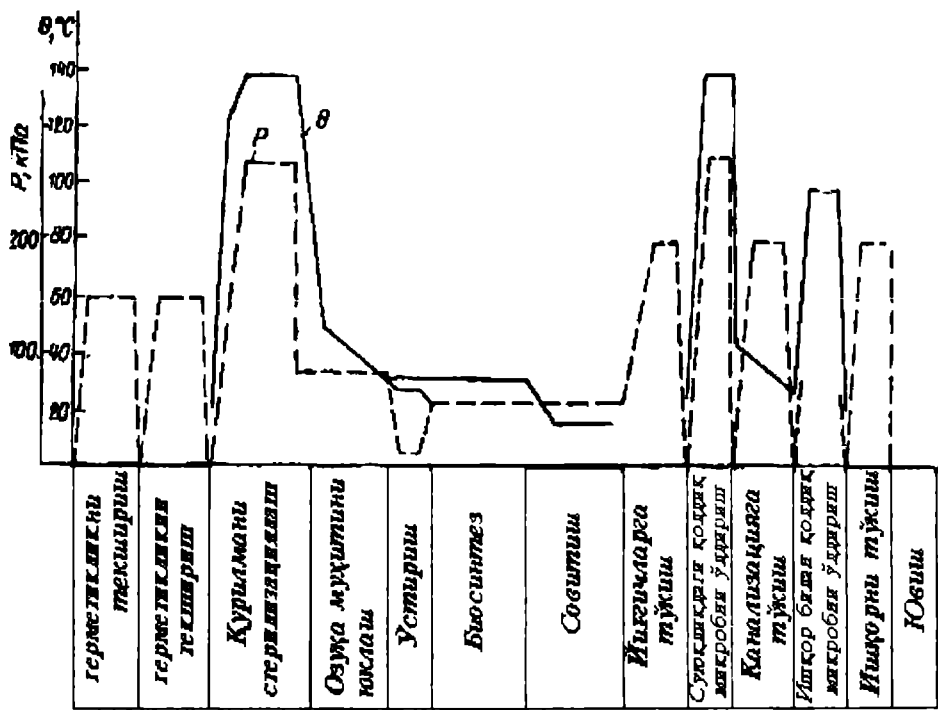
Ферментаторда микроорганизмни етиштириш жараёнида кўп миқдорда кўпик ҳосил бўлади. Аралаштиргичнинг узлуксиз ишлашини ва микроорганизмларнинг нормал ривожланишини таъминлаш учун, кўпик ҳосил бўлишини бартараф этувчи, стерилланган кўпик ўчиргич узатилади.

6.86-расмда энтобактеринни *Bac. Thuringiensis var.gal* биосинтез қилишдаги муҳитнинг физик, физик-кимёвий, биокимёвий ва микробиологик параметрларини ўзгариш динамикаси келтирилган.

Микроорганизмни кўпайтириш жараёнида унинг ҳужайрасида микроорганизмларни даврий ортишига оид бўлган барча физиологик ривожланиш фазалари амалга ошади.

6.86-расмдан кўриниб турибдики, лаг-фазада муҳитнинг ҳамма параметрлари, умуман олганда, ўзгармайди. Экспоненциал ўсиш фазасига ўтиш даврида микроорганизм тутган суюқликнинг pO_2 , pH , eH катталикларнинг камайиши, ҳамда чиқиб кетаётган газларда O_2 пасайиши ва CO_2 ортиши намён бўлади.

6.9-расмда энтобактеринни олиш қурилмасидаги босим ва температура-ни тегишли ўзгаришлари кўрсатилган.



6.9-расм. Технологик жараёнларни олиб боришда энтобактерин ишлаб чиқариш қурилмасида температура ва босимнинг ўзгариши.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, турли саноатларнинг ферментациялаш бўлимлари бир-биридан, қўлланиладиган технологик қурилмаларининг тури ва сони билан ажралиб туради. Лекин, бошқариш функцияларининг ўхшашлиги туфайли, улардаги назорат ва ростлаш параметрлари бир хил бўлади.

Одатда, температура, босим, концентрация, сарф, сатҳ ва бошқа анъанавий параметрларни назорат қилиш билан бирга pH , эриган O_2 ва CO_2 , парциал босимлар автоматик равишда назорат қилиниши лозим.

Қаттиқ материалларни майдалаш ва классификациялаш

7.1. Умумий тушунчалар

Механик жараёнларга материалларни майдалаш, узатиш, аралаштириш, пресслаш грануллаш ва классификациялашлар киради. Бу жараёнда материалнинг физик кимёвий характеристикалари ўзгармайди, аммо уларнинг шакли ўзгаради.

Бу жараёнларнинг тезлиги қаттиқ жисмларнинг механика қонуниятлари билан ифодаланади ва уларнинг ҳаракатга келтирувчи кучи механик кучлар таъсиридир.

Майдалаш бу қаттиқ жисм бўлакларини керакли ўлчамларга келтириш, парчалаш ва юзасини оширишдир. Майдалаш жараёни қаттиқ жисмнинг майда заррачалар (атом ва молекулалар) ўзаро тортишиш кучларини енгадиган ташқи кучлар таъсирида ўтади. Майдалаш натижасида ишлов берилаётган жисм юзаси сезиларли даражада кўпаяди, кўп жараёнлар, шу жумладан эритиш, куйдириш каби катта юза талаб қиладиган жараёнлар тезлиги ортади. Майдалаш кон-металлургия, кимё, озиқ-овқат, қурилиш ва саноатнинг бошқа тармоқларида кенг қўлланилади.

Ҳозирги пайтда қаттиқ жисмларни майдалаш учун ҳар хил турдаги машиналар қўлланилади. Катта ҳажми ($< 2 \text{ м}^3$) палахсаларни майдалайдиган жағли майдалагичлардан бошлаб, то заррача ўлчамини $0,1 \text{ мкм}$ гача майдалайдиган коллоид тегирмонлар технологик жараёнларда ишлатилади.

Майдалаш жараёни қаттиқ жисмнинг бошланғич ва охириги ўлчамига қараб янчиш ва тортишга бўлинади. Янчиш ва тортиш жараёнлари майдалаш даражаси билан характерланади.

$$i = \frac{D}{d} \quad (7.1)$$

Майдалаш даражаси жисмнинг бошланғич ўртача диаметри D нинг майдаланган заррачалар ўртача диаметри d га нисбати билан ифодаланади. Ҳажмий майдалаш даражаси эса, уларнинг ҳажмлари нисбати билан аниқланади:

$$i = \frac{V_{ox}}{V_{\delta}} \quad \text{ёки} \quad i = \frac{F_{ox}}{F_{\delta}} \quad (7.2)$$

Берилган модда бўлаклари ва янчилган заррачалар тўғри шаклга эга бўлмайди. Шунинг учун, амалда уларнинг ўлчамлари элакли таҳлил орқали аниқланади, яъни заррача ўлчами у ўтган элак тешиклари ўлчамига тенг деб олинади.

Майдалаш жараёни бир ёки бир неча босқичда олиб борилади. Ҳар бир майдалагич, унинг ишчи органи шаклига кўра, чекланган майдалаш даражасини таъминлайди. Майдалаш даражаси $1-3 \dots 5$ дан (жағли майдалагичда) $1 > 100$ - тегирмонларда ўзгариши мумкин.

Нотўғри геометрик шакли жисмнинг чизиқли ўлчами ўртача геометрик қиймат сифатида ҳисобланиши мумкин:

$$d = \sqrt[3]{l b h}$$

бу ерда l , b , h - жисмнинг уч перпендикуляр йўналиши бўйича максимал ўлчамлари.

Материал бўлакларининг ўртача ўлчамларини ҳисоблаш учун элаклар ёрдамида бир неча фракцияга ажратилади. Ҳар бир фракцияда бўлаклар максимал d_{max} ва минимал d_{min} ўлчамлар ярим йиғиндисининг ўртача миқдори топилади:

$$d_{yp} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}$$

Максимал бўлаклар ўлчами, улар ўтган тешик диаметрига, минимал бўлакларни эса элак ушлаб қолган тешикларининг диаметрига тенг деб ҳисобланади.

Сочилувчан материал аралашмасининг ўртача ўлчами ушбу тенглама ёрдамида аниқланади:

$$d = \frac{d_{yp1}a_1 + d_{yp2}a_2 + \dots + d_{ypn}a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

бу ерда a_1 , a_2 , $a \dots a_n$ - ҳар бир фракция миқдори,%; d_{yp1} , d_{yp2} , ..., d_{ypn} - ҳар бир фракция бўлақчаларининг ўртача ўлчами.

Одатда саноатда юқори майдалаш даражаси талаб этилади. Кўпинча қайта ишланадиган хом-ашё бўлакларининг ўлчамлари 1,5...2,0 м гача бўлади, аммо технологик жараёнларда қўлланиладиган материал заррачалари микрометрнинг бир неча улушини ташкил этади. Бундай ўта майин майдалаш бир неча босқичда эришилади, чунки битта майдалагичда юқорида айтилган натижага эришиб бўлмайди.

Хом-ашёнинг энг йирик бўлаклари ва майдаланган заррача ўлчамларига қараб майдалаш қуйидаги турларга бўлинади (7-1 жадвал):

7-1 жадвал

Каттиқ жисмларни майдалаш усуллари

Майдалаш тури	Материалнинг дастлабки ўлчамлари, D, мм	Материалнинг майдалашдан кейинги ўлчамлари, d, мм	Майдалаш даражаси, i
Йирик майдалаш	1500...300	300...100	2...6
Ўртача майдалаш	300...100	50...10	5...10
Майда янчиш	50...10	10...2	10...50
Майин янчиш	10...2	2...0,075	~...100
Ўта майин янчиш	10...0,075	0,075...0,001	-

7.2. Сочилувчан материалнинг механикасининг асослари

Дисперсион таркиб-сочилувчан материал полидисперс система бўлиб, унинг дисперслигини баҳолаш учун заррачаларнинг қуйидаги характеристикаларидан фойдаланилади:

δ_{max} — максимал ўлчам; δ_{min} - минимал ўлчам; δ_{yp} - ўртача ўлчам.

Юзанинг солиштирма майдони - F_c ($\text{м}^2/\text{м}^3$):

$$F_c = \frac{G \cdot n}{\rho \cdot L} \quad (7.3)$$

бу ерда L - чизиқли ўлчам; ρ - заррача зичлиги; шар шакли учун $n=1$.

Майдаланган материалнинг дисперсион таркибини Розин-Роммлер формуласи ёрдамида аниқлаш мумкин.

$$R = \exp(-b \cdot \delta^n) \quad (7.4)$$

бу ерда b , n -константалар.

Агар, заррачалар ўлчами турлича бўлса, материал бир неча фракцияларга элаб ажратилади. Сўнг, ҳар бир фракция учун заррача ўлчами L_i фракцияларнинг массавий улушлари x_i ларни аниқлаб, F_c ни ҳисоблаш мумкин:

$$F_c = \frac{G}{\rho} \sum \frac{n_i x_i}{L_i} \quad (7.5)$$

Сочилувчан материалларнинг "тўқма" зичлиги ρ_T - жисм массасининг у эгаллаб турган ҳажм нисбатига айтилади. "Тўқма" зичлик ρ_T ва материал зичлиги ρ орасида қуйидаги боғлиқлик бор:

$$\rho_T = \rho_{\text{м}} (1 - \varepsilon) \quad (7.6)$$

бу ерда ε - материал қатламининг ғовақчилиги.

Нам материалнинг "тўқма" зичлиги эса ушбу ифода ёрдамида топилади:

$$\rho_T = \rho_{\text{м}} (1 - \varepsilon) \cdot (1 + u)$$

бу ерда $u = M_{\text{нам}} / M_{\text{абс.қуруқ}}$

Табиий қиялик бурчаги ϕ_e - сочилувчан материал текис юзага тўкилиши натижасида ҳосил бўлган конус чизиги ва унинг асоси орасидаги бурчак. Одатда, ϕ_e нинг сон қиймати $30...40^\circ$ оралигида бўлади.

Қатлам ғовақчилиги ε - бу қатлам заррачалари орасидаги бўш ҳажмни ифодаловчи параметр:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_{\text{жс}}} \quad (7.7)$$

бу ерда $\rho_{\text{жс}}$ - қаттиқ жисм зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Эквивалент диаметр - d_3 :

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot m}{\pi \cdot \rho}} \quad (7.8)$$

Сиқиниш ва синиш пайтидаги мустаҳкамлик кучланиш ($\text{Па} \cdot 10^{-5}$) орқали топилади.

1. Паст механик мустаҳкамлик	> 100
2. Жуда юмшоқ	100...500
3. Юмшоқ	- 500...1000
4. Ўртача	-1000...1500
5. Мустаҳкам	-1500...1800
6. Ўта мустаҳкам	>1800

Қаттиқлик на фақат майдаланиш даражаси i га, балки майдалаш машиналар ишчи деталарининг едирилишига таъсир кўрсатади. Едирилиш 10 балли Моор шкаласи ёрдамида баҳоланади.

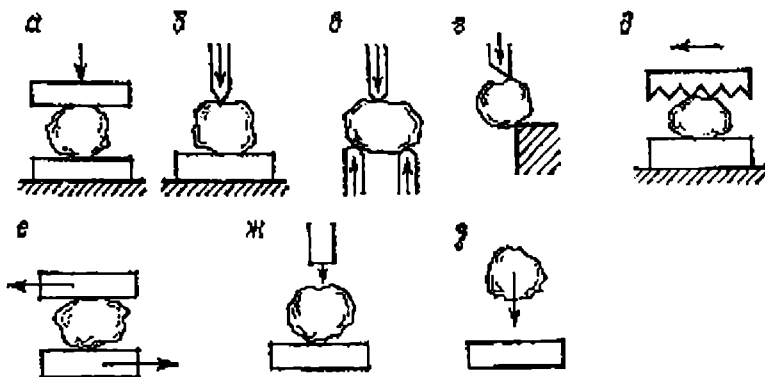
Мўртлик. Жисм мўртлиги пластик деформациясиз, механик куч таъсири остида бузилиш қобилияти орқали аниқланади. Одатда мўртлик температурага боғлиқ. Жисм бўлагининг ўлчами қанчалик кичик бўлса, унинг мустаҳкамлиги шунчалик юқори бўлади.

7.3 Майдалаш усуллари

Турли саноат корхоналарида қўлланиладиган майдалаш усуллари 7.1-расмда келтирилган.

Одатда, қаттиқ жисм-ларни майдалаш учун кўпинча эзиш, ёриш, сиқиқ ва эркин зарба бериш усулларида кенг қўламда фойдаланилади.

Лекин, соф ҳолда ҳеч қайси усул саноатда учрамайди. Масалан, эзиш, ёриш, зарба билан майдалаш кетидан келадиган жараён бу ейилиш ёки едирилишдир. Ейилиш жараёнида кўпинча чанг ҳосил бўлади ва материалнинг ўта майдаланиш каби зарарли ҳоллар ҳам учрайди.



7.1-расм. Майдалаш усуллари.

а - эзиш; б - ёриш; в - синдириш; г - қирқиш; д - арралаш; е - ейилиш; ж - сиқиқ зарба; з - эркин зарба.

Шунинг учун, майдалаш усулини танлаш материал бўлақларининг катталиги ва мустаҳкамлигига боғлиқ.

Мустаҳкам ва мўрт материаллар эзиш ва зарба, мустаҳкам ва эгилувчанлари - эзиш, ўртача мустаҳкам, эгилувчан материаллар - зарба, ейилиш ёки ёриш усулида майдаланади.

Майдалаш бир ёки бир неча усулларда, очиқ ва ёпиқ циклларда амалга оширилади. Ундан ташқари, майдалаш жараёнини қуруқ ёки нам усулларда ҳам ўтказса бўлади.

Айрим ҳолларда, материал хусусиятларига қараб: ультратовуш, гидравлик зарба тўлқини, юқори ва паст температураларни тез алмаштириш, электрогид-

равлик зарба, босимни тезда ўзгартириш, юқори температурада қиздириш усуллари ҳам қўлласа бўлади.

Майдалаш жараёнларида катта миқдорда энергия сарфланади. Энергия сарфи мавжуд майдалаш назариялари асосида топилиши мумкин.

Юза назариясига биноан, майдалаш жараёнидаги иш, материални парчаланиш юзаси бўйича молекулалар тортишиш кучини енгитишга сарфланади. Ушбу назарияга кўра, майдалаш учун зарур иш, майдаланиш натижасида янги ҳосил бўлаётган юзаларга пропорционалдир.

Ҳажмий назарияга биноан, майдалаш жараёнидаги иш материал деформациясига, яъни энг юксак парчаланиш деформациясига етказиш учун сарф бўлади.

Майдалаш жараёнида ташқи кучлар таъсирида бажарилган ҳамма иш A Риттингер тенгламаси орқали аниқланади:

$$A = A_{\text{д}} + A_{\text{ю}} = K_1 \Delta V + K_2 \cdot \Delta F \quad (7.9)$$

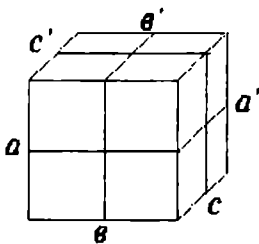
бу ерда $A_{\text{д}}$ - парчаланаётган бўлак ҳажмининг деформациясига сарфланаётган иш, J ; $A_{\text{ю}}$ - янги юза ҳосил қилиш учун сарфланган иш, J ; K_1 - жисмнинг ҳажм бирлигини деформация қилиш учун сарф бўлган ишга тенг пропорционаллик коэффиценти; K_2 - янги юза ҳосил қилиш учун сарфланган ишга тенг пропорционаллик коэффиценти; ΔV - парчаланаётган жисм ҳажмининг ўзгариши; ΔF - янги ҳосил бўлган юза.

Риттингер майдалаш гипотезасига биноан, иш майдалаш пайтидаги ҳосил бўлган юза қийматига тўғри пропорционалдир.

Майдалаш даражаси катта майдалаш жараёнида жисм бўлаги деформациясига сарфланаётган ишни ҳисобга олмаса бўлади. Унда $\Delta F \sim D^2$ эканлигини назарда тутиб, ушбу формулани оламиз:

$$A = K_2 \cdot \Delta F = K_2^1 D^2 \quad (7.10)$$

бу ерда D - жисм бўлагининг ўлчами; K_2^1 - пропорционаллик коэффиценти.



7.2-расм. Кубни майдалашга оид.

Риттингер назарияси қуйидаги ҳолатлардан келиб чиқади: масалан, куб қиррасининг узунлиги n , майдалангандан сўнг эса $1/n$ бўлади.

Майдалаш жараёнини ташқи кучлар таъсирида жисм қирраларга параллел текисликлар бўйлаб парчаланаяди деб қараш мумкин.

Агар парчаланиш aa' , bb' ва cc' текисликлар бўйича парчаланса, унда 8 та $n/2$ узунликка эга қиррали янги кублар ҳосил бўлади (7.2-расм).

Агар, $n/3$ бўлса 27 та, $n/4$ да эса 64 янги майда кублар олиш мумкин.

Демак, майдалаш учун сарфланаётган иш, майдалаш даражасига пропорционал:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{i}{i_1} \quad (7.11)$$

бу ерда

$$i = \frac{1}{a}, \quad i_1 = \frac{1}{b}$$

Унда, майдалаш учун сарфланаётган иш, майдалаш натижасида ҳосил бўлаётган бўлақларнинг чизикли ўлчамларига тескари пропорционал:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{b}{a} \quad (7.12)$$

Майдалаш даражаси кичик, лекин йирик майдалаш жараёнида янги юза ҳосил қилиш учун сарфланаётган ишни ҳисобга олмаса бўлади. Унда, $\Delta V \sim D^3$ эканлигини инобатга олсак, қуйидаги формулани оламиз:

$$A = K_1 \cdot \Delta V = K_1^1 D^3 \quad (7.13)$$

(7.13) тенглама Кик-Кирпичев гипотезасини ифодалайди, яъни майдалаш жараёнидаги иш, майдаланаётган бўлақ ҳажмига тўғри пропорционал.

(7.9) формуладаги қўшилувчиларни ҳисобга олмасликнинг иложи бўлмаса, қуйидаги тенгламани келтириб чиқариш мумкин:

$$A = K_3 \sqrt{D^3 D^2} = K_3 D^{2.5} \quad (7.14)$$

Ушбу тенглама Бонд тенграмаси деб номланади, яъни майдалаш жараёнидаги иш, ҳажм ва юзаларнинг ўртача геометрик қийматига тўғри пропорционал.

Маҳсулотларни кесиб майдалашдан мақсад, унга зарур шакл, ўлчам ва юзаларини сифатли қилишдир. Материалларни кесиш жараёнида чегаравий қатлам бузилади ва натижасида бўлақларга ажралади. Материал парчаланишдан аввал эластик ва қайишқоқ деформацияларга дучор бўлади. Ушбу деформациялар кесувчи асбобга кўрсатилаётган маълум куч таъсирида ҳосил бўлади. Таъсир этаётган кучланиш материалнинг вақтинча қаршилигига тенг бўлган ҳолдагина материалнинг парчаланиши бошланади.

Кесиш учун сарфланган иш эластик ва қайишқоқ деформациялар, ҳамда кесиш асбобининг материалга ишқаланишини енгитишга сарфланади.

Жисмларни кесиш учун сарфланган иш A акад.Горячкин В.П. формуласи орқали ифодаланиши мумкин:

$$A = A_c + A_\phi \quad (7.15)$$

бу ерда A_c -маҳсулотни сиқиш учун сарфланган иш, Ж; A_ϕ -кесиш фойдали иши, Ж. Сиқиш учун сарфланган иш $A_c = \partial h_c / h$, бу ерда ∂ - кесувчи пичоқ билан материални сиқиш шартли модули, Ж; h_c - сиқилган қатлам баландлиги, м; h - қатламнинг бошланғич баландлиги, м; Фойдали иш $A_\phi = F_{кес}(h-h_c)$, бу ерда $F_{кес}$ -кесиш кучланиши.

Озиқ-овқат саноатида кесиш учун турли хил ва шаклдаги пичоқлар қўлланилади: тўғри бурчакли, дискли, лентали, ўроқсимон ва бошқалар. Кесиш асбоблари кўзгалмас, тебранма, айланма, илгарилама-қайтма ҳаракатли бўлиши мумкин.

7.4. Майдалагичлар конструкциялари

Майдалаш машиналари икки хил бўлади: майдалагич ва тегирмонлар. Майдалагичлар йирик ва ўрта майдалаш учун, ўрта, майда, майин ва ўта майин майдалаш учун эса, тегирмонлардан фойдаланилади.

Турли хил даражада майдалаш учун хилма-хил машиналар ишлатилади (7.3-расм).



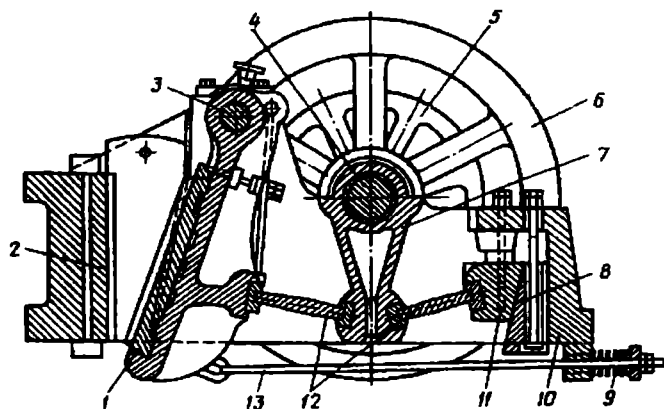
7.3-расм. Майдалагичлар классификацияси.

Кесиш машиналари пластинали, диски, роторли, оқимчали ва бошқа турли бўлади.

Ҳамма майдалаш ва кесиш машиналарига қуйидаги талаблар қўйилади: майдаланган материал бўлаклари бир хил бўлиши; майдаланган бўлаклар ишчи бўшлиғидан чиқарилиши; минимал чанг ҳосил бўлиши; узлуксиз ва автоматик тўкилиши; майдаланиш даражасини ростлаш шароити; тез-едириладиган ишчи қисмлар осон алмаштириш шароити; энергия сарфи кичик бўлиши зарур.

Жагли майдалагичларда қўзғалмас ва ҳаракатчан плиталарнинг узлукли яқинлашишидан ҳосил бўлган конусли камерада материални эзиш ва ёриш усуллари билан амалга оширилади (7.4-расм).

Майдаланган материал ҳаракатчан плита орқага юриши пайтида майдалагичдан тўкилади.



7.4-рasm. Жағли майдалагич.

- 1-ҳаракатчан плита; 2-қўзғалмас плита;
3-ҳаракатчан плита ўқи; 4-эксцентрик ўқ; 5-шків;
6-маховик; 7-шатун; 8,11-ростловчи поналар; 9-пружина;
10-станина; 12-дастаклар; 13-тяга.

Майдалагич жағлари осон счиладиган, едирилишга чидамли, қиррали плиталар билан қопланган бўлиши керак. Ҳаракатчан плита қўзғалмас ўқга маҳкамланади ва эксцентрик ўқ орқали шатун ёрдамида тебранма ҳаракатга келтирилади. Ўз навбатида шатун шарнир дастак 12 орқали ҳаракатчан плита ва ростловчи поналар 8 ва 11 лар билан боғланган. Ушбу поналарни сурилиши ростловчи болтлар ёрдамида амалга оширилади ва чиқиш йўли энини керакли ўлчамда ўрнатилишига олиб келади. Бу эса тўғридан-тўғри материални майдалаш даражасига таъсир этади. Тяга 13 ва пружина 9 лар ёрдамида плита 1 нинг қайтар ҳаракатига эришилади. Шатун 7 ва йириб турувчи плиталар тирсакли дастакни ташкил қилади. Майдалагич конструкциясининг асоси бўлиб тирсакли дастак ҳисобланади ва юқори босимлар ҳосил қилади.

Жағли майдалагичлар тузилиши содда ва иш жараёнида ишончли. Аммо, унинг таркибида тебранувчи массалар (яъни ҳаракатланувчи плита, тирсакли дастак ва ҳоказо) бўлгани учун уни оғир пойдеворларга ўрнатиш зарур.

Жағли майдалагич ишининг асосий параметрлари: илнтириш бурчаги; ўқнинг айланиш частотаси; иш унумдорлиги ва энергия сарфи.

Материалнинг майдаланиш даражасига илнтириш бурчаги α катта таъсир кўрсатади. Агар, α катта бўлса, майдаланиш даражаси i ортади.

Одатда, ушбу бурчак қиймати $\alpha = 15 \dots 22^\circ$ оралигида бўлади.

Ҳаракатчан плитанинг бир ҳолатдан иккинчисига ўтиш даври $\tau = 30/n$. Бу вақт ичида материал $S = g\tau^2/2 = (g/2)(30/n)^2 = 450g/n^2$ масофани босиб ўтади.

Агар, ҳаракатчан плита тебраниш йўли l (см) бўлса, майдалагич камера-сидаги материал баландлиги $h = l/\operatorname{tg} \alpha$ га тенг бўлади.

Оғирлик кучи таъсири остида материалнинг тўкилиши $l/\operatorname{tg} \alpha \leq 450g/n^2$ бўлган шарт бажарилса амалга ошади.

Ҳаракатчан плитанинг жуфт тебраниш сони n (мин^{-1}) ушбу формуладан топилади:

$$n \leq \sqrt{\frac{450 \cdot g \cdot \operatorname{tg} \alpha}{l}} \quad (7.16)$$

$\alpha = 22^\circ$ бўлган ҳолда майдалагичнинг иш унумдорлиги қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Q = 0,15 \mu \cdot d_{yp} l b n \rho_k \quad (7.17)$$

бу ерда μ - майдаланган материалнинг юмшаш коэффициенти ($\mu=0,2...0,65$); d_{yp} - майдаланган материал бўлаklarининг ўртача ўлчами, см; l - плита юриш йўлининг узунлиги, см; b - тўқиш тирқишининг узунлиги, см; n - 1 минут ичда жуфт тебранишлар сони; ρ - материал зичлиги, кг/м³.

Майдалагичнинг 1 т/соат иш унумдорлигида учун 400...1500 Вт энергия сарфи тўғри келади.

Ушбу майдалагич афзалликлари: оддий ва ихчам, унча катта жой эгалламайди; ишлатиш осон ва турли соҳаларда кенг тарқалган.

Камчиликлари: оғир пойдевор талаб қилади; бинони тебрантиради; зарба ва шовқин билан ишлайди.

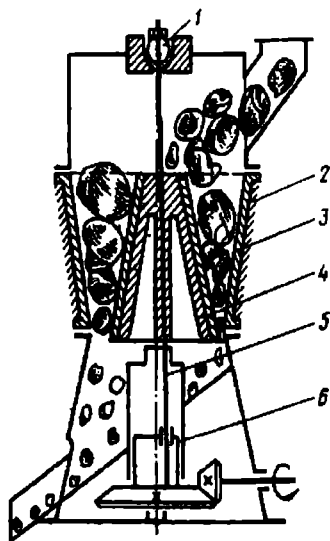
Конусли майдалагич материалларни йирик, ўрта ва майда янчиш учун ишлатилади. Жараён асосан эзиш ва синдириш усулларида олиб борилади.

Майдалаш қурилма қобиғи ва конуссимон шаклдаги айланувчи каллак орасида амалга оширилади (7.5-расм).

Конуссимон, айланувчи конус қурилма ўртасидан маълум масофада четга ўрнатилган, эксцентрик айланма ҳаракат қилади. Айланувчи конус қобигининг бир томониға яқинлашса, иккинчи томонида қобиқ ва конус каллак орасидаги масофа кўпаяди ва у ердан майдаланган материаллар тўкилади.

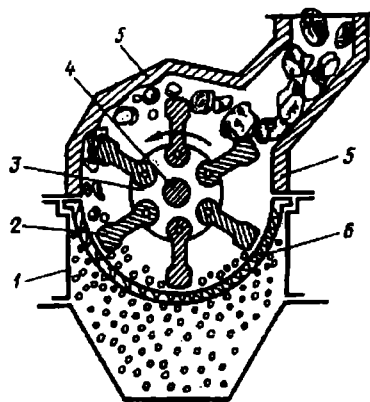
Афзалликлари унумдорлиги катта, материал узлуксиз эзиш ва букиш натижасида майдаланилади, бир меъёردа, шовқинсиз ишлайди (маховик керак эмас) ва майдалаш даражаси юқори.

Камчиликлари қурилма мураккаб, нархи қиммат, тикка конусли қурилманинг баландлиги катта.



7.5-расм. Конусли майдалагич.

1-шарсимон таянч; 2-қобиқ;
3-зирхли плита; 4-каллак;
5-вертикал ўқ; 6-эксцентрик.



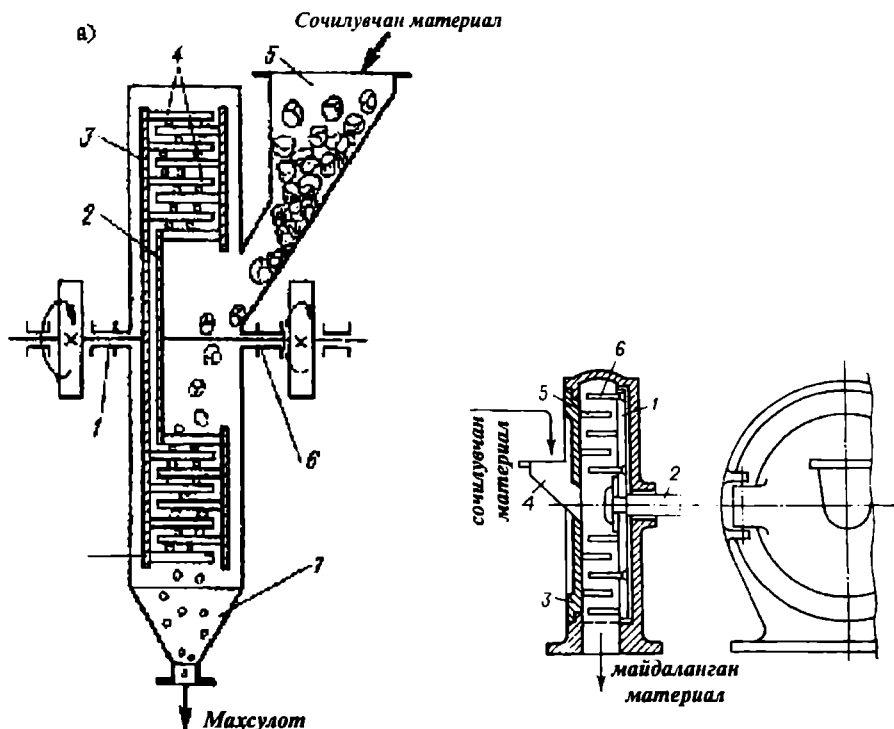
7.6-расм. Болғали майдалагич.

1-қобиқ; 2-майдаловчи болға;
3-диск; 4-ўқ; 5-зирхли плита;
6-колосникли тўр парда.

Болғали майдалагич ҳайвон суяклари ва бошқа қаттиқ жисмларни майдалаш учун қўлланилади (7.6-расм). Ушбу машина сиқик зарба бериш усулида ишлайди. Унда, болға 2 тез айланадиган диск 3 га шарнир орқали бириктирил-

ган. Материал бункер орқали машинага юкланади ва болғалар билан майдаланади. Майдаланган материал колосникли панжара 6 дан ўтиб, машинадан тўкилади. Майдаланган материал ўлчамлари колосникли панжара тешиклари-нинг ўлчамлари билан белгиланади.

Дезинтеграторда дискларнинг концентрик айланалари бўйлаб савалаш стерженлари ўрнатилган. Биринчи дискнинг ҳар бир қаторидаги савалаш стерженлари бошқа дискнинг икки қаторидаги стерженлар орасида кичик тирқиш қолдириб жойлаштирилган бўлади (7.7а-расм).



7.7-расм. Дезинтегратор (а) ва дисмембратор (б).

а) 1,6-ўқлар; 2,3-дисклар; 4-била стерженлари; 5-юкловчи бункер; 7-тўкиш штуцери. б) 1-барабан; 2-ўқ; 3-қопқоқ; 4-юкловчи бункер; 5,6-била стерженлари.

Юкловчи бункер 5 орқали материал машинага юкланади ва айланувчи савалаш стерженлар зарбаси таъсирида материал майдаланади.

Майдаланган материал машинанинг пастки қисмида жойлашган тўкиш штуцери орқали чиқарилади.

Дискнинг айланиш частотаси $200 \dots 1200 \text{ мин}^{-1}$. Бу турдаги машиналар иш унумдорлиги $0,5 \dots 20 \text{ т/соат}$.

Дисмембратор. Бундай қурилмаларда битта айланувчи барабан 1 бўлиб, унга бир нечта стержень — била 6 лар ўрнатилган, иккинчи, қўзғалмас барабан функциясини қопқоқ 3 бажаради (7.7б-расм). Ушбу қопқоқнинг ички юзасига стержень 5 лар маҳкамланган. Майдаланаётган материал воронка 4 орқали қурилмага юкланади. Дисмембратор ўртасига тушган сочилувчан материал марказдан қочма куч таъсирида винтсимон ҳаракатга келтирилади. Барабан 1 айланувчи ўқ 2 га ўрнатилган бўлади ва у билан бирга тешикли ёки тиқишли ҳалқасимон панжара ичида ҳаракатланади.

Панжара тешикларидан ўтмаган материалларни стержень 5 лар ёрдамида жуда кичик ўлчамли бўлакчалар даражасигача майдалаш мумкин. Дисмембратор барабанининг диаметри 250...6000 мм ва айланиш частотаси 2500...3800 айл/мин — ораликда бўлиши мумкин.

Дисмембраторларнинг дезинтегратордан фарқи шундаки, дискнинг фақат биттаси айланувчан бўлади. Иккинчи диск вазифасини машина қопқоғи (қобиғи) бажаради. Унда ҳам концентрик айланалар бўйлаб стерженьлар жойлаштирилган. Бу қурилмалар резина-техника саноат корхоналарида мел ва каолинни майдалаш, ҳамда кўмир кукунини олиш учун ишлатилади.

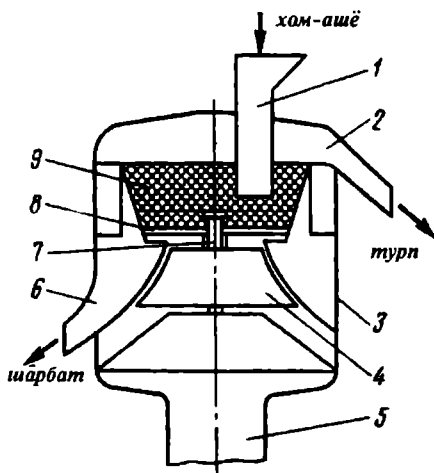
Зарбали майдалагич афзалликлари: тузилиши содда ва ихчам; иш унумдорлиги ва майдалаш даражаси юқори; ишончлиги катта.

Камчиликлари: қурилма деталларининг едирилиши юқори; кўп чанг ҳосил бўлади; энергия сарфи катта.

Дискли тегирмонлар. Буғдой, кунжара, арпа, шоли ва қуруқ понларни майда ва майин янчиш учун ишлатилади. Бундай машиналарда ишчи қисм сифатида иккита тарам-тарам вертикал дисklar хизмат қилади. Улардан бири горизонтал ўқда айланади, иккинчиси эса - қўзғалмас бўлади. Хом-ашё узлуксиз равишда икки диск бўшлиғига узатилади ва у ерда майдаланади. Иккила диск орасидаги масофа материалнинг майдаланиш даражасини белгилайди. Дискнинг айлана бўйлаб ҳаракат тезлиги 7...8 м/с.

Болға, плита, диск ва тўр пардалар едирилишга чидамли марганецли ёки қаттиқ қотишма билан қопланган углеродли пўлатлардан тайёрланади.

Мева ва резаворларни майдалаб, уларнинг шарбатини қолдиқлардан ажратиш учун центрифугаси бор дискли тегирмон ишлатилади (7.8-расм).



7.8-расм. Мева-резаворларни майдалаш машинаси.

1-бункер; 2-турпини чиқариши учун патрубк;
3-қобиқ; 4-ротор; 5-юриткич; 6-шарбат чиқиши
учун патрубк; 7-ўқ; 8-майдаловчи диск; 9-сават.

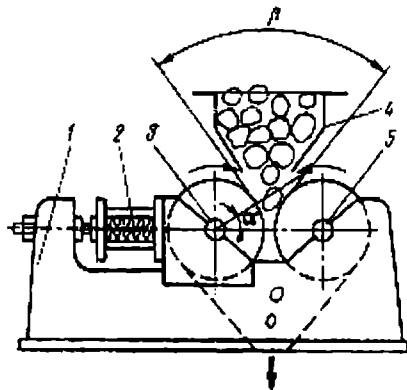
Машина қобиғи ичидаги ўқга қирғичли диск ўрнатилган бўлиб, у конуссимон ротор ёрдамида айлантирилади. Хом-ашё юкловчи бункер 2 орқали сават 9 га узатилади. Саватнинг девори темир тўрдан ясалади ва у фильтрловчи юза вазифасини ҳам бажаради.

Майдаланган хом-ашё марказдан қочма куч таъсирида иккита, яъни шарбат ва турпга ажралади.

Шарбат, айланувчи саватнинг тўр деворларидан, ҳалқасимон бўшлиққа филтрланиб ўтади ва чиқиш патрубкеси орқали машинадан тўкилади. Турпи эса, қопқоқ остидаги бўшлиқдан турпни чиқариш патрубкесидан ташқарига узатилади.

Жували майдалагичлар иккита параллел цилиндрик жувадан иборат бўлиб, бир-бирига қараб айланади ва эзиш усулида материалларни майдалайди.

Текис жували майдалагичлар станина 1 ва жува 3,5 лардан таркиб топган (7.9-расм). Жува 1 нинг подшипниклари қўзғалмас қилиб маҳкамланса, жува 2 эса ҳаракатчан подшипникларда ўрнатилади ва у силжиши мумкин. Жува 3 пружиналар 2 ёрдамида маълум бир ҳолатда ушлаб турилади. Агар, майдалагичга катта ва мустаҳкам бўлак тушиб қолса, пружина сиқилади ва жувалар тирқиши ортиши натижасида ушбу бўлак машинадан ўтиб кетади. Кўпинча, ҳар бир жува алоҳида ҳаракатга келтирилиши мумкин.



7.9-расм. Жували тегирмон.

1-станина; 2-пружина;
3-ҳаракатчан жува;
4-бункер; 5-қўзғалмас
жува.

Бу турдаги майдалагичларнинг асосий характеристикаларига: жува диаметри D ва унинг узунлиги L киради.

Текис жували майдалагичлар ўртача ва майда янчиш учун ишлатилади, чунки у илантирадиган бўлакнинг ўртача ўлчами $0,05 \cdot D$ дан кичик.

Ўртача мустаҳкамликдаги мўрт материалларни майдалаш учун тишли, жували машиналар қўлланилади.

Ўртача мустаҳкамликдаги мўрт материалларни жували машиналарда қайта ишланганда $i = 10 \dots 15$ майдалаш даражасини олиш мумкин. Юқори мустаҳкамликдаги материалларни майдалашда эса, $i = 3 \dots 4$ дан ортмайди.

Жували майдалагичлар қуйидаги афзалликларга эга: содда ва ихчам; эксплуатацияда ишончли.

Камчиликлари: майдаланган материаллар ясси бўлаклардан иборат; юқори мустаҳкамликка эга материалларни майдалаш учун кам яроқли.

Жували майдалагични ҳисоблаш қуйидаги параметрларни илантириш бурчаги, илантирилаётган бўлакнинг энг катта ўлчами, жувалар тезлиги ва иш унумдорлигини аниқлашдан иборат.

Илантириш бурчаги одатда 18° атрофида бўлиши мақсадга мувофиқдир.

Текис жувалар материал бўлакларини тортиб олиш учун илантириш бурчаги α -материалнинг ишқаланиш бурчаги ϕ дан кичик, яъни $\alpha \leq \phi$ бўлиши керак.

Илантирилаётган бўлакнинг энг катта ўлчами $d_k = 2r$ бўлгани учун:

$$R + e = (R + r) \cdot \cos \alpha \quad (7.18)$$

бу ерда e - жувалар орасидаги тирқиш ўлчамининг ярми; R -жува радиуси.

Жувалар бир-бирига зич ўрнатилаганида ($2e = 0$):

$$2r = \frac{2R(1 - \cos \alpha)}{\cos \alpha} \quad (7.19)$$

Агар, $\cos\alpha = 18^\circ$ лигини ҳисобга олсак:

$$2r = 0,1R + 2e$$

Амалиётда майдаланаётган бўлақларнинг энг катта ўлчами жувалар диаметридан 20-25 марта кичик бўлади.

Жувалар тезлиги. Жувалар максимал айланиш сонини материал бўлақларининг улар орасидан сирпаниб ўтиб кетмаслиги шартидан келиб чиққан ҳолда аниқланади. Юқорида қайд этилгин шарт асосида ва Л.Б. Левенсон формуласига биноан:

$$n = 616 \sqrt{\frac{f}{\rho d_k D}} \quad (7.20)$$

бу ерда f - материални жувага ишқаланиш коэффиценти ($f=0,3$); ρ - материал зичлиги, кг/м³; d_k - хом-ашё бўлақларининг ўлчами, м; D - жува диаметри, м;

Одатда жуваларнинг айлана бўйлаб тезлиги 3...6 м/с бўлади.

Иш унумдорлиқ. Жували майдалагичларнинг назарий иш унумдорлиги Q ушбу формуладан аниқланади.

$$Q \approx 0,2\mu \rho L D e n \quad (7.21)$$

бу ерда μ - майдаланган материалнинг юмшаш коэффиценти ($\mu=0,2-0,3$); L - жува узунлиги, м; чизиқли ўлчамлар D, n, L, e - м, зичлик ρ эса - кг/м³

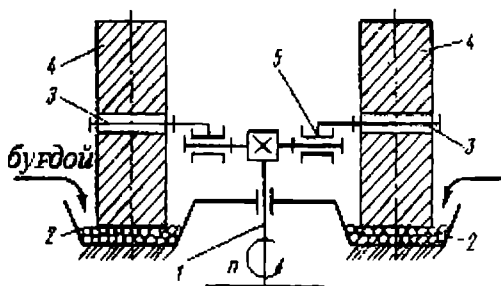
Артиш машинаси. Горизонтал артиш машинаси бир ёки бир неча камерали бўлиши мумкин.

Айрим ҳолларда камералар сони бир нечта бўлиши мумкин. Камера цилиндрик қобиқдан иборат бўлиб унинг ичида метал тўр парда жойлаштирилган. Қобиқ ва тўр парда орасида ҳалқасимон канал бор. Қобиқ ўқи бўйлаб артиш куракчали ротор ўрнатилган. Тўр парда ва куракчалар орасида зарур ўлчамли тирқиш бўлиб, у ерда майдалаш ва едирилиши натижасида материал майдаланади. Чунончи, куракчаларни материалга сон-саноқсиз урилиши натижасида ҳосил бўлаётган босим таъсирида артиш жараёни амалга оширилади.

Югурувчи тегирмон, одатда 2 та тегирмон тоши ва майдаланаётган материал солинадиган жом 2 лардан таркиб топган (7.10-расм).

Тегирмон тошлари вертикал ўқларга ўрнатилади ва у билан бирга айланади.

Ундан ташқари, жом учигаги материал билан ишқаланиш натижасида тегирмон тошлари горизонтал ўқи атрофида ҳам айланади. Майдалаш жараёни эзиш ва едирилиш усулларини ҳисобига бўлади.



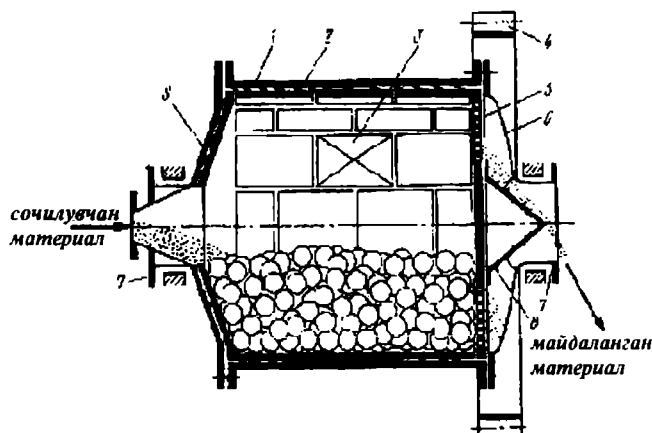
7.10-расм. Югурувчи тегирмон.

1-вертикал ўқ; 2-жомлар; 3-горизонтал ўқлар; 4-тегирмон тошлари; 5-кривошип.

Қўзғалмас жомли ва узатмадан айланувчи тегирмон тошли, ҳамда узатмадан айланувчи жомли ва қўзғалмас тегирмон тошли югурувчи тегирмонлар бор. Охирги турдаги тегирмон тез юрар ($20 \dots 50 \text{ мин}^{-1}$) машина деб ҳисобланади.

Ушбу машиналарда майдаланган материални тўкиш, марказдан қочма куч таъсирида, автоматик равишда амалга оширилади.

Шарли тегирмонлар майин янчиш учун ишлатилади (7.11-расм).



7.11-рамс. Шарли тегирмон.

1-барабан қобиғи; 2-зирхли плита; 3-люк; 4-узатма шестерняси; 5-панжара; 6,9 қопқоқ; 7-ичи бўш цап-фалар; 8-йўналтирувчи конус.

Ушбу тегирмонлар бир вақтнинг ўзида шар ва материал билан юкланади. Шарлар кўпинча пўлат, диабаз, чинни ва бошқа материаллардан ясалади. Уларнинг диаметри майдаланаётган материал ўлчамларига боғлиқ.

Одатда пўлат шарлар диаметри $35 \dots 175 \text{ мм}$ бўлади ва тегирмон ҳажмининг $30 \dots 35\%$ шарлар билан тўлдирилади.

Тегирмон айланиши пайтида, девор ва шарлар ишқаланиши натижасида шарлар айланиш йўналишида тепага кўтарилиб боради. Ушбу ҳол, кўтарилиш бурчаги материалнинг табиий қиялик бурчагидан ортмагунча давом этади, сўнг эса шарлар пастга қараб думалайди.

Айланиш тезлиги ортиши билан марказдан қочма куч ва кўтарилиш бурчаги кўпаяди. Шарлар оғирлиги марказдан қочма кучдан кўпайиши билан шарлар пастга, параболик траектория бўйлаб тушиб кетади.

Агарда, айланиш тезлигини янада оширсак, марказдан қочма кучлар шунчалик кўпаядики, шарлар тегирмон билан биргаликда айлана бошлади.

Шарлар тушиб кетмайдиган тегирмоннинг чегаравий айланиш частотаси қуйидаги формуладан топилади:

$$n_c = \sqrt{\frac{900 \cdot g}{\pi^2 R}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad (7.22)$$

Одатда тегирмоннинг айланиш частотаси n_c нинг 75% га тенг деб қабул қилинади ва ушбу формуладан аниқланади.

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}} \quad (7.23)$$

бу ерда D - барабан диаметри, м.

Тегирмоннинг иш унумдорлиги Q ($m/soat$) қуйидаги тахминий формуладан ҳисоблаб топилади:

$$Q = V K D^{0.6} \quad (7.24)$$

бу ерда V -барабан ҳажми, м; K - хом-ашё бўлакларининг ўртача ўлчамига боғлиқ пропорционаллик коэффициенти, $K=0,41...1,31$.

Афзалликлари: универсал, майдалаш даражаси юқори, ишлатишда ҳавфсиз ва қулай.

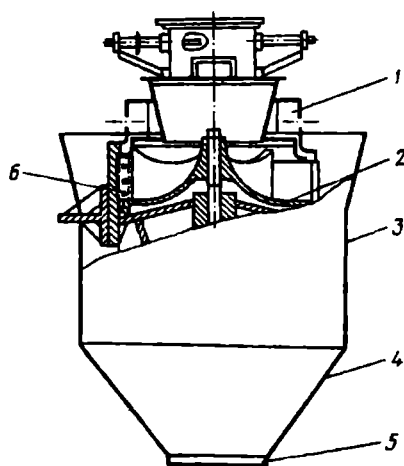
Камчиликлари: қўпол, оғир, фойдали иш коэффициенти кичик, янчиш воситалари ҳам уқаланиб майдаланилаётган материални ифлослантиради.

Тебранма тегирмонлар майин янчиш учун мўлжалланган. Бу машиналар барабандан иборат бўлиб, 70% ҳажм майдаловчи шарлар билан тўлдирилган. Унинг ичида тебратгич ўрнатилган бўлиб, у шар ва материалларни тебрантиради. Бундай тегирмонларнинг ишлаш самарадорлиги тебраниш частотаси ва амплитудасига боғлиқ.

Одатда тебраниш амплитудаси 2...4 мм бўлганда, частотаси эса 1500...2500 мин⁻¹.

Коллоид тегирмонлар суспензияларни ўта майин янчиш учун қўлланади. Майдалаш нам усулда олиб борилади. Коллоид тегирмонларнинг асосий қисми конус шаклидаги ботиқ қобиқ ва ротордир. Конус юзали қобиқ ва ротор орасида тирқиш бўлиб, унинг қиймати 0,01...0,5 мм га тенг бўлади. Роторнинг айлана бўйлаб тезлиги 30...120 м/с. Қобиқ ва ротор орасидаги тирқишда суспензия едирилиш усулида майдаланади.

Марказдан қочма, ромли кесгич. Одатда, бу турдаги машина қанд лавлагини паррак қилиб кесиш учун мўлжалланган (7.12-расм).



7.12-расм. Марказдан қочма, ромли кесгич.
1-юкловчи бункер; 2-пичоқли ром; 3-қобиқ; 4-туб;
5-люк; 6-уч парракли спиралсимон мослама.

Лавлаги бункер 1 орқали машинага юкланади, айланаётган мослама уни илинтириб олади ва марказдан қочма куч таъсирида кесувчи пичоқларга сиқилади. Натижада, пичоқнинг ўткир қирралари билан парракларга кесилади. Қирқалган лавлаги парраклари машина қобиғи ва ром орасидаги бўшлиққа тушади, сўнг эса люк орқали кейинги қайта ишлаш жараёнига узатилади. Кесувчи пичоқларни тозалаш буг ёки сиқилган ҳаво ёрдамида амалга оширилади.

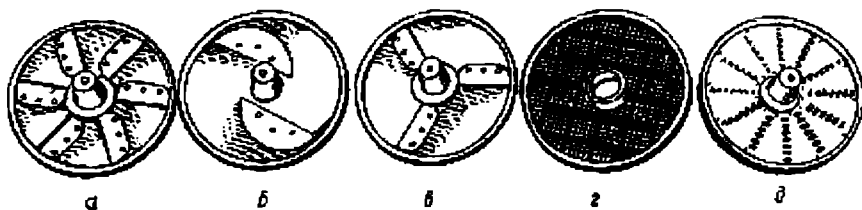
Вертикал сабзавот кесгичлар.

Маҳсулотларни тилимча, куб, қаламча ва ҳоказо шаклларда кесиш учун мўлжалланган. Ушбу машина юкловчи бункер, майдалаш камераси ва узатмалардан иборат. Кесувчи асбоб сифатида электр юриткич ёрдамида айлантирилаётган вертикал ўқга ўрнатилган горизонтал

диск хизмат қилади.

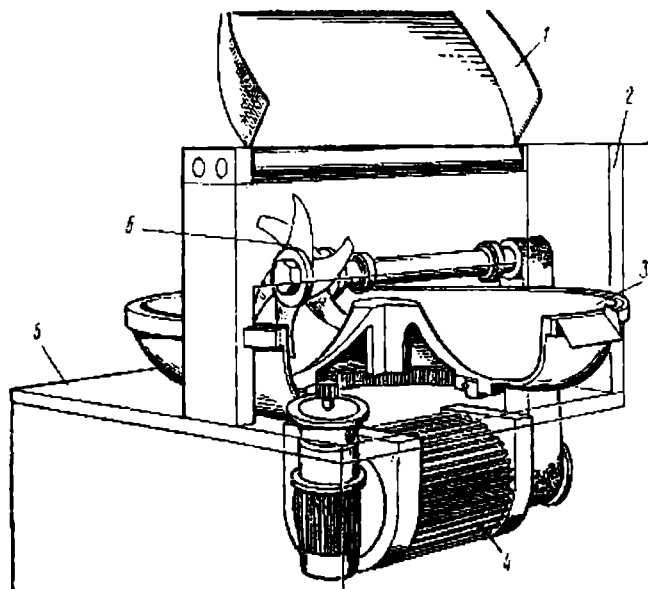
Машина, устига полиамид материали қопланган, юқори сифатли, рангли материалдан ясалади. Кесилган сабзавотларни ранги ва ўлчами пичоқнинг

конструкцияси ва конфигурациясига боғлиқ (7.13-расм). Гўшт майдалагич куттер конструкцияси 7.14-расмда келтирилган.



7.13-расм. Сабзавот кесгичнинг қирққиш дисклари.

а-тилимча қилиб кесадиган; б-юмшоқ ва серсув маҳсулотларни юпқа кесадиган; в-тарам-тарам тилимча кесадиган; г-куб шаклидаги кесадиган; д-қирғич.



7.14 – расм. Гўшт майдалагич (куттер)

1-қопқоқ; 2-девор; 3-жом; 4-узатма; 5-станина;
6-кесувчи асбоб.

Легирланган пўлатда ясалган ва айланувчи жомга гўшт автоматик равишда юкланади. Жомдаги фреза шаклидаги кесувчи асбоб ёрдамида гўшт кесракли ўлчамларда кесилади. Кесиш тезлиги 130 м/с ни ташкил этади. Жараён вакуум остида олиб борилади. Қобиқ материали ва машина қопқоғи жараёни шовқин-суронсиз ўтказиш имкониятини беради. Кесиш натижасида ҳосил бўлаётган қийма узлукли, қия тамба ёрдамида автоматик тўкиб турилади. Қопқоқ ва қобиқ бирикмасини зичлаш махсус полимер қистирмалар ишлатилади.

7.5. Донадор, сочилувчан материалларни классификациялаш

Донадор материал аралашмасини фракцияларга, бир-бирига яқин бўлган ўлчамли заррачаларни, ажратиш учун уч хил классификациялаш қўлланилади:

механик усул, бунда сочилувчан материалларни элак, тўр ва шунга ўхшаш мосламаларда элаб олинади. Механик классификациялашда ўлчами элак тешигидан кичик бўлганлари ундан ўтиб кетади. Ўлчами катта бўлган бўлаклар ёки доначалар эса, яна қайта майдалашга жўнатилади;

гидравлик классификациялаш қаттиқ заррачалар аралашмаларини суюқликда чўкиш тезлиги асосида фракцияларга ажратади;

ҳаво ёрдамида ажратиш қаттиқ заррачалар аралашмасини ҳавода чўктириш ёрдамида амалга оширилади.

Классификациялаш ёрдамчи жараён сифатида қўлланилади, яъни материални майдалашдан олдин майда фракцияси ажратиб олинади. Ушбу жараён, йирик бўлакларни элаб олиб, қайта майдалашга жўнатиш учун, яна керакли ўлчамдаги тайёр маҳсулотни ажратиб олиш учун ҳам қўлланиши мумкин. Механик классификациялаш яна ажратиш (ёки элаш) деб ҳам номланади. Бу усулда заррачалар ўлчами миллиметрнинг бир неча улушидан токи бир неча сантиметр ўлчамли материалларни ажратиш учун қўлланилади. Классификациялаш жараёни элаш (грохот) ёки ажратиш (сепаратор) мосламаларида амалга оширилади.

Материалларни элаш учун металл ёки бошқа материал листларида тешиклар ҳосил қилинган тўрлар, металл стерженлари параллел жойлаштирилган колосниклардан фойдаланилади. Элак тешиги кўриниши квадрат ёки тўғри тўртбурчак шаклида бўлиши мумкин. Ўлчами эса 0,04 дан 100 мм гача бўлади. Элак рақами, шу элак тешиги ўлчамининг қиймати билан бир хил бўлади.

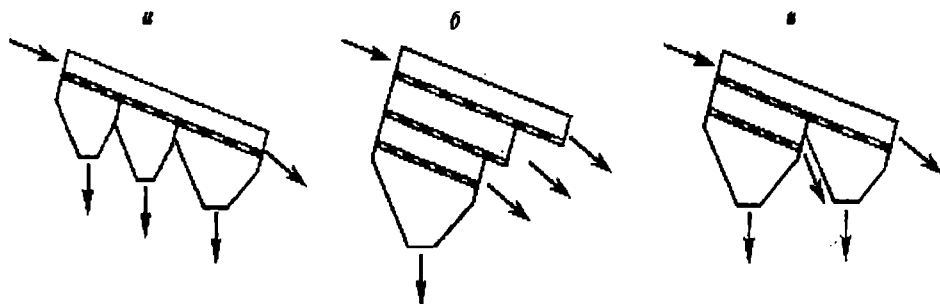
Тўрлар 2-12 мм қалинликдаги металл листлардан 2-10 мм диаметрлардаги тешикли қилиб ясалади. Тешиклар тиқилиб қолмаслиги учун, тешик пастга қараб кенгайиб борувчи шаклда қилинади.

Колосникларни стерженлардан трапецидал кўринишда қилиб йиғилади. Мосламанинг кўринишдаги бу йиғиш заррачалар ўтишини осонлаштиради.

Сочилувчан материаллар перфорацияли юзага нисбатан ҳаракати даврида классификациялаш жараёни содир бўлади. Бунда, перфорация қилинган юза қўзғалмас ёки тебранма ҳаракатда бўлиши мумкин. Агар, перфорацияли юза қўзғалмас қилиб ўрнатилса, унинг уфқга нисбатан қиялик бурчаги, материал ишқаланиш бурчагидан катта бурчак остида бўлиши керак.

Классификациялаш натижасида икки хил маҳсулот, яъни эланган ва эланмаган маҳсулотга ажралади. Эланган маҳсулот тешиклардан ўтгани бўлса, эланмагани бу элакдан ўтмаган қисми бўлади.

Классификациялаш бир ва кўп маротабали бўлади. Оддий классификациялашда материал бир маротаба эланса, кўп мартали классификацияда эса тешиклари турли ўлчамли бир неча элаклардан ўтказилади.



7.15-расм. Элаш усуллари.

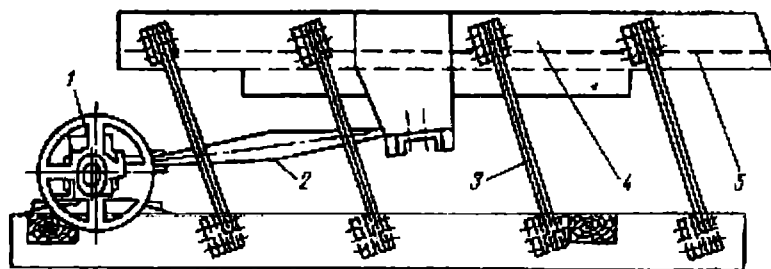
а - майдадан йирикга; б - йирикдан майдага;

в — комбинацияланган.

Элаклар. Маълум бир қатор фракцияларни классификациялаб ажратиш олиш учун қуйидаги кўп маротабали элаш усули қўлланилади (7.15-расм):

- майдадан йирикка. Ушбу усулда материал тешик ўлчамлари ортиб борувчи бир неча элакдан кетма-кет ўтказиш йўли билан амалга оширилади; йирикдан майдага. Тешик ўлчамлари камайиб борувчи элаклар бири-бирини устига ўрнатилади;
- комбинацияланган.

Саноатда ҳаракатчан ва қўзғалмас турдаги элаклар ишлатилади. Элакларнинг кўп қўлланиладиган тури-қўзғалмас элаклардир. Элаклар тебранувчан, барабанли, силталанувчан, дискли, филдиракли, колосникли ва занжирли бўлиши мумкин. 7.16-расмда тебранувчан элак схемаси тасвирланган.



7.16-расм. Тебранувчи элак.

1-эксцентрик; 2-шатун; 3- пружина; 4-қобик; 5-элак.

Элак кривошип механизми ёрдамида тебранма ҳаракат қилади. Эланган маҳсулот пастга тешикдан тўкилади, эланмагани эса элак бўйлаб ҳаракатланиб, қайта майдалашга жўнатилади. Бир қанча фракцияларга ажратиш учун тебранувчи элаклар кўп қаватли қилинади. Материал қурилманинг энг юқорисига тўкилади. Катта ўлчамли материал юқори қаватда қолади, майдалари эса пастки қаватда тўпланади. Катта ўлчамли бўлаклари яна қайтадан майдалашга жўнатилади.

Тешикли тебранувчан ғалвир-машинанинг афзалликлари: ғалвирлаш самарадорлиги юқори; ихчам; таъмирлаш қулай.

Ғалвир машинанинг камчиликлари: конструкцияси мукамал эмас; саралаш пайтида силкиниб, тебраниб ишлайди.

Роликли элаклар ҳаракатчан колосникли машиналар қаторига киради. Бу турдаги машиналарда элаш юзасини параллел ўрнатилган. Айланувчи ўқларга маҳкамланган диск ёки роликлар бажаради. Ажратиладиган материал диск ёки филдирак устида ҳаракатланади ва улар орасидаги тирқишдан пастга тушади. Эланган материал элакнинг охиридан ташқарига тўкилади.

Материални узлуксиз силкиниши туфайли унинг филдирак ёки дисклар бўйлаб ҳаракатлангани учун фракцияларга ажралиш самарадорлиги ортади.

Барабанли ғалвир-машина эса, горизонтга нисбатан 4-7° бурчак остида жойлашган барабан бўлиб, тўрдан ёки тарам-тарам қилиб темир листдан ясалган бўлиб, ўқга ёки тиргакли филдиракга ўрнатилган бўлади. Барабаннинг очиқ томонидан материал юкланади. Барабан девори орқали майда материал эланади, элакдан ўтмагани эса барабаннинг паст томонидан тўкиб олинади. Барабанли ғалвир-машина энг майда заррачаларни йирик бўлаклардан классификациялаш учун ишлатилади.

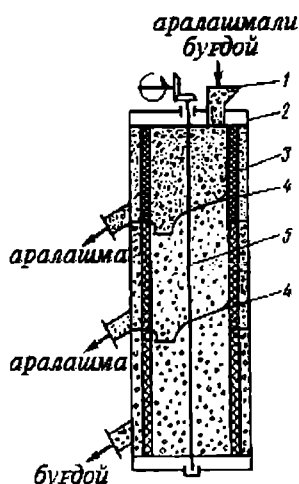
Ғалвир тешикларини материал ҳаракатланиш йўли бўйича ўзгартириш, яъни катталаштириш ҳам мумкин бўлади.

Барабанли ғалвир машинанинг камчиликлари: ажратиш самардорлиги ва унумдорлиги кичик.

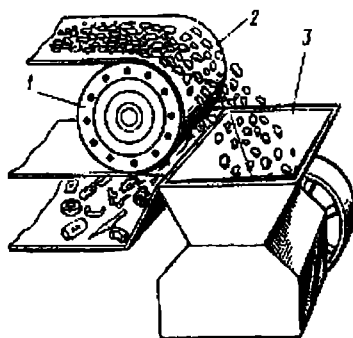
Дон ва бошоқли дон маҳсулотларини тозалаш учун горизонтал ва вертикал цилиндрик дон тозалаш ажратгичлардан фойдаланилади. Ажратиш жараёни металл турли ажратгичларда амалга оширилади.

Элак (тўр) тешиклари дон аралашмаси ҳаракати йўналиши бўйича катталашиб боради. Аралашмани ажратиш эса вертикал ажратгичда марказдан қочма куч ёрдамида амалга ошса, горизонтал ажратгичда эса тебранма ҳаракат туфайли амалга оширилади.

7.17-расмда барабанли марказдан қочма ажраткич (сепаратор) нинг схематик кўриниши тасвирланган.



7.17-расм. Барабанли ғалвир
1-юклаш штурци;
2-қобиқ; 3-барабан;
4-каналли тўсиқ;
5-ўқ.



7.18-расм. Электромагнит барабанли ғалвир
1-ажраткич; 2-конвейер;
3-бункер.

Барабан бир неча қисм (секция) дан ташкил топган. Тозаланмаган дон юқори секцияга келиб тушади. Марказдан қочма куч таъсирида бошоқли материал барабанли ажраткичнинг ғалвирсимон девор четига урилади. Материал таркибидаги, дондан кичик аралашмалар ғалвир орқали ўтиб кетади ва ажратгичдан чиқариб ташланади. Дон эса, қурилманинг пастки қисмига тушади. Бу секция деворининг тешиклари маҳсулот ўлчамидан катта бўлгани учун, дон ғалвирсимон девордан ўтиб, қурилмадан чиқариб юборилади.

Вибрацион ғалвир машиналарининг элаги текис ётиқ бўлиб, тебраткич ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Материалнинг элак устида доим тебраниб (силкиниб) туриши туфайли, элак тешиклари тўлиб қолмайди ва заррачалар тешиқдан ўтиб кетади. Ушбу жараёни тебраниш частотаси ва амплитудасини ўзгартириш йўли билан ростлаш осон. Ғалвирда деталларни алмаштириш қийин эмас.

Сочилувчан материаллар таркибидаги темир ва чўян аралашмаларни тозалаш электромагнит ажраткич ёрдамида амалга оширилади (7.18-расм).

Электромагнит барабанли ажраткичда ўқга мос равишда қўзғалмас магнит жойлаштирилади. Бу магнит ўзгармас электр токида ишлайди. Барабан айланганда унинг юзаси электромагнит қутблари яқинида жойлашган бўлади. Металл аралашмалар кучли магнит майдон таъсирига дуч келиб, барабан юзасига ёпишиб қолади. Магнит майдон таъсирига тушмайдиган бошоқли материаллар бункерга тўкилаверади. Кейин эса, металл заррачалар ҳам майдон

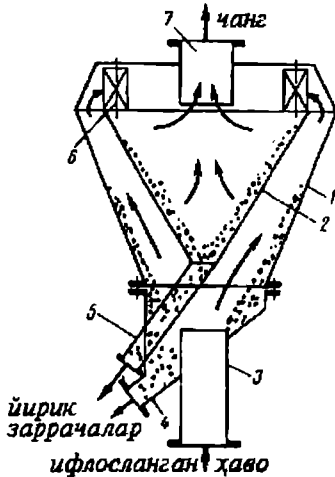
таъсиридан узоқлашгандан сўнг, улар ҳам бункердан ташқарига йиғилади. Шу усулда донларни металдан ажратиш мумкин бўлади.

Магнитли ажраткичлар металлрни машиналарга юклаш жараёнида ҳам ишлатиш мумкин бўлади.

Қаттиқ жисмiар аралашмасынн фракцияларга гидравлик классификациялаш, қаттиқ заррачаларнн суюқликда чўкишининиг умумий қонунига бўйсунadi.

Гидравлик классификациялаш сув оқимининг горизонтал ёки кўтарилиш ҳаракатида амалга оширилади.

Оқим тезлиги шундай танланадики, бунда классификатордан кичик ўлчамли маълум заррачалар оқим билан чиқиб кетса бу заррачалар юқори маҳсулот деб номланса, классификаторнинг ўзида қоладиган заррачалар ўлчами катта бўлади ва у остки маҳсулот деб номланади.



7.19-расм. Марказдан қочма сеператор схемаси.

1-қобиқ; 2-ички конус; 3- материални юклаш патрубкasi; 4,5-йирик заррачаларни юклаш патрубкasi; 6-йўналтирувчи куракча; 7- чангни чиқариш патрубкasi.

Марказдан қочма куч таъсирида классификациялаш эса гидроциклонларда амалга оширилади.

Ҳаво ёрдамида ажратиш гидравлик классификациялашдан фарқи шундаки, заррачаларни ҳавода чўктириш тезлиги суюқликда чўкиш тезлигидан тезроқ боради. Ҳаво ёрдамида ажратиш, циклонли қурилмаларда ҳавонинг юқорига кўтарилувчи оқимида амалга оширилади.

7.19-расмда марказдан қочма ажраткич схемаси кўрсатилган. Бундай ажраткичлар тегирмондан чиқадиған ҳаво оқимиға уланади. Йирик заррачалар марказдан қочма куч таъсирида ҳалқа (айланма) оралик ва конус деворларига урилиб ажратилади. Йиғилган йирик заррачалар конус деворидан сирпаниб-думалаб қурилманинг пастки қисмидан ажратибли олинади. Ажралмаган майда заррачалар ҳаво оқими билан бирга-

ликда циклонга чиқиб кетади.

7.6. Қаттиқ материалларни майдалашнинг махсус усуллари

Охирги вақтда қаттиқ материалларни портлатиш, термик ва электротермик, ҳамда термомеханик майдалаш ва янчиш усуллари устида кенг миқёсда тадқиқот ишлари олиб борилмоқда ва саноат технологияларига тадбиқ этилмоқда.

Гидравлик портлатиш усулида қаттиқ жисмларни майдалашнинг моҳияти шундаки, парчалаш жараёнида материал ва портловчи моддаларни сув ичида портлатиш йўли билан амалга оширилади. Бунда, портлаш моддаларини кенгайтириш пайтида ҳосил бўладиган жуда юқори босим, материалга таъсир этади. Ундан ташқари, суяқлик ичида портлаш натижасида

тарқаладиган зарба тўлқини ҳам материал парчаланишига қўшимча хисса қўшади.

Электрогидравлик майдалаш усулида материални парчаловчи зарба тўлқини электр разряди ёрдамида ҳосил қилинади.

Термик усулларда тозалаш, қаттиқ материал бўлақларини маҳаллий қиздириш ҳисобига амалга оширилади. Бунда, қиздириш жойи иссиқлик “по-наси” вазифасини бажаради. Иссиқлик манбалари сифатида электр разряди, экзотермик ёниш реакцияси иссиқликлари, юқори температурали газ, юқори температурали плазма оқимчалари, лазер нури ва ҳоказо.

Электротермик усулда парчалашнинг моҳияти шундаки, қаттиқ материал бевосита электроэнергия ёрдамида нотекис қиздирилади. Натижада, ҳосил бўлган ички кучланишлар таъсирида қаттиқ материал парчаланиши содир бўлади.

Термомеханик усулда майдалаш жараёнида материални қиздириш дастлабки жараён бўлиб фақат унинг мустаҳкамлигини камайтириш учун қўлланилади. Яқунловчи жараён майдалаш эса юқорида кўриб чиқилган бирорта механик усулда бажарилади. Баъзи ҳолларда материал қиздирилгандан сўнг кескин равишда совутилади.

ТошКТИ «Технологик жараёнлари ва қурилмалари» кафедрасида гўштни ноанъанавий «портлатиш» усулида пишириш жараёни яратилди.

Бу усулнинг моҳияти шундаки, гўшт маҳсулоти солинган герметик идиш ичида сув буғининг ортиқча босими ҳосил қилинади. Қурилмада ҳосил қилинадиган ортиқча босимнинг миқдори қайта ишланаётган маҳсулот турига боғлиқ. Одатда, цилиндрик шаклдаги қурилма ичида сув буғининг босими керакли қийматда ўрнатилади. Қайта ишланаётган маҳсулотга маълум вақт ичида ишлов берилади. Сўнг, идишдаги ортиқча босим 0,001-0,3 с вақт ичида, кескин равишда атмосферага чиқариб юборилади, яъни атроф муҳит босими билан тенглаштирилади. Натижада босимлар фарқи остида, маҳсулот таркибидаги намлик ўта қизиган ҳолатдан қисқа онда буғ агрегат ҳолатига ўтади ва материал ичидан ташқарига қараб жуда катта тезликда ҳаракат қилади. Шу пайтда, маҳсулот ичидан ташқарига йўналган сув буғининг кучи пишган гўшт маҳсулотининг яхлитлигини бузади ва уни бўйлама толаларга парчалайди.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, парчаланган гўшт толалари тайёр ҳолатда, яъни пишган булади. Лекин, шундай технологик режимлар танлаш мумкинки, «портлатиш» усулида гўшт ушбу усулда қайта ишланганда пишиб чиқади, аммо яхлитлиги, бир бутунлиги сақланиб қолади. Ундан ташқари, ушбу усулда таркибида ёғ бор материаллар (пахта чигити, писта, масхар, мевалар данаги, полиз маҳсулотларнинг уруғлари) ва деформацияланувчи материаллар (сабзи, картошка ва бошқалар)ни чақиш ва тозалаш мумкин. Тажрибалар шунини кўрсатдики, данак ва уруғларни «портлатиш» усулида чақиш, бутун мағиз ва майдаланмаган қобиқ олиш имконини берди. Худи шундай, картошка ва сабзини бу усулда артиш юқори самара берди. Жараён афзалликлари: хомашёнинг йўқотилиши минимал миқдорда ва маҳсулот яхлитлиги бузулмайди.

Бу турдаги қурилманинг тузилиши содда, ихчам, ф.и.к юқори, капитал ва эксплуатацион сарфлар кам. Камчилиги шундан иборатки, ишлатиб бўлинган бугдан қайта фойдаланиш имкони йўқ. Ҳозирги кунда ушбу муаммо устида жадал изланишлар олиб борилмоқда.

8.1. Умумий тушунчалар

Қаттиқ материалларни сувсизлантириш, брикетлаш, ҳамда пластик материалларни грануллаш ва шакллантириш учун кимёвий, озиқ-овқат, фармацевтика ва бошқа саноатларда пресслаш каби жараён қўлланилади.

Пресслаш жараёнининг моҳияти шундаки, махсус прессларда ташқи кучлар таъсирида қайта ишланаётган материалнинг шакли ва гранулометрик таркиби ўзгартирилади.

Турли хом-ашё ва материалларни сувсизлантириш, брикетлаш, шакллаш ва штамплаш учун ортиқча босим таъсирида ишлов берилади.

Босим остида сувсизлантириш кимё ва озиқ-овқат саноатларининг турли соҳаларида ишлатилади: қанд лавлаги турпидан сувни, шакар қамишдан шарбатини, чигит, кунтабоқар ва бошқа уруғ ва данаклардан ёғини, мева ва меварезаворлардан шарбатини ажратиб олишда кенг қўлланилади.

Брикетлаш жараёни брикетлар, яъни цилиндрик ва тўртбурчак шаклдаги прессланган бўлақлар олиш учун қўлланилади. Ушбу жараён турли саноатларда жуда кенг тарқалган: масалан, шакар ишлаб чиқариш саноатида қанд-рафинат, қанд лавлаги турпи, озиқ-овқат концентратлари ва доривор брикетларини олишда, кондитер ва омухта емлар, ҳамда чиқиндиларни қайта ишлаш саноатлари ва бошқаларда брикетлаш кенг ишлатилади.

Брикетлаш жараёнининг турлари кўп бўлиб, энг асосийлари грануллаш ва таблеткалаш. Маълумки, таблетка ва гранулалар ўлчамлари брикетникига қараганда анча кичик бўлади. Ҳалқ ҳўжалигида минерал ўғит, пластмасса, ем, чой, озиқ-овқат концентратлари, синтетик ювиш воситалари ва бошқа маҳсулотлар гранула ҳолида ишлаб чиқарилади.

Шакллантириш - пластик материалларни қайта ишлашнинг асосий усулидир. Бу жараён: нон ёпиш, макарон, ем, пластмасса ишлаб чиқариш саноатларида кўп қўлланилади. Материалларга турли шакл беришда экструзия жараёни ҳам кенг ишлатилади.

8.2. Сувсизлантириш ва брикетлаш

Маҳсулот таркибидаги суюқлик қимматбаҳо ёки уни сувсизлантириш натижасида маҳсулотнинг қадрлиги ортса, бундай ҳолларда маҳсулотлардан суюқлик ажратиб олиш учун сувсизлантириш жараёни қўлланилади.

Одатда бу жараён ортиқча босим остида амалга оширилади. Материалга ортиқча босим асосан икки хил усулда: прессларда поршень босими ёки центрифуталарда марказдан қочма куч таъсири орқали берилиши мумкин.

Маҳсулот сифатини ошириш, нобудгарчиликни камайтириш, узоқ муддат давомида фойдаланиш, транспортда ташилишини яхшилаш мақсадида брикетлаш, таблеткалаш ва грануллаш жараёнлари қўлланилади.

Масалан, қанд лавлаги жоми пресс машиналарда 9...10% намликгача прессланади. Натижада, диаметри 11-20 мм ли ёки кўндаланг кесими тўртбурчак баландлиги 20...40 мм ли брикетлар ҳосил қилиш мумкин. Прессланган жом зичлиги ~750 кг/м³.

Сувни сиқиб чиқариш даражаси пресслаш босимига боғлиқ. Лекин, сувни сиқиб чиқариш даражасини ортиши пресс иш унумдорлигини пасайишига ва солиштирма энергия сарфини кўпайишига олиб келади.

Брикетлаш жараёни ҳар доим махсус прессларда амалга оширилади. Олинган брикет ўз-ўзидан уқаланиб ёки парчаланиб кетмайдиган зичликгача прессланади. Брикетлар прессдан чиқиши билан совутилади ёки қуригилади.

Брикетлаш жараёнининг асосий характеристикаси бу пресслаш босимининг ортиши ва прессланаётган модданинг зичланиш коэффициентлари ўртасидаги боғлиқликдир:

$$\frac{\beta}{\beta_0} = \frac{V}{V_1} = \frac{h}{h_1} \quad (8.1)$$

бу ерда β, β_0 - охириги ва бошланғич зичланиш коэффициентлари; V, V_1 - маҳсулотнинг пресслашдан аввалги ва кейинги ҳажмлари; h, h_1 - брикетнинг бошланғич ва охириги баландликлари.

Пресслаш босими маҳсулотни зичлаш босими ва уни пресс-қолипга ишқаланиш кучини енгил босимлари йиғиндисига тенгдир.

Агар, пресс-қолипга ишқаланиш кучларини инобатга олмасак ва маҳсулот бир жинсли система деб қабул қилсак, унда пресслаш жараёнини ифодалаш учун проф. С.М. Гребенюк формуласидан фойдаланса бўлади:

$$\psi \ln \frac{p}{p_0} = \beta - \beta_0 \quad (8.2)$$

Пресс-қолип тубидаги солиштирма босим:

$$p_h = p \cdot \exp\left(\frac{\xi f \Pi z}{F}\right) \quad (8.3)$$

бу ерда h - брикет баландлиги; z - матрица (ўйма қолип)даги брикет ва пуансон орасидаги масофа; Π - брикет периметри; f - материалнинг матрица деворига ишқаланиш

коэффициенти; F - кўндаланг кесим юзаси; $\xi = \frac{p_{xz}}{p_z}$ - ён томондаги солиштирма

босимнинг вертикал томондаги солиштирма босимга нисбати.

Ўзгармас кўндаланг кесимли брикетнинг ўртача зичлиги қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\rho = \frac{\rho - \rho_x \cdot \psi \cdot \ln \frac{p}{p_0}}{1 - \frac{\psi \xi f \Pi G_k}{2F\rho_k}} \quad (8.4)$$

бу ерда G_k - брикетдаги қаттиқ фаза массаси.

Бир томонлама пресслаш жараёнида ҳосил бўлган брикетнинг зичлиги унинг баландлиги бўйича бир текисда бўлмайди. Бунга сабаб, материалнинг матрица деворига ишқаланишидир. Шунинг учун, юқори сифатли, баландлиги бўйича зичлиги бир хил брикетлар икки томонлама пресслаш натижасида ҳосил бўлади.

8.3. Шакллантириш

Пресслаш ва грануллаш жараёнини ўтказишдан мақсад босим, температура, намлик ва қўзғалиш кучланишларини комплекс таъсирида тайёр ва қисман ярим тайёр маҳсулотларни олишдир.

Ушбу жараёнлар экструдерларда ўтказилади. Экструзия жараёнининг афзаллиги шундаки, унда аралаштириш, дисперслаш, бир жинсли қилиш, совитиш, шакллантириш ва қуритиш каби жараёнларни бир вақтда олиб бориш мумкин. Ундан ташқари, экструзия жараёни қайта ишланаётган материалнинг таркибини ва хоссаларини зарур йўналишда ўзгартириш, жараённи узлуксиз ташкил этиш, материалга узлуксиз равишда ароматик бирикма, бўёқ, пластификатор ва таъм берадиган моддаларни бетўхтов узатиш имкониятини беради. Экструзия жараёни пластмасса, резина, ҳамир каби материаларни, ҳамда макарон, кондитер маҳсулотлари, омухта ем, болалар овқати, грануланган емлар ишлаб чиқаришда қўлланилади. Экструзия усулида олинган тайёр маҳсулот ёки қисман тайёр маҳсулот **экструдат** деб аталади. Экструдатнинг шакли унга ўрнатилган матрица тешиклари шакли билан белгиланади.

Иссиқ, совуқ ёки қайнаш экструзия усуллари бор.

Пластик хом-ашё ва материалларни матрица орқали эзиб ўтказгандаги механик шакллантириш-совуқ экструзия усулида амалга оширилади.

Намлиги 20...40% ва таркибида крахмал бор материалларни қисман клейстеризация қилиш учун иссиқ экструзия усулидан фойдаланилади. Олинган маҳсулот албатта қовурилади ёки пиширилади.

Қайнаш экструзияси жараёнида қайта ишланаётган материалда қайтмас биофизик ўзгаришлар (биринчи галда оқсил, крахмал ва шакар) содир бўлади. Одатда, ҳосил бўлган экструдат қуритилади ёки қовурилади ва зарур модда билан қопланади.

8.4. Маҳсулотларни пресслаш ускуналари

Киме, озиқ-овқат ва бошқа саноатларда турли хил конструкцияли пресслар ишлатилади. Уларни 2 та гуруҳга ажратса бўлади: гидравлик ва механик пресслар.

Гидравлик пресс-гидравлика қонунларига биноан ишлайди. Пресснинг асосий қисми цилиндрлик бўлиб, унинг ичида қўзғалмас плита билан боғланган плунжер ҳаракат қилади. Плунжернинг ҳаракати юқори босимли суюқлик таъсирида амалга ошади.

Прессланаётган материал қўзғалмас ва ҳаракатчан плиталар орасида бўлади. Материалда, плунжер ёки поршень ёрдамида ҳосил қилинган босим кучи, унинг юзасиги тўғри пропорционал:

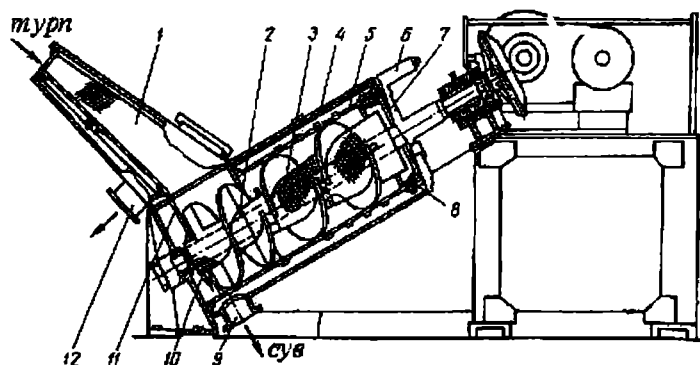
$$P = p \cdot F \quad (8.5)$$

бу ерда p - гидравлик системадаги босим, Н/м²; F - поршень ёки плунжер юзаси, м².

Қия шнекли пресс лавлаги турпини сиқиб, шарбат олиш учун мўлжалланган (8.1-расм). Лавлаги турпи сепаратор 1 га юкланади ва у ерда ундан қисман сув чиқарилади, сўнг эса прессда сувнинг асосий қисми сиқиб олинади.

Бу сувнинг бир қисми цилиндрлик элак 5 дан ўтиб штуцер 9 орқали, иккинчи қисми эса - элак 3 дан шнекнинг ғовак ўқига тушади ва тешик 10 ва штуцер 9 орқали тўкилади. Лавлаги турпи конуссимон элак 8 ва сиқувчи шнек

4 лар орасидаги ҳалқасимон тешикдан тушади. Ушбу ҳалқасимон тешик ўлчами турпнинг қурилмада қайта ишланиш вақти ва сиқиш даражасини белгилайди. Ушбу параметрларни ростлаш мослама 6 ёрдамида амалга оширилади.



8.1-расм. Қия шнекли пресс.

1-сепаратор; 2-шнек ўқи; 3-элак; 4-сиқувчи шнек; 5-цилиндрик элак; 6-ростловчи мослама; 7-турпни тўкиш штуцери; 8-конуссимон элак; 9-штуцер; 10-сувни чиқариш штуцери; 11-қўшимча филътрлаш юзаси; 12-сувни тўкиш штуцери.

Горизонтал ва қия пресслар бир-бирига ўхшаш бўлади. Лекин, горизонтал прессларда сиқиб бўлинган турп билан шарбат аралашishi содир бўлади.

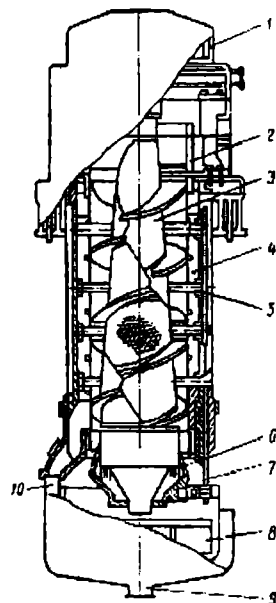
Вертикал шнекли пресснинг асосий қисми бу махсус траверсага ўрнатилган ичи бўш вертикал шнекдир (8.2-расм). Шнек билан материал бирга айланмаслиги учун шнек қобиғида махсус парраклар ўрнатилади. Ушбу парраклар қурилма қобиғининг қарама-қарши икки томонида ўрнатилади. Бу эса, қайта ишланаётган материални шнек билан бирга айланишга қаршилиқ қилади. Махсус парракларда тешиклар бўлиб, улардан труба қувурлари орқали келаётган буг ўтади.

Пресснинг тепа қисмида юкловчи штуцер 2 жойлашган бўлса, пастки қисмида эса - конуссимон тешикли ажравчан цилиндрик элак 4 ўрнатилган.

Нам лавлаги турпи юкловчи штуцер 2 орқали пресслашга туширилади ва шнекнинг юқори қисмидаги парраклар ёрдамида кўндаланг кесими кичик зонага, пастга қараб йўналтирилади. Худди шу зонада сиқиш жараёни содир бўлади, яъни материалдаги сув сиқиб олинади.

Сувнинг бир қисми цилиндрик элакнинг тешиклари, бошқа қисми эса ичи бўш шнек орқали оқиб чиқади ва канал 10, штуцер 9 лардан тўкилади.

Цилиндрик элакнинг пастки қисмида ҳаракатчан конуссимон элак жойлаштирилган бўлиб, у болт 7 ёрдамида



8.2-расм. Вертикал шнекли пресс.

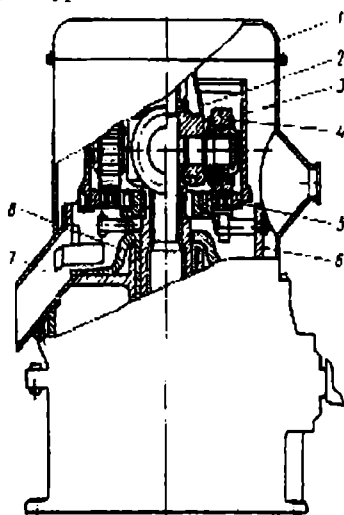
1-шестерня; 2-юкловчи штуцер; 3-шнек; 4-ажравчан элак; 5-махсус паррак; 6-конуссимон элак; 7-болт; 8-қирғич; 9-штуцер; 10-канал.

тепага қўтарилиши ва пастга туширилиши мумкин. Бу икки элак орасидаги тирқишнинг ўлчами маҳсулотни сиқиш даражасини белгилайди.

Ротацион пресслар куруқ турпни брикетлаш учун қўлланилади. Ушбу прессларнинг текис, ясси ёки цилиндрик матрицаси бўлади.

Пресслаш жараёнида бу турдаги прессларда жуда катта инерцион кучлар ҳосил бўлади. Шунинг учун бу қурилмалар катта, оғир пойдеворга ўрнатилади.

Ясси матрицали горизонтал ротацион пресснинг конструкцияси 8.3-расмда кўрсатилган.



8.3-расм. Ротацион пресс.

1-қобик; 2-материал тақсимлагич; 3-бункер; 4-прессловчи жува; 5-матрица; 6-гранулани кесиш мосламаси; 7-тўқиш нови; 8-паррак.

Пресснинг асосий қисми бу прессловчи бўлак бўлиб, матрица 5 ва прессловчи жува 4, гранула кесиш мосламаси 6 ва ичи бўш ўқлардан таркиб топган. Матрица 5 ичи бўш ўқта ўрнатиш ва у билан бирга айланади. Конуссимон тақсимлагич 2 куруқ материални жува 4 остига йўналтириш учун мўлжалланган.

Матрицадан чиқаётган прессланган материал пичоқ билан кесилади ва паррак ёрдамида тўқиш новига йўналтирилади. Матрица ва пичоқ орасидаги тирқиш 0,5 мм дан ортмаслиги керак. Лекин, пичоқ матрицанинг ишчи энини ёпиб туриши ва пичоқ тиғи матрицанинг остки юзасига параллел бўлиши зарур. Горизонтал текисликка нисбатан пичоқнинг қиялик бурчаги 30° бўлади.

Брикетни кесиш учун 4 та пичоқ ўрнатилади. Агар, йирик ўлчамдаги брикетлар олиниши зарур бўлса, пичоқлар сони камайтирилади.

Дискли пресс қанд-рафинатни ишлаб чиқаришда қўлланилади ва у қуйидаги асосий қисмлардан иборат: рафинат бўтқасини қабул қилиш қутчаси; пуансон ва матрицали дисклар; рафинат бўлакларини пресслаш учун таянч; стол юзасини ишқалаб ортиш механизми; прессланган рафинат бўлакларни қўтариш механизми; станина, узатма ва дискларни айлантириш механизми.

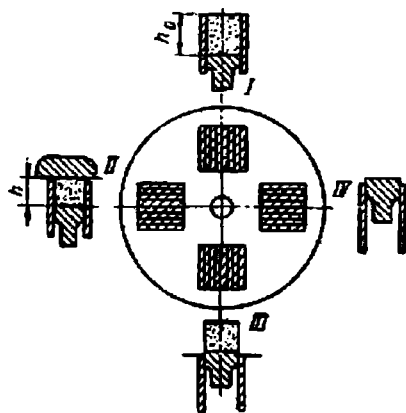
Пресс столи горизонтал текисликда соат миллига қарши йўналишда айланма ҳаракат қилади (8.4-расм).

Ушбу стол битта айланишида тўрт маротаба тўхтайди ва кетма-кет қуйидаги жараёнлар бажарилади:

I матрицани рафинат бўтқаси билан тўлдириш;

II пуансон юқорига ҳаракат қилганда шакллантириш;

III матрицадан қанд бўлакларини пуансон ёрдамида суриб чиқариш;



8.4-расм. Дискли пресснинг ишлаш схемаси.

IV пуансонни қанд қолдиқларидан тозалаш ва мастика билан ишқалаш.

Одатда пресс матрицалари қутичалар шаклида латунь материалдан тайёрланади ва диск тешикларига жойлаштирилади.

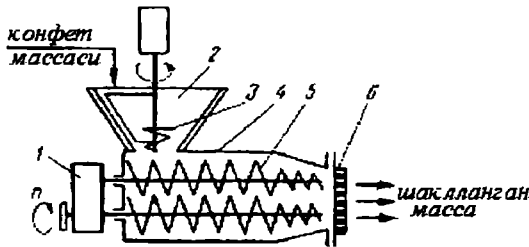
Таблетка қилиш машиналаридан энг кенг қўлланиладиган тури сифатида ротацион қурилмани таъкидлаш мумкин.

Ротацион таблетка қилиш машиналари 2 синфга бўлинади. Биринчи синфга оид машиналарда пуансон копра устида думалаб ҳаракатланади, иккинчисида эса - сирпанади.

Ротацион таблетка қилиш машиналарининг иш унумдорлиги ушбу формуладан топилади:

$$Q = 60 \left(\frac{P}{p} \right) h \cdot \rho \cdot N \cdot m \cdot k n \quad (8.6)$$

бу ерда P -пресслаш кучланиши, Н; p -пресслаш босими, МПа; h -матрицадаги материалнинг пресслашгача бўлган баландлиги, м; ρ - материал зичлиги, кг/м³; N -ротордаги матрицалар сони; m матрицадаги уялар сони; k кўп позициялик коэффициенти ($k=1,2,3,4$); n - ротор айланиш частотаси, мин⁻¹.



8.5-расм. Икки шнекли шакллантириш пресси.

1-узатма; 2-юкловчи штуцер;
3-қадокловчи шнек; 4-пресс қо-
биғи; 5-шнек; 6-фильера.

Икки шнекли шакллантириш пресси кимё ва озиқ-овқат саноатларида кенг қўламда ишлатилади (8.5-расм).

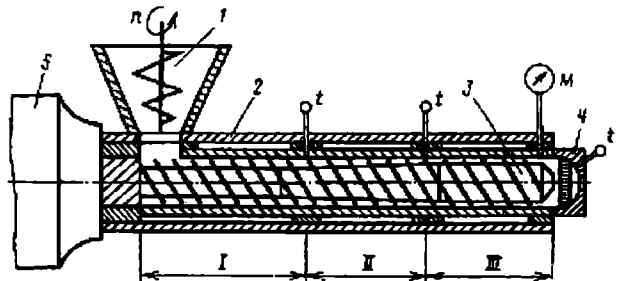
Пресс ёрдамида маҳсулотга босим берилади ва у фильера орқали сиқиб чиқарилади.

Фильера бу тешиклари бор ясси металл диск бўлиб, унинг тешикларидан юқори босимда қайта ишланаётган маҳсулот сиқиб чиқарилади. Ушбу тешикларнинг шакли тайёр маҳсулот ташқи кўринишини белги-

лайди. Фильерадан чиқиш пайтида маҳсулот бовлиқи эксцентрик ўрнатилган пичоқлар билан гранула қилиб кесилади.

Шнек ҳосил қиладиган босим фильера тешикларининг гидравлик қаршилигига боғлиқ. Ўз навбатида гидравлик қаршилиқ маҳсулот консистенцияси, тешиклар шакли ва ўлчамига боғлиқдир.

Бир шнекли экструдер 8.6-расмда кўрсатилган бўлиб, юкловчи штуцер 1, қобиқ 2, шнек 3, матрица 4 ва бошқариш системали узатма 5 лардан таркиб топган. Шнек диаметри 50...250 мм, узунлиги эса - 1 дан 20 та диаметрча. Шнек ўраи шаклининг кўндаланг кесими тўғри бурчакли ёки трапецидал бўлиши мумкин.



8.6-расм. Бир шнекли экструдер.

1-юкловчи штуцер; 2-қобиқ; 3-шнек;
4-фильера; 5-узатма; t-термопаралар;
M-босим датчики.

8.6-расмдаги I зона материалнинг нам ҳолатини, II-қайишқоқ ҳолатини ва III-зона аморф, оқувчан массани ифодалайди.

Экструдер ишлаш кўрсаткичи бу унинг самарадорлиги, яъни иш унумдорлигининг истеъмоли қилаётган қувватга нисбати билан аниқланади. Истеъмоли қуввати экструдер узатмасининг турига боғлиқ. Агар, электр токининг кучланиши U ва кучи I маълум бўлса, $N=UI$ формуладан экструдер қуввати аниқланади.

8.5. Грануллаш усуллари ва гранулятор конструкциялари

Сочилувчан материалларнинг физик-механик хоссалари, таркиби, шакли ва маълум ўлчамли материалларни олишга йўналтирилган физик-механик ва физик-кимёвий жараёнлар йиғиндисига **грануллаш** жараёни деб аталади. Табиатда грануллаш жараёни турли муҳитларда мавжуд: ер остида вулқон отилиб чиқиши, ер устида муз ва тупроқ силтжишида, шағал ва атмосферада дўл ҳосил бўлишлардир.

Инсоният қадим замонлардан ерга ишлов беришда, яъни унинг унумдорлигини ошириш учун унга юмалоқ-юмалоқ таркиб ёки қурилишда минерал хом-ашёни шакллантиришда грануллаш жараёнидан фойдаланиб келган.

Бу жараён натижасида физик-механик хоссалари яхшиланган гранулалар олиш мумкин. Чунончи, грануланган маҳсулотларнинг ташқи кўриниши яхши, сочилувчан ва зичлиги юқори бўлган ҳолда мустаҳкам таркибга эга. Ундан ташқари, уларнинг ўлчамлари бир хил, юклаш ва узок масофага узатиш пайтида чангимаиди.

Грануллаш жараёни қуйидаги технологик босқичлардан иборат:

хом-ашёни қайта ишлаганга тайёрлаш компонентларни қадоқлаш ва аралаштириш;

гранула ҳосил қилиш (агломерация, кристаллаш, зичлаш ва Ҳ.);

гранула таркибини мўтадиллаш (қуриштириш, совитиш, полимеризация усулларида заррачалар орасидаги боғларни мустаҳкамлаш);

классификациялаш, йирик фракцияларни парчалаш (янчиш);

Ҳозирги кунда, саноатда қўлланиладиган ва маълум грануллаш усуллари қуйидагилардир:

1) қаттиқ моддаларни юмалатиб грануллаш; 2) эритмани пуркаш ва грануляция минораларда совитиш; 3) қуруқ кукунларни пресслаш; 4) эритмани мавҳум қайнаш қатламида пуркаш; 5) турбопарракли қурилмада тезкор грануллаш; 6) тангасимон пластиналар ҳосил қилиш (эритмани бошқа юзаларда совитиш йўли билан); 7) экструзия.

Қаттиқ моддаларни юмалатиб грануллаш барабанли ёки тарелкали қурилмаларда олиб борилади. Грануллаш албатта суюқлик иштирокида олиб борилади. Суюқлик қаттиқ фаза билан бирга ёки эритма сифатида қурилмага юборилади.

Гранула ҳосил бўлиш ва унинг диаметри ўсишига, қаттиқ ва суюқ фазалар орасидаги нисбат катта таъсир кўрсатади.

Бу грануллаш жараёни 4 босқичдан иборат:

- боғловчи ва ретурни аралаштириш;

- майда заррачалар ва майдаланган бўлаклардан гранула ҳосил қилиш;

- юмалатиш ва зичлаш;

- мўтадиллаш (стабилизация).

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, жараённинг ҳар бир босқичида ўлчам бўйича заррачаларнинг тақсимланиши ўзгариб боради.

Кукун ва ретурни аралаштириш пайтида боғловчи модда сифатида турли хил суюқликлар ишлатилади, чунончи, сув, маҳсулот эритмаси, бирорта компонентнинг эритмаси (плав) ва бошқалар. Суюқлик ва материалларнинг ўзаро таъсир схемаси қуйидагича:

агарда фракцияда майда заррачалар улуши кўп бўлса, улар орасидаги масофа бўш қолиб кетади. Шунинг учун, заррачалар орасидаги тортишиш кучи кичик бўлади ва гранула мустақамлиги паст бўлишига олиб келади;

агарда фракцияда майда заррачалар улуши кўпайса, гранула зичлиги ортади ва уларнинг мустақамлиги ортади.

Лекин, шуни алоҳида таъкидлаш керакки, йирик заррачаларнинг гранула ҳосил қилишда ижобий роли ҳам бор, чунки улар бўлажак грануланинг скелети бўлиб хизмат қилади. Бунда, майда заррачалар катта заррачалар орасидаги бўшлиқни тўлдиради ва натижада улар орасидаги масофа камаяди. Фақат нам аралашма таркибидаги йирик ва майда заррачаларнинг маълум бир оптимал қийматларидагина зичлиги юқори ва катта тортишиш кучига эга гранулалар ҳосил қилиш мумкин.

Юмалатиб грануллаш босқичи бунда заррачаларнинг нисбатан кўзгалмас қатламга кўп марта урилиши натижасида гранулалар ҳосил қилиш ва уларни зичлаш мумкин.

Грануланинг зичланиши кўп марта урилишлар ва юқоридан пастга қараб тўкилишлари оқибатида рўй беради. Натижада материал таркибидаги ортиқча намлик сиқиб чиқарилади. Бунинг оқибатида қуруқ материаллардан ҳосил бўлган гранула ёпишишига идеал шароит яратилади. Заррачаларнинг бири-бирига яқинлашиши билан, сув қатламининг қалинлиги тобора камайиб боради, лекин гранулаларнинг тортишиш кучи эса, ортиб боради. Ҳосил бўлаётган гранулага янги заррачаларнинг ёпишиш механизмининг асосий шарти шундаким, бу ҳодиса фақат гранула ва заррача ўлчамларининг маълум бир нисбатида рўй беради.

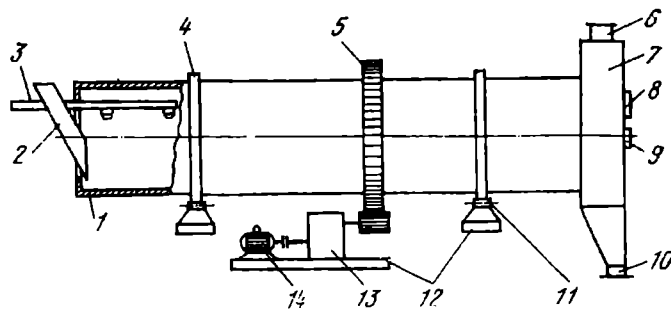
Гранула таркибининг зичланиши ҳар томонидан кўп урилишлар натижасида аста-секин борадиган жараёндир.

Гранула таркибини мўтадиллаш босқичи. Тайёр маҳсулот олиш учун грануланинг мустақамлигини ошириш зарур. Бунинг учун гранула таркибидаги намлик йўқотилади ёки қаттиқ агрегат ҳолатига ўтказилади. Лекин, гранула таркибидаги намликни йўқотишнинг энг кенг тарқалган усули - бу қуриштиришдир. Гранула намсизлантирилганда қаттиқ фаза кристалланади. Баъзи ҳолларда бу жараён гранула парчаланишига олиб келади, шунинг учун ҳар доим ҳам гранулалар таркибига жуда юқори талаб қўйиб бўлмайди.

8.7 ва 8.8 расмларда юмалатиб грануллаш қурилмаларининг схематик тасвирлари келтирилган.

Барабанли гранулятор одатда уфқга нисбатан $1...30^\circ$ оғиш бурчагида ўрнатилади. 8.7-расмда барабанли гранулятор-қуришкуч қурилмаси кўрсатилган. Бу қурилма эритмаларни грануллаш ва қуриштириш, ҳамда конструкциясига қараб, ҳосил қилинган маҳсулотни классификациялаш ва совитиш учун қўлланилади.

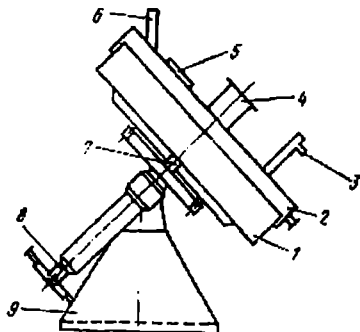
Цилиндрик обечайка 1 нинг ташқарисига бандаж 4 ва тожли шестерня 5 лар ўрнатилади. Электр юриткич 14 дан айланма ҳаракат редуктор 13 ёрдамида 5 га узатилади ва натижада цилиндрик обечайка 1 материал билан бирга айланади. Барабаннинг бир четида юкловчи, иккинчи четида тўқувчи камералар жойланган бўлиб, улар грануляторнинг ишчи ҳажмини зичлаш функциясини ҳам бажарадилар. Юкловчи тарнов 2 орқали шихта ёки қуруқ кукун юкланади. Агар қурилмага қуруқ кукун берилса, унда қатлам устига боғловчи тақсимлагич 3 дан керакли миқдорда суюқ фаза юборилади.



8.7-рasm. Барабанли гранулятор.

1-обечайка; 2-кукунни юклаш тарнови; 3-боғловчи тақсимлагич; 4-бандаж; 5-тишли шестерня; 6-буғларни сўриб олиш патрубкasi; 7-тўкиш камерasi; 8-ёритиш учун дарча; 9-кўриш ойнаси; 10-гранулани тўкиш патрубкasi; 11-таянч филдиракча; 12-бетон пойдевор; 13-редуктор; 14-электр юриткич.

Ушбу грануляторнинг асосий қисми ўз ўқи атрофида айланувчи тарелка 1 бўлади. Махсус механизм 8 ёрдамида унинг қиялик бурчагини ҳам ўзгартириш мумкин. Боғловчи моддани узатиш учун тарелка 1 устида пуркагич 3 ўрнатилади. Грануллаш пайтида тарелкага ёпишиб қолган массани тозалаш учун махсус қирғич ўрнатилади.



8.8-рasm. Тарелкали гранулятор.

1-айланувчи тарелка; 2-зичловчи қобик; 3-суюқлик узатувчи пуркагич; 4-буғларни сўриб олиш патрубкasi; 5-кўриш ойнаси; 6-кукун юклаш патрубкasi; 7-ўқ; 8-тарелка қиялик бурчагини ўзгартирувчи механизм; 9-таянч.

Бу турдаги қурилмалар таҳлили шуни кўрсатадики, бу қурилмада юқори сифатли маҳсулот олиш билан бирга, жуда кўп иссиқлик ва масса алмашинишга эришса бўлади. Олинган маҳсулотнинг гранулометриқ таркиби 80-90% товар фракциясини ташкил этади. Ундан ташқари, жараёни автоматлаштириш қийин эмас.

Камчиликлари: ўлчами катта, кўпол; металл кўп сарфланади; суюқликни пуркаш учун кўп энергия сарф бўлади; маҳсулот қурилма деворларига ёпишиши мумкин;

Бу усулда ишлайдиган қурилмаларни оптималлашдан мақсад, керакли гранулометриқ таркибдаги маҳсулот олиш ва максимал иш унумдорликка эришишдан иборатдир.

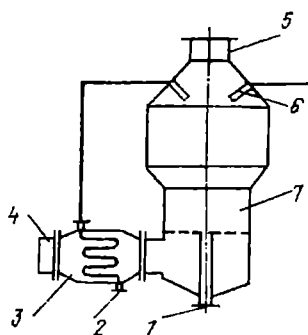
Мавҳум қайнаш қатламида грануллаш учун турли конструкцияли грануляторлар ишлатилади. Одатда бундай гранулятор қобиғи шаклига қараб цилиндрик (8.9б-рasm), 30...60° конуслик бурчаги кичик бўлган (20° гача) (8.10-рasm) ва конуслиги катта (8.11-рasm), конуссимон, цилиндрик-конуссимон, тўғри бурчакли (8.12-рasm) ва квадрат кўндаланг кесимли (8.13-рasm) бўлади. Қурилманинг шакли унинг гидродинамикасини белгилайди.

Конуслик бурчаги 20° гача бўлган қурилмаларда ҳамма кўндаланг кесимларида бир текисда мавҳум қайнаш содир бўлади (8.9-рasm).

Агар, конуслик бурчаги катта бўлса, қурилма марказида сийраклашган ва девор атрофида эса заррачалар секин-секин тўпланиб қатлам зичланади, яъни фавворасимон мавҳум қайнаш жараёни содир бўлади (8.11-расм)

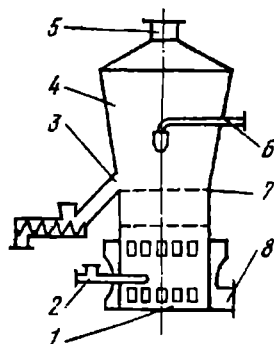
Цилиндр-конуссимон мавҳум қайнаш қатламли қурилмаларнинг цилиндр-рик қисмида қатламнинг заррачалари умуман бўлмайди (8.10-расм).

Иссиқлик элткичлар ўзаро кесишган йўналишда ҳаракат қилган ҳолатларда қаттиқ заррачаларни маълум бир йўналишда узатиш учун тўғри тўртбурчак шаклидаги қурилмалар ишлатилади. (8.12-расм)



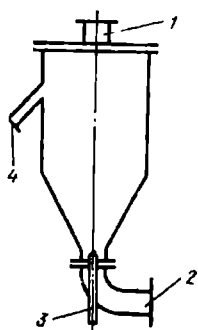
8.9-расм. Марказий тўкиш ва иситилган эритмани қатламга узатувчи цилиндрлик қурилма.

1-маҳсулотни тўкиш патрубкеси; 2-сууюқликни юклаш патрубкеси; 3 калорифер; 4-иссиқлик элткич кириш патрубкеси; 5 - ишлатиб бўлинган элткични чиқариш патрубкеси; 6- суюқлик пуркагич; 7-қурилма қобиғи.



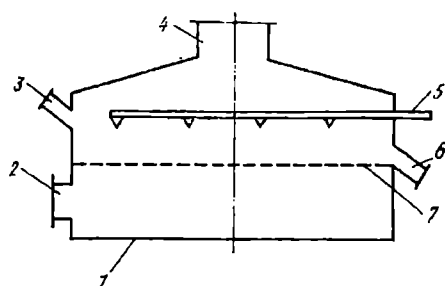
8.10-расм. Конуссимон қурилма.

1-ўтхона; 2-газ горелкаси; 3-грануляни тўкиш патрубкеси; 4-қобик; 5- ишлатиб бўлинган иссиқлик элткични чиқариш патрубкеси; 6-механик пуркагич; 7-газ тақсимловчи тўр парда; 8- иссиқлик элткич кириш патрубкеси.



8.11-расм. Фавворасимон қатламли конуссимон гранулятор.

1-иссиқлик элткични чиқариш патрубкеси; 2-иссиқлик элткични кириш патрубкеси; 3-сууюқлик пуркагич; 4-маҳсулотни тўкиш патрубкеси.



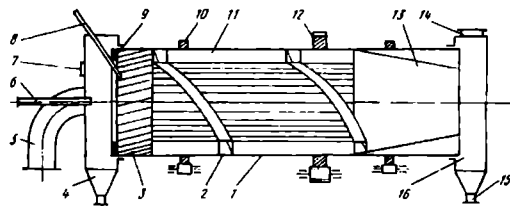
8.12-расм. Тўғри тўрт бурчак шаклидаги мавҳум қайнаш қатламли гранулятор.

1 - қобик; 2 - иссиқлик элткич кириш патрубкеси; 3 рецикл учун кириш патрубкеси; 4-ишлатиб бўлинган иссиқлик элткични чиқариш патрубкеси; 5-сууюқлик тақсимлагич; 6-маҳсулотни тўкиш патрубкеси; 7-газ тақсимлаш тешикли панжараси.

1-гранула тўкиш патруб-
каси; 2-тамба; 3-ҳаволи
конуссимон классифика-
тор; 4-ишлатиб бўлинган
иссиқлик элткични чи-
қариш патрубкаси; 5-
қобиқ; 6-суюқлик ва ре-
циклни узатиш бўлағи;
7-иссиқлик элткич ки-
риш патрубкаси.

Эритмаларни пуркаб грануллаш. Бу усулда грануллаш механизми қуйидагича: эритма, грануляцион минорада пуркагичлар ёрдамида майда томчилар ҳолатигача пуркалиб, пастга қараб йўналтирилади. Пастдан юқорига қараб эса, вентилятор ёрдамида берилаётган совуқ ҳаво ёрдамида томчилар совитилади, яъни ўз иссиқлигини ҳавога беради ва гранула шаклига келтирилади. Чунончи, томчи иссиқликни бериши билан гранула ҳосил бўла бошлайди ва томчининг ташқи юзаси кристалланиб, жараён охирида ички қатламлари ҳам кристалланади.

БГҚ ташқи кўринишидан барабанли грануляторга ўхшаса ҳам, лекин унда гранула ҳосил қилиш механизми тубдан фарқ қилади. Бунга сабаб, БГҚ нинг ичидаги қўшимча конструктив элементлар борлигидир.



1-барабан қобиги; 2-орқага йўналган шнек; 3-парракли насадка; 4-юкловчи камера; 5-куритувчи элткич кириш патрубкasi; 6-пульпа пуркагич; 7-кўриш дарчаси; 8-редикл кириш патрубкasi; 9-зичловчи ҳалқалар; 10-бандаж; 11-тоқчали насадка; 12-тожли шестерня; 13-конус-классификатор; 14-ишлатиб бўлинган элткични чиқариш патрубкasi; 15-гранула тўкиш патрубкasi; 16 тўкиш камера-си.

Шундай қилиб, кристалланиш жараёни томчининг ташқи юзасидан ичкарига қараб, йўналган бўлади.

Грануляцион минорада гранула ҳосил бўлиши нотурғун иссиқлик алмашилиш жараёнида ўтади. Лекин, иссиқлик манбаи, эритма томчисининг ичида бўлгани учун жараён янада мураккаблашади ва қийинлашади.

Бундай жараёнларни амалга оширувчи қурилмаларнинг муҳандислик ҳисоби шундан иборатки, грануляцион минора баландлиги ёки томчиларнинг тушиш вақти аниқланади. Албатта, бу вақт ичида ёки шу баландликни босиб ўтиш даврида, томчи кристалланиб улгуриши керак. Ундан ташқари, ҳосил бўлган гранула бир-бирига ёпишмаслиги ва пастга тушганда, шакли бузилмаслиги керак.

Маътумки, вақт ўтиши билан томчининг кристалланиши ортади. Шунинг учун, гранула олиш температураси шундай бўлиши керакки, бунда кристалларнинг суяқ эритмага нисбати, грануланинг таркибини, яхлитлигини бузмаслиги керак.

Одатда томчилардан гранула ҳосил қилиш, грануляцион минораларда ёки мавҳум қайнаш қатламида амалга оширилади.

Ушбу қурилмаларнинг асосий элементларидан бири пуркагичдир. Пуркагичлар конструкциясига қараб, марказдан қочма, статик ва вибрацион бўлади.

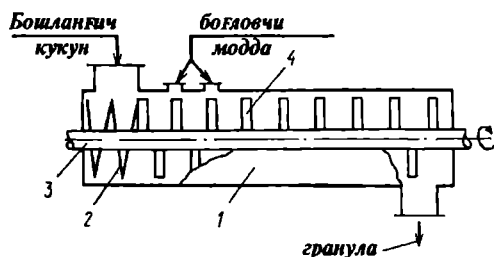
Агарда ушбу маҳсулотлар мавҳум қайнаш қатламида совутилса, селитра учун ёз фаслида грануляцион минора баландлиги $h = 30$ м ва диаметри $d = 10 \dots 20$ м бўлиши керак.

Карбамид учун ёз фаслида грануляцион минора баландлиги $h = 55 \dots 50$ м ва диаметри $d = 15 \dots 20$ м бўлиши зарур.

Нитроаммофоска грануляция қилиш учун, ёз фаслида, грануляцион минора баландлиги $h = 50 \dots 55$ м ва диаметри $d = 10 \dots 20$ м бўлиши керак.

Турбопарракли грануляторда грануллаш. Кукунсимон материалларни турбопарракли тезкор грануляторларда грануллаш механизми барабанли ёки тарелкали қурилмаларда материалларни юмалатиб грануллаш жараёнига ўхшашдир.

Тезкор грануляторларда гранула ҳосил бўлиши, аралаштирувчи парракларнинг материалга таъсири, яъни 170 с^{-1} частота билан айланаётган элементлар аралаштириши асосий сабабдир (8.15-расм).



8.15-расм. Турбопарракли тезкор гранулятор.

1-қобик; 2-шнек; 3-ротор ва-
ли; 4-ротор стерженлари.

Материални турбопарракларда қурилмада қайта ишлаш вақти бир неча секунддан 2...3 мин гача бўлади.

Бу турдаги қурилмаларда гранула ҳосил бўлиши бир неча босқичда боради, яъни жараён даврларининг алмашилиш кетмакетлиги қуйидагича: аралаштириш, агломерация, дезинтеграллаш, гранула ҳосил қилиш, гранулаларни зичлаш ва шарсимон шакл бериш.

Тезкор усулда грануллаш жараёнида кимёвий реакциялар самарадор ўтиши мумкин. Боғловчи модда вазифасини реакциянинг суяқ маҳсулотлари ўтайди.

Ундан ташқари, материални интенсив аралаштирилиши, унинг температурасини ортишига ва термопластификацияга олиб келиши мумкин. Термо-

пластификация ёки қаттиқ қатлам бир қисмининг суюқ ҳолатга фазавий ўтиши грануллаш жараёнини кам боғловчи билан ёки боғловчисиз ўтказиш имкониятини беради ва олинган гранулаларни қуритмаса ҳам бўлади. Бунга мисол қилиб, селитра ёки карбамид асосида мураккаб-аралашган минерал ўғитларни олиш жараёнини кўрсатиш мумкин.

Турбопарракли тезкор грануляторда қайта ишланаётган материал оқими ҳаракатининг таҳлили, бу жараённинг асосий параметрларини аниқлаш имконини беради.

Материал қатламини узатишнинг чизиқли тезлиги:

$$v_v = \frac{Q_0}{\pi \cdot \rho_{\text{тук}} \cdot \varphi \cdot R_k^2} \quad (8.7)$$

бу ерда Q_0 - грануллаётган аралашма сарфи; $\rho_{\text{тук}}$ - грануллаётган аралашма зичлиги; φ - гранулятор ишчи камерасини тўлдирилиш коэффициенти; R_k - ишчи камера радиуси.

Грануллаш жараёнида гранула босиб ўтган масофа узунлиги l :

$$l = \frac{L \cdot \pi \cdot \rho_{\text{тук}} \cdot \varphi \cdot \omega \cdot R_k^3}{Q_0} \quad (8.8)$$

бу ерда L - гранулятор ишчи камераси узунлиги; ω - гранулятор ўқининг айланиш частотаси.

Ҳосил қилинган грануланинг ўртача диаметри ушбу формуладан ҳисоблаб топилади:

$$d = d_0 \cdot \exp m \cdot (W - W_p) \quad (8.9)$$

бу ерда d_0 - гранула ҳосил бўлиш пайтидаги гранула диаметри; m - материал хоссалари ва Фруд критерийсига боғлиқ коэффициент; W - гранула ҳосил бўлиш пайтида аралашма таркибидаги боғловчи модда миқдори.

Боғловчи модда сарфи қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Q_{\text{бог}} = Q_0 \left(W_{\text{бог}} + \frac{1}{m \ln \frac{d}{d_0}} \right) \quad (8.10)$$

Турбопарракли тезкор грануляторда олинган гранулалар ўлчамлари логарифмик нормал тақсимланиш қонунига бўйсинади.

Ушбу дарслик муаллифлари томонидан турбопарракли тезкор грануляторда пахта чигити кунжарасини грануллаш бўйича ижобий натижалар олинган.

Қурилма хом-ашёни юклаш, майдалаш, грануллаш, гранулаларни зичлаш ва шакл бериш зоналаридан иборатдир.

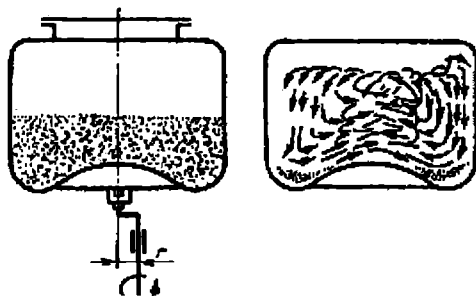
Кунжарани турбопарракли, тезкор грануляторда майдалаш даражаси ушбу формулада ҳисобланади:

$$i = 0,74 \cdot \omega^{0,2} \left(\frac{t}{d} \right)^{-0,35} \quad (8.11)$$

Пахта чигити кунжарасини турбопарракли қурилмада тезкор грануллаш натижасида олинган материал қатламининг гранулометрик таркибини ушбу формулада аниқлаш мумкин:

$$R = 11 \cdot V^{0.8} \cdot \tau_0^{0.03} \left(\frac{t}{d} \right)^{0.66} \cdot \left(\frac{U}{U_m} \right)^{0.3}$$

бу ерда V - айланма тезлиги, c^{-1} ; τ_0 - ўлчамсиз вақт; t/D - билалар жойлашиш қадами; U - намлик %; U_m - материал мувозанат намлиги, %.



8.16-расм. Дрожже яшаш грануляторида заррачаларнинг ҳаракат схемаси.

Дрожже яшаш гранулятори. Бу қурилманинг асосий қисми ботиқ эллиптик қобиқ бўлиб, у горизонтал текисликда мураккаб ҳаракат қилади (8.16-расм).

Эллиптик қобиқ ўз ўқи ва узатма ўқи атрофида айланади. Бундай мураккаб ҳаракат материалга спиралсимон-кўтарилма траектория беради. Натижада, ядро қобиқ билан қопланиб бошлайди ва вақт ўтиши билан унинг қалинлиги ортиб боради. Ядро сифатида майиз, ёнғоқ, резаворлар ва бошқалар қўлланилади. Қобиқ сифатида эса какао, кофе, қанд кукунлари ишлатилади.

8.6. Сочилувчан материални грануллашга мойиллигини баҳолаш

Маълумки, гранула ҳосил бўлиши билан унинг таркиби зичланиб боради. Шунинг учун, моддаларни гранулланишга мойиллик кўрсаткичи сифатида зичланишни ҳисоблаш мумкин. Демак, зичланишга мойиллик, бу моддаларнинг маълум босим остида зичланиш хусусиятидир:

$$\Gamma_1 = \frac{\partial(\rho/\rho_0)}{\partial P} \quad (8.12)$$

Ундан ташқари, моддаларнинг зичланишга мойиллиги уларнинг шаклланишга мойиллиги билан ҳам ифодаланади. Шаклланишга мойиллик бу шундай хусусиятки, бунда модда пресслаб гранулланиш натижасида олган шаклини сақлаш қобилиятидир:

$$\Gamma_2 = \frac{\partial \sigma}{\partial P} \quad (8.13)$$

Турли маҳсулотларни гранулланишга мойиллик кўрсаткичи сифатида гранулланишга мойиллик коэффиценти қўлланилади:

$$K_1 = \frac{(\rho/\rho_0)}{P_{n1}}; \quad K_2 = \frac{\sigma}{P_{n1}} \quad (8.14)$$

бу ерда ρ ва ρ_0 - материалнинг оралиқ ва бошланғич зичликлари, t/m^3 ; σ - эзиш даврида грануланнинг мустақамлиги, Па; P_{n1} - зичланиш босими, Па.

Агарда, материалнинг зичланиш қобилияти K_1 қанча юқори бўлса, унинг шунчалик шаклланиш қобилияти K_2 яхши бўлади.

Материалларни гранулланишга мойиллигини баҳолаш уларнинг зичланиш ва шаклланиш қобилиятлари бўйича классификация қилиш имконини берибгина қолмай, балки ушбу материал учун энг ишончли ва яроқли грануллаш усулини тавсия этиш имконини беради.

Қанчалик K_1 ва K_2 юқори бўлса, шунчалик кичик кучланишларда гранулаларнинг зичланиш даражаси юқори бўлади. Демак, ушбу шароитларда юмалатиб грануллаш усули тавсия этилиши мумкин.

Агар, модданинг грануллашга мойиллиги кичик бўлса, унда грануллаш учун катта кучланишлар талаб қилинади. Масалан, пресслаш ёки боғловчи модда қўшиб юмалатиб грануллаш.

Гранулланишга мойиллик материалнинг физик хоссалари ва ҳолат параметрлари (температура t , намлик W , гранулометрик таркиб R , pH ва ҳоказо) га катта боғлиқ.

8-1 жадвалда баъзи бир қимёвий маҳсулотларнинг гранулланишга мойиллиги ва тавсия этиладиган грануллаш усуллари келтирилган.

8-1 жадвал

№ т/р	Материал номи	$K_1 \cdot 10^{-3}$	K_2	$W, \%$	$T, ^\circ C$	Усул
1	Фосфогипс	1,0	0,008	20	20	боғловчи модда қўшиб пресслаш ёки юмалатиб грануллаш
2	Хлорли калий	0,8	0,01	0,05	20	-
3	Суперфосфат	1,0	0,011	2,5	20	-
4	Аммофос	2,07	0,028	0,8	20	юмалатиб грануллаш
5	Нитроаммофос калийли ўғит	1,23	0,027	0,3	20	пресслаш
6	Мочевина	0,8	0,07	0,3	20	эритмани пуркаш

8.7. Грануляторларни ҳисоблаш

Бошланғич маълумотлар: маҳсулот - аммофос.

- иш унумдорлик	- Q
- гранула ўртача диаметри	- d_{yp}
- аммофос пульпасининг нам сақлаши	- W_n
- тайёр маҳсулот грануласининг намлиги	- W_m
- атмосфера ҳавосининг нам сақлаши	- x_1
- қатлам температураси	- t_k
- пульпа температураси	- t_{II}
- иссиқ ҳавонинг чиқишдаги нисбий намлиги	- φ_2
- маҳсулот солиштирма иссиқлик сифими	- c_{φ}
- солиштирма эриш иссиқлиги	- q
- зичлик	- ρ
- тўкма зичлик	- $\rho_{тук}$
- пульпа температураси ўтказувчанлиги	- α

1. Қатлам температураси t_k ва φ_2 лар бўйича Рамзиннинг $I-x$ диаграммасидан ишлатиб бўлинган иссиқлик элткичининг нам сақлаши x_2 топилади.

2. Иссиқлик элткичининг сарфи:

$$Q_B = \frac{Q \cdot w_{II}}{(x_2 - x_1) \cdot 10^{-3}}$$

3. Иссиқлик балансидан иссиқ ҳавонинг температураси топилади.

4. Мавҳум қайнаш бошланиши тезлиги проф. О.М. Толес формуласи ёрдамида аниқланади:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

бу ерда $w_u = (2...4) \cdot w_0$ ишчи тезлик

5. Газ тақсимлаш тўр пардасининг юзаси:

$$F = \frac{Q_B}{w_u}$$

6. Грануланинг мавҳум қайнаш қатламида ҳаракат вақти τ_{yp} нинг ўртача қиймати ушбу тенгламадан топилади:

$$\frac{w_T}{w_{II}} = 0,1 \cdot Gu^{-0,65} \cdot Fo^{-0,6}$$

7. Мавҳум қайнаш қатламининг массаси:

$$Q_k = Q \cdot \tau_{yp}$$

8. Мавҳум қайнаш қатламининг баландлиги:

$$H_0 = \frac{Q_k}{\rho_{muk} \cdot F}$$

9. Қурилма ишчи қисмининг баландлиги:

$$H_u = 5,6 \cdot H_0 \cdot Re^{0,75} \cdot Ar^{-0,37}$$

10. Учиб чиқиш тезлиги ушбу формуладан топилади:

$$w_y = 0,09 \cdot Ar^{0,25} \cdot lg \frac{w_u}{w_0}$$

11. Қатлам заррачасининг максимал учиб чиқиш тезлиги қуйидагича аниқланади:

$$w_{y,max} \cong 3 \cdot w_y$$

12. Қурилма ажратиш бўлимининг минимал баландлиги:

$$H_{cen} = \frac{w_{y,max}^2}{2g}$$



9.1. Умумий тушунчалар

Кимёвий айланишларни ўтказиш учун мўлжалланган қурилмалар **реакторлар** деб аталади. Кимёвий технологиянинг жараён ва қурилмалари орасида кимёвий реакторлар ва уларда кечадиган жараёнлар алоҳида ўрин тутати. Ушбу жараёнлар кимё саноатининг асосидир.

Кимёвий айлантиришлар қуйидаги хоссалари билан характерланади:

а) гидродинамик, иссиқлик ва масса алмашилиш ҳодисалари, ҳамда кимёвий кинетика қонунлари кимёвий жараёнлар кечиш қонуниятларини белгилайди;

б) кимёвий-технология жараёнларининг кечишига катта таъсир этувчи омиллар кимёвий жараёнлар учун муҳим аҳамиятга эга; реакцияларни бир вақтда параллел ва кетма-кет кечишида температура ва аралаштириш каби омиллар маҳсулот сифатига салмоқли таъсир этади;

в) умуман олганда, жараён тезлиги энг секин ўтадиган босқич билан белгиланганлиги сабабли, кимёвий жараёнлар диффузион, кинетик ва оралик соҳаларда кечиши мумкин.

Агар жараён тезлиги масса алмашилиш (диффузия) тезлиги билан белгиланса, жараён **диффузион** соҳада ўтади. Агар жараён тезлиги фақат кимёвий айланишлар тезлиги билан белгиланса, жараён **кинетик** соҳада боради. Агар кимёвий реакция ва диффузия тезликлари тахминан бир хил бўлса, жараён **оралик** соҳада кечади. Лекин, саноат қурилмаларида кимёвий жараёнларнинг тезлиги фақат иссиқликни узатиш ёки ажратиш олиш тезликлари билан ҳам белгиланиши мумкин.

Қўпинча реакторлар сифатида махсус, ўта мураккаб конструкцияли қурилмалар қўлланилади.

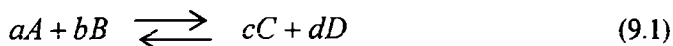
9.2. Кимёвий айланишлар давридаги мувозанат

Одатда, янги реакторлар яратиш учун лойиҳачига реакция йўналиши ва охириги концентрациялар берилган бўлади. Шунга қарамасдан, лойиҳачи кимёвий мувозанат назариясининг (физик-кимё фанининг кимёвий термодинамика қонуниятлари) асосий ҳолатларини билиши зарур.

Массалар таъсир қонуни. Маълумки, кимёвий реакциялар қайтар бўлиши мумкин, яъни бошланғич моддалар ўзаро кимёвий таъсири (тўғри реакция) билан бирга, реакция маҳсулотларининг ўзаро кимёвий таъсирида бошланғич моддалар ҳосил бўлиши (тескари реакция) мумкин. Тўғри реакция ўтиб бориши билан унинг тезлиги камайса, шу даврда маҳсулот ортиши билан тескари реакция тезлиги ўсади. Тўғри ва тескари реакция тезликлари тенглашиши билан кимёвий мувозанат ҳолати бошланади. Ташқи шароитлар бузилмасдан турганда мувозанат аралашмадаги моддалар таркиби ва концентрацияси ўзгармас бўлади. Ташқи шароитларнинг чексиз кичик ўзгариши, мувозанат ҳолатини чексиз ўзгаришига олиб келади. Демак, кимёвий реакциялар термодинамик мувозанат ҳолатида бориши ва уларга термодинамик мувозанатнинг умумий шартларини қўллаш мумкин.

Кимёвий реакцияда қатнашаётган моддаларнинг парциал босимлари ёки мувозанат концентрациялари ўртасидаги боғлиқлик массалар таъсир қонуни

билан ифодаланади. Мувозанат ҳолатидаги гомоген газли кимёвий реакция учун:



агар, реакция компонентлари идеал газлар бўлса, қуйидаги тенглама тўғри келади:

$$\frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b} = K_p \quad (9.2)$$

бу ерда a, b, c, d - A, B, C, D моддаларнинг стехиометрик коэффициентлари;

p_i тегишли стехиометрик коэффициентлар даражасидаги A, B, C, D компонентларнинг парциал босимлари.

Ўзгармас K_p нинг қиймати **мувозанат константаси** деб аталади. Ушбу константа фақат температурага боғлиқ ва бошланғич аралашма компонентларнинг парциал босими ва босимлар йиғиндисига боғлиқ эмас. (9.2) тенглама массалар таъсир қонунининг ифодаси бўлиб, унинг миқдорий ифодаси ва келтириб чиқарилиши 1867 йили Гульдберг ва Вааглар томонидан таклиф этилган.

Ҳақиқий газлар учун компонентлар парциал босимларини ҳар бир i компонентнинг учувчанлиги f_i билан алмаштириш керак. Бунда, мувозанат константаси K_f ҳам компонентларнинг учувчанлиги орқали ифодаланади.

Мувозанат константаси концентрациялар ёрдамида ҳам ифодаланиши мумкин:

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K_c \quad (9.3)$$

Идеал бўлмаган эритмалар учун мувозанат константаси K_a компонент a нинг фаоллиги орқали ҳам ифодаланиши мумкин.

Суюлтирилган эритмалар учун $a_i = c_i$ ва $K_c = K_a$.

Парциал босим ва моль улушлар (K_N) орқали ифодаланган мувозанат константалари ўзаро қуйидагича боғланган:

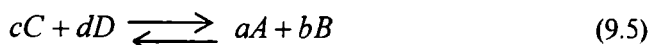
$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} = K_N P^{\Delta n} \quad (9.4)$$

бу ерда Δn - реакция газсимон қатнашчисининг моль сони ўзгариши; P - системадаги умумий босим; R - газ доимийси; T - температура, K .

Агар, реакция газсимон модданинг моль улуши ўзгаришисиз ўтса, яъни $\Delta n = 0$ бўлса, унда $K_p = K_c = K_N$ бўлади.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, умумий ҳолда K_N миқдорий жиҳатдан K_p дан фарқ қилади ва температура, ҳамда системадаги босимга боғлиқдир.

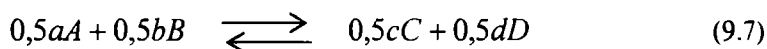
Мувозанат константасининг сон қиймати реакциянинг йўналиши ва қайси миқдорлари учун стехиометрик тенглама ёзилганига боғлиқ. Агар, (9.1) реакция тенгласини тескари йўналиш учун ёзсак, яъни:



унда, мувозанат константаси қуйидагига тенг бўлади:

$$K_p = \frac{1}{K_p} \quad (9.6)$$

Агар, (9.1) тенгламадаги стехиометрик коэффициентларни 2 баробар камайтирсак, унда қуйидаги ифодага эришамиз:



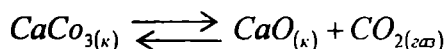
унда, мувозанат константаси K_p'' қуйидагича кўринишни олади:

$$K_p = K_p^{0,5} \quad (9.8)$$

Агар, мувозанат системасига, масалан (9.7)га қўшимча маълум миқдорда A компонент киритилса, у B модда билан реакцияги киришиб, қўшимча миқдорда C ва D моддалар ҳосил қилади. Натижада мувозанат ҳолатига эришилади ва C , D моддаларнинг парциал босимлари бошланғич ҳолатдагидан анча кўпаяди. Модда B нинг босими камаяди, A ники эса - ортади. Мувозанат ҳолатига эришилгандан сўнг, реакцияда қатнашаётган ҳамма моддалар парциал босимларининг нисбати мувозанат константаси K_p нинг сон қийматига яна тўғри келади.

Гетероген реакциялар учун мувозанат константалари газсимон компонентлар парциал босими ёки ҳақиқий газлар учун газсимон компонент учувчанлиги орқали ифодаланади. Эримайдиган ва учувчан бўлмаган фазалар конденсатлари мувозанатга таъсир этмайди.

Ҳар бир қаттиқ фаза газсимон фаза таркибига кирадиган тўйинган буг ҳосил қилади деб тахмин қилиш мумкин. Масалан, ушбу реакцияни кўриб чиқамиз:



Ушбу ҳолатда 2 та қаттиқ ва 1 та газсимон фазалар мавжуд. Системадаги моддалар парциал босимлари p_{CaCO_3} , p_{CaO} , p_{CO_2} . Унда, массалар таъсир қонунига биноан:

$$\frac{p_{CaO} p_{CO_2}}{p_{CaCO_3}} = const \quad (9.9)$$

Ўзгармас температурада қаттиқ фаза иштирок этган системада модданинг тўйинган буг босими ўзгармас, ва p_{CaO}/p_{CaCO_3} нисбати ўзгармас катталикдир.

Шундай қилиб, юқорида қайд этилганларни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$p_{CO_2} \left(\frac{p_{CaCO_3}}{p_{CaO}} \right) = const = K_p$$

яъни, ушбу реакцияда мувозанат константаси карбонат ангидрид газининг босимига тенг.

Жараёни амалга ошириш имконияти изобар-изотермик (ΔG) ёки изо-хор-изотермик (ΔF) потенциаллар катталиклари билан белгиланади. Стандарт шароитда улар мувозанат константаси билан белгиланади. Стандарт шароитда қуйидаги боғлиқликда бўлади:

$$\begin{aligned}\Delta G^0 &= -RT \ln K_p \\ \Delta F^0 &= -RT \ln K_c\end{aligned}\quad (9.10)$$

Агар, $\Delta G^0 < 0$ бўлса, стандарт шароитда реакция боради; агар $\Delta G^0 > 0$ бўлса, реакция бормайди. Худди шундай, агар $\Delta F^0 < 0$ бўлса, реакция тўғри, $\Delta F^0 > 0$ бўлса - тескари йўналишда боради.

Ностандарт шароитда жараён йўналишини аниқлаш учун **кимёвий реакция изотермалари тенгламасидан** фойдаланиш мумкин:

$$\Delta G^0 = RT \ln \frac{p_C^c \cdot p_D^d}{p_A^a \cdot p_B^b} - RT \ln K_p \quad (9.11)$$

$$\Delta F^0 = RT \ln \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} - RT \ln K_c \quad (9.12)$$

(9.11) тенгламанинг ўнг қисмидаги биринчи ҳади бошланғич система компонентларининг парциал босимини ифодалайди; (9.12) тенгламанинг ўнг томонидан биринчи ҳади эса бошланғич аралашмадаги компонентлар концентрациясини кўрсатади. $\Delta G^0 < 0$ ва $\Delta F^0 > 0$ бўлганда, реакция тўғри, $\Delta G^0 > 0$ ва $\Delta F^0 < 0$ бўлганда эса - тескари йўналишда боради.

Жараёни амалга ошириш имкониятлари ва реакция тўлиқ боришига таъсир этувчи омиллар. Термодинамик ҳисобларга ($\Delta G^0 < 0$) қарамасдан реакция бормаса, демак уни секинлаштурувчи қандайдир омиллар бор. Бундай ҳолларда ушбу омилни енгиш, яъни реакция тезлигини ошириш зарур.

Жараён термодинамикаси ва кинетикасига реагентлар температураси, босими ва концентрацияси каби омиллар таъсир этади. Фақат реакция тезлигига таъсир этувчи омил, бу катализаторлар бўлиб, лекин улар мувозанат константаси қийматини ўзгартирмайди.

Кимёвий мувозанатнинг температурага миқдорий боғлиқлигини **Вант-Гоффнинг изобар** тенгламасидан топиш мумкин:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (9.13)$$

бу ерда H - энтальпия ўзгариши ёки ўзгармас босимдаги реакциянинг иссиқлик эффекти.

(9.13) тенгламани кичик температуралар оралиғида интегралласак, ушбу кўринишга эришамиз:

$$\ln \frac{K_{pT_2}}{K_{pT_1}} = \frac{\Delta H}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \quad (9.14)$$

Худди шундай қилиб, Вант-Гоффнинг изохор тенгламасини келтириб чиқариш мумкин:

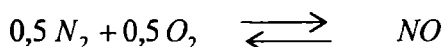
$$\ln \frac{K_{CT2}}{K_{CT1}} = \frac{\Delta U}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \quad (9.15)$$

бу ерда ΔU -система ички энергиясининг ўзгариши ёки ўзгармас ҳажмдаги реакциянинг иссиқлик эффекти.

Температура ўсиши билан K_p ортиши ёки камайиши мумкин, лекин жараён тезлиги қўпчилик ҳолларда ортади.

Босим ўсиши билан концентрация ортади. Шунинг учун, қўпинча реакция тезлиги ортади. Агар, жараён ҳажм ўсиши билан кечаётган бўлса, унда умумий натижа қандай бўлиши номаълум. Бундай ҳолларда қандайдир бир оптимал қийматни қабул қилиш керак.

Мувозанат ўзгаришини ҳисоблаш учун мувозанат константаси ва бошланғич моддалар моль сони маълум бўлиши керак. Сўнг, мувозанатдаги ҳар бир модда миқдорини моль миқдори орқали ифодалаб оламиз. Масалан,



Реакция учун 2500K да $K_p=0,0455$. Агар, бошланғич аралашмада 21% кислород ва 79% азот бўлса, мувозанат аралашмадаги NO концентрацияси (моль%) аниқлансин.

Стехиометрик тенгламага биноан мувозанат аралашма таркибидаги азот концентрациясини $(79-x)$, кислород концентрациясини $(21-x)$ ва NO концентрациясини $2x$ га тенг деб қабул қиламиз. Мувозанат аралашма таркибини массалар таъсир қонунига биноан қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$K_p = 0,0455 = \frac{[NO]}{[N_2]^{0,5} \cdot [O_2]^{0,5}} = \frac{2x}{(79-x)^{0,5} \cdot (21-x)^{0,5}}$$

Ушбу тенгламани x га нисбатан ечсак, унинг қийматини топамиз. Мувозанат аралашмада NO нинг миқдори $2x$ га тенг, яъни 1,8%

9.3. Кимёвий жараёнлар кинетикаси

Ҳар доим ҳам кимёвий жараёнларнинг ўтиш тезлиги кимёвий айланишлар тезлиги билан белгиланмайди. Айрим ҳолларда жараён тезлиги иссиқликни узатиш ва ажратиб олиш тезлиги ёки массанинг бир фазадан иккинчисига тарқалиш тезлиги билан аниқланади. Бундай ҳолатларда реакторлар иссиқлик ёки масса алмашилиш қонунлари билан топиладиган ўлчамларга эга бўлиши керак. Қуйида, кимёвий айланишларнинг кинетик қонуниятларини кўриб чиқамиз.

Кимёвий реакциялар тезлиги. Кимёвий кинетиканинг асосий қонуни (постулати)га биноан, ўзгармас температурада гомоген реакция тезлигини ушбу формуладан топиш мумкин:

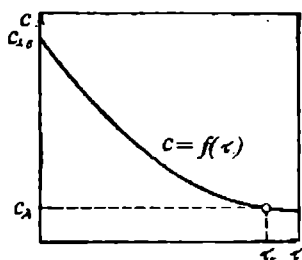
$$w = K c_A^{V_A} \cdot c_B^{V_B} \quad (9.16)$$

Оддий ҳолатларда V_A ва V_B даража қийматлари стехиометрик коэффициентларга тенг.

Ўзгармас температурадаги ҳар бир реакция учун пропорционаллик коэффициентини K ўзгармас катталиқдир. Ушбу пропорционаллик коэффициент **реакциянинг тезлик константаси** деб номланади. Унинг катталиги реакцияга киришадиган моддалар концентрациялари бирга тенг бўлган реакция тезлигига тенг. Реакция даражаси ва унинг молекулярлиги деган иккита тушунчани фарқлаш керак, чунки улар бир хил эмас.

Реакция даражаси (9.16) кинетик тенглама концентрацияларидаги даража кўрсаткичларининг йиғиндиси билан аниқланади. Кимёвий кинетика бўйича реакция даражаларини аниқлаш усуллари махсус адабиётларда келтирилган.

Оддий реакция молекулярлиги бу кимёвий ўзаро таъсирда қатнашадиган бошланғич модда молекулаларининг сони. Реакциялар мономолекуляр, бимолекуляр ва ҳоказо бўлади. Бир вақтда 3 тадан ортиқ молекулаларнинг тўқнашиш эҳтимоли жуда кам. Шунинг учун, кўпинча паст молекулярли реакциялар бўлади.



9.1-рasm. Реакцияга киришадиган моддалар концентрацияси c нинг вақт τ га боғлиқлиги.

Модданинг реакция маҳсулотига айланиш жараёнини кўриб чиқамиз (9.1-рasm)

Кўриниб турибдики, 0 дан τ_{ox} оралиқда концентрация c_{A6} дан c_A гача камаяди:

$$\frac{c_{A6} - c_A}{c_{A6}} = 1 - \frac{c_A}{c_{A6}} = x \quad (9.17)$$

Ушбу нисбат **айланиш даражаси** деб номланади. (9.17) нисбатдан қуйидаги кўринишдаги тенгликни оламиз:

$$c_A = c_{A6}(1 - x) \quad \text{ва} \quad dc_A = -c_{A6}dx \quad (9.18)$$

Камаювчи модда бўйича реакция тезлиги қуйидагига тенг:

$$w = -\frac{dc_A}{d\tau} = Kc_A \quad (9.19)$$

Юқорида қайд этилганларни ҳисобга олсак:

$$-\frac{dc_A}{d\tau} = c_{A6}K(1 - x) \quad (9.20)$$

ёки

$$\frac{dx}{d\tau} = K(1 - x) \quad (9.21)$$

Физик маъносига кўра, **(1-x)n** катталиқ ушбу дақиқада жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи. Турли даражали реакциялар учун кинетик тенгламалар қуйидаги дифференциал шаклда ёзиш мумкин:

ноль ва биринчи даражали реакциялар учун:

$$\frac{dx}{d\tau} = K_0; \quad \frac{dx}{d\tau} = K_1(1-x) \quad (9.22)$$

иккинчи ва n - даражали реакциялар учун:

$$\frac{dx}{d\tau} = K_2(1-x)^2; \quad \frac{dx}{d\tau} = K_n(1-x)^n \quad (9.23)$$

Узлуксиз жараёнлар ҳаракатга келтирувчи кучи. Проф. Плановский А.Н. томонидан яратилган узлуксиз жараёнлар назариясига биноан, реакция қурилмалар 3 га бўлинади: идеал (тўлиқ) сиқиб чиқарувчи; идеал (тўлиқ) аралаштириш; иккила тип оралигидаги реакторлар.

Идеал сиқиб чиқарувчи реакторларда вақт ўтиши билан ҳаракатга келтирувчи куч Δc аста-секин камаяди. Агар, Δc камайса, жараён тезлиги ҳам камаяди. Бундай ҳолларда ҳаракатга келтирувчи куч ўртача логарифмик катталики сифатида топилади.

Идеал аралаштириш ёки оралик типдаги узлуксиз ишлайдиган реакторнинг ҳаракатга келтирувчи кучининг идеал сиқиб чиқарувчи қурилманинг ҳаракатга келтирувчи кучига нисбати идеал сиқиб чиқариш қурилмасидаги жараён давомийлиги $\tau_{ид.с}$ нинг идеал аралаштириш $\tau_{ар}$ ёки оралик типдаги реактордаги жараён давомийлиги $\tau_{ор}$ нисбатига тенг катталиқка реакторнинг **концентрацион фойдали иш коэффициенти** η_c деб номланади.

Агар,

$$\eta_c = \frac{\tau_{ид.с}}{\tau_{ар}} \quad \text{ва} \quad \eta_c = \frac{\tau_{ид.с}}{\tau_{ор}} \quad (9.24)$$

Идеал сиқиб чиқариш ва аралаштириш қурилмаларидаги қайтмас кимёвий реакциялар тезликларини таққослаймиз. Ноль даражали реакция қурилмалари учун

$$\tau_{ид.с} = \frac{x}{K_0} \quad \text{ва} \quad \tau_{ар} = \frac{x}{K_0} \quad (9.25)$$

Демак, $\eta_c = 1$ яъни, ноль даражали реакциянинг тезлиги аралаштиришга боғлиқ эмас.

Биринчи даражали реакция учун

$$\tau_{ид.с} = \frac{1}{K_1} \ln \frac{1}{1-x} \quad (9.26)$$

Идеал аралаштириш қурилмасида жараён ўзгармас ва охириги айланиш даражасида боради.

Унда

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{x}{\tau_{ар}} = K_1(1-x) \quad (9.27)$$

ёки

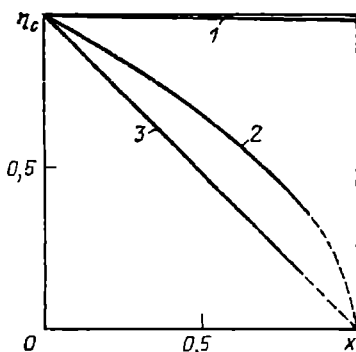
$$\tau_{ар} = \frac{x}{K_1(1-x)} \quad (9.28)$$

$$\eta_c = \frac{1-x}{x} \cdot \ln \frac{1}{1-x} \quad (9.29)$$

Худди шундай, иккинчи даражали реакция учун

$$\eta_c = 1 - x \quad (9.30)$$

9.2-расмда идеал аралаштириш қурилмаси фойдали иш коэффициенти-нинг айланиши ва реакция даражаларига боғлиқлиги кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, айланиш ва реакция даражаси ортиши билан қурилма фойдали иш коэффициенти камаяди. Яъни, айланиш ва реакция даражалари қанчалик катта бўлса, кимёвий айланиш тезлигига аралаштириш шунчалик салбий таъсир кўрсатади.



9.2-расм. Идеал аралаштириш қурилма ф.и.к. η_c нинг реакциялар айланиш даражасига боғлиқлиги.

1-ноль даражали; 2-биринчи даражали; 3-иккинчи даражали.

Шундай қилиб, агар реакция тезлик коэффициенти K нинг ўзгармас катталигида, идеал аралаштириш қурилмасининг айланиш тезлиги идеал сиқиб чиқариш қурилмасиникидан кичик бўлади; бир хил айланиш даражасига эришиш учун сиқиб чиқариш қурилманикига қараганда, идеал аралаштириш қурилмасида кўпроқ вақт бўлиши зарур.

Иккиламчи маҳсулотлар ҳосил бўлишига η_c нинг таъсири. Маълумки, реакторларда асосий реакция билан бирга қўшимча реакциялар (параллел ва кетма-кет) боради. Идеал аралаштириш қурилмасида фойдали иш коэффициенти нинг асосий ва иккиламчи маҳсулотлар нисбатига таъсири кўриб чиқамиз. Идеал

сиқиб чиқариш қурилмасида маҳсулот A дан маҳсулот X ҳосил бўлиш тезлиги (9.31), маҳсулот X дан маҳсулот Y ҳосил бўлиш тезлиги эса (9.32) тенгламадан аниқланади:

$$\frac{dx}{d\tau} = K_x(a - x) \quad (9.31)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = K_y(x - y) \quad (9.32)$$

бу ерда a - бошланғич модда A нинг миқдори; x ҳосил бўлган маҳсулот X нинг миқдори; y - Y маҳсулотга айланган X модда миқдори.

(9.31) ва (9.32) тенгламаларни солиштириб, ушбу кўринишга эришамиз:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{K_y}{K_x} \cdot \frac{x - y}{a - x} \quad (9.33)$$

Тезлик коэффициентлар нисбатини $K_y/K_x=B$ деб белгилаб, (9.33) тенгламани ечсак:

$$y_{ox} = x_{ox} - \frac{(a - x_{ox})^B - (a - x_{ox})}{1 - B} \quad (9.34)$$

бу ерда y_{ox} ва x_{ox} - y ва x параметрларнинг охириги қийматлари.

Идеал аралашиниш қурилмалари учун:

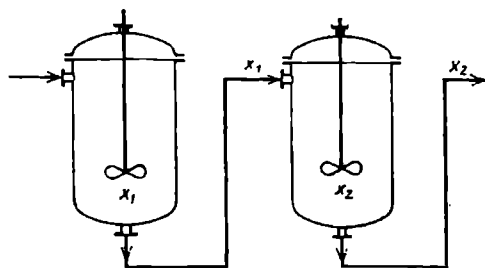
$$\frac{x}{\tau_{ap}} = K_x (a - x); \quad \frac{y}{\tau_{ap}} = K_y (x - y)$$

ёки

$$\frac{y}{x} = B \frac{x - y}{a - x}; \quad y_{ox} = \frac{Bx_{ox}^2}{(a - x_{ox}) - Bx_{ox}} \quad (9.35)$$

Идеал аралашиниш қурилмасида y_{ox} қиймати юқори бўлади. Демак, фойдали иш коэффициентнинг камайиши жараён давомийлиги τ нинг ортишига ва маҳсулот сифатининг ёмонлашишига (иккиламчи маҳсулот ўсишига) олиб келади.

Қурилмаларни секциялаш - фойдали иш коэффициентни оширишнинг асосий усули. Қандайдир кимёвий жараёни ўтказиш учун идеал аралашиниш иккита қурилмаси кетма-кет уланган деб, фараз қилайлик (9.3-расм).



9.3-расм. Иккита кетма-кет уланган идеал аралашиниш қурилмасидан инверт агрегат схемаси.

Биринчи қурилмада айланиш даражаси x_1 , иккинчисида эса - x_2 . Реакцияда қатнашаётган моддаларнинг умумий вақти $\tau = \tau_1 + \tau_2$ (бу ерда τ_1 ва τ_2 - биринчи ва иккинчи қурилмаларда модданинг бўлиш вақти). Шундай қилиб, биринчи даражали реакция учун:

$$\tau = \frac{x_1}{K \cdot (1 - x_2)} + \frac{x_2 - x_1}{K \cdot (1 - x_2)} \quad (9.36)$$

Кўриниб турибдики, τ юқламанинг тақсимланиш функцияси. x_2 ни ўзгармас деб, τ нинг минимал қийматини (9.36) тенгламани дифференциаллаб топамиз:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{1}{K(1 - x_2)^2} - \frac{1}{K(1 - x_2)} = 0 \quad (9.37)$$

бундан

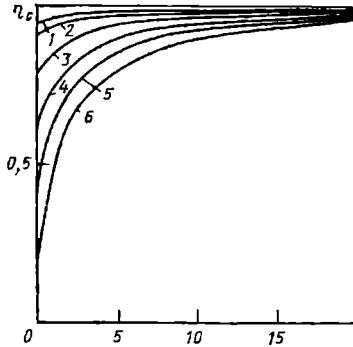
$$K \cdot (1 - x_1)^2 = K(1 - x_2); \quad x_1 = x_2 - x_1 + x_1^2 \quad (9.38)$$

Тегишли ўзгартиришлардан сўнг қуйидаги кўринишни оламиз:

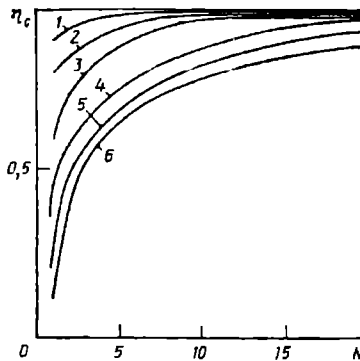
$$\frac{x_1}{1 - x_2} = \frac{x_2 - x_1}{1 - x_2} \quad (9.39)$$

Бундан, $\tau_1 = \tau_2$ ёки $V_{a1} = V_{a2}$ эканлиги келиб чиқади. Шундай қилиб, қурилмалар ҳажмлари тенглиги оптимал нисбатдир.

9.4 ва 9.5 - расмларда қурилма фойдали иш коэффициентига секциялар сони ва айланиш даражасининг таъсирлари кўрсатилган.



9.4-расм. Секциялар сони N ва айланиш даражаси x ларнинг реактор ф.и.к. η_c га таъсири (биринчи даражали реакция учун).
1 - $x=0,1$; 2 - $x=0,2$; 3 - $x=0,3$;
4 - $x=0,4$; 5 - $x=0,5$; 6 - $x=0,6$.



9.5-расм. Секциялар сони N ва айланиш даражаси x ларнинг иккинчи даражали реакция бораётган қурилманинг ф.и.к. η_c га таъсири.
1 - $x=0,1$; 2 - $x=0,2$; 3 - $x=0,3$;
4 - $x=0,4$; 5 - $x=0,5$; 6 - $x=0,6$.

Расмлардан кўриниб турибдики, реакторнинг фойдали иш коэффициенти секциялар сони N ва айланиш даражаси x га боғлиқ. Шунинг алоҳида таъкидлаш керакки, реакциянинг даражаси қанчалик катта бўлса, унинг қурилма фойдали иш коэффициенти таъсири ҳам кескин равишда ортади. Агар, $N=\infty$ бўлса, система идеал сиқиб чиқариш қурилмасига мос келади. $N=8\ldots 10$ бўлганда, реактор идеал сиқиб чиқариш режимида ишлайди.

Кўп секцияли реакторларнинг фойдали иш коэффициенти қуйидаги эмпирик формуладан топиш мумкин:

$$\eta_{CN} = 30 \frac{mN}{30 + (m-1)N} \quad (9.40)$$

Ушбу формуладаги m қуйидаги тенгламадан топилади:

$$m = \frac{30\eta_{c1}}{1 - \eta_{c1}}$$

бу ерда η_{c1} - бир секцияли қурилма фойдали иш коэффициенти.

Реакция тезлиги коэффициентиға температура таъсири. Ушбу таъсир Аррениус қонунига бўйсунди ва қуйидагича ифодаланади:

$$K = z_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (9.41)$$

бу ерда z_0 ўзгармас, пропорционаллик константаси (молекулаларнинг ўзаро тўқнашув омилли); E - реакцияга киришадиган моддаларнинг фаолланиш энергияси; R - газ доимийси.

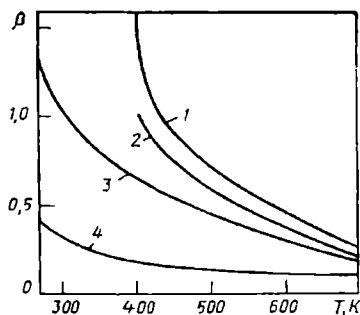
Ушбу тенгламадан қуйидаги кўринишни олиш мумкин:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (9.42)$$

бу ерда K_1 ва K_2 абсолют температуралар T_1 ва T_2 га тегишли тезлик коэффициентлари.

$K_{m+10}/K_m = \beta$ нисбат реакция тезлигининг **температурaviй коэффициенти** деб номланади.

9.6-расмда фаоллашиш энергияси ва температуранинг, коэффициент β га таъсири кўрсатилган. Расмдан кўрииб турибдики, фаоллашиш энергияси ортиши ва температура камайиши билан β нинг миқдори ортади. Агар, $\beta = 2 \dots 4$ бўлса, жараён кинетик зонада, $\beta = 1,2 \dots 1,5$ да эса - диффузион зонада боради.



9.6-расм. Реакция тезлиги температурaviй коэффициенти β нинг температура T ва фаоллашиш энергияси E га таъсири.

9.4. Кимёвий жараёнлар моддий ва иссиқлик баланслари

Моддий баланс. Қайта ишланаётган ва ҳосил қилинаётган материаллар миқдорини аниқлаш учун кимёвий жараённинг моддий баланси тузилади. Юқорида қайд этилган миқдорларни билиш реакторнинг асосий ўлчамларини аниқлаш, иссиқлик балансини тузиш ва ҳисоблашларни ўтказиш учун зарур.

Олинаётган моддалар миқдори вақтга (кг/сутка, кг/соат, кг/с) ёки ишлаб чиқилаётган маҳсулот массасига нисбатан аниқланиши мумкин.

Моддий баланс тузиш учун (9.1) стехиометрик тенглама асос бўла олади. Агар, реакция чапдан ўнгга қайтмас кечаётган бўлса, унда жараён охирида A модда тўлиқ сарфланади, яъни $G_A = 0$.

Унда, модда B нинг сарфи қуйидагига тенг бўлади:

$$G_B = G_A \left(\frac{b \cdot M_B}{a \cdot M_A} \right) \quad (9.43)$$

Ҳосил бўлаётган C ва D моддалар учун эса:

$$G_C = G_A \left(\frac{c \cdot M_C}{a \cdot M_A} \right); \quad G_D = G_A \left(\frac{d \cdot M_D}{a \cdot M_A} \right) \quad (9.44)$$

бу ерда M_A, M_B, M_C, M_D - ўзаро таъсирдаги моддалар массалари; G асосий, бошланғич маҳсулот (масалан, A) миқдори.

Моддий баланснинг ҳисоблаш натижалари, одатда ушбу кўринишда келтирилиши мумкин (9-1 жадвал):

9-1 жадвал

Моддалар	Миқдорлар
A	G_A
B	$G_A(bM_B/aM_A)$
Киравётган моддалар жами:	$G_A + G_A(bM_B/aM_A)$
C	$G_A(cM_C/aM_A)$
D	$G_A(dM_D/aM_A)$
Ҳосил бўлаётган маҳсулотлар жами:	$G_A(cM_C/aM_A) + G_A(dM_D/aM_A)$

Иссиқлик баланси. Кимёвий жараён иссиқлик баланси қуйидаги умумий кўринишида ёзилиши мумкин:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (9.45)$$

бу ерда Q_1 - қайта ишланаётган материал билан кираётган иссиқлик; Q_2 - иссиқлик элтикидан қайта ишланаётган моддага берилётган иссиқлик; Q_3 - жараёнинг иссиқлик эффекти; Q_4 - реакцияда қайнашаётган материаллар билан чиқиб кетаётган иссиқлик; Q_5 - атроф муҳитга йўқотилаётган иссиқлик.

Қайта ишланаётган материаллар билан олиб кирилатган ва реакция маҳсулотлари билан чиқиб кетаётган иссиқлик миқдори қуйидаги тенгликдан топилиши мумкин:

$$Q = \sum G \cdot c \cdot t \quad (9.46)$$

бу ерда G - модда массаси; c - материал солиштирма иссиқлик сифими; t - температура.

Реакциянинг иссиқлик эффекти Гесс қонунига биноан ҳисобланади:

$$q = \sum q_K - \sum q_H \quad (9.47)$$

бу ерда q_p - реакция иссиқлик эффекти; $\sum q_H$ - кимёвий реакцияга киришаётган, бирикмалар ҳосил бўлиш иссиқликларининг йиғиндиси; $\sum q_K$ - кимёвий таъсир натижасида ҳосил бўлаётган бирикмалар ҳосил бўлиш иссиқликларининг йиғиндиси.

Реакция иссиқлиги q махсус адабиётларда 20°C учун келтирилган бўлади. Бундан юқори температуралардаги қийматини топиш учун Кирхгоф қонунидан фойдаланиш мумкин. Унинг математик талқини ушбу тенглама кўринишида бўлади:

$$\frac{dq}{dT} = \Delta c_p \quad (9.48)$$

бу ерда Δc_p - олинган маҳсулот ва бошланғич моддалар иссиқлик сифимларининг фарқи (стехиометрик коэффициентлар ҳисобга олинган).

Иссиқлик сифимнинг температурага боғлиқлиги ушбу кўринишдаги тенглама билан ифодаланади:

$$c_p = a + bT + cT^2 + \dots \quad (9.49)$$

бу ерда a, b, c - эмпирик константалар; T - температура.

Демак, Δc_p нинг температурага боғлиқлиги ҳам (9.49) тенгламага ўхшаш функция билан ифодаланади:

$$\Delta c_p = a_1 + b_1 T + c_1 T^2 + \dots \quad (9.50)$$

Ушбу тенгламага биноан, Кирхгоф қонунини ифодаловчи тенглик қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$\frac{dq}{dT} = a_1 + b_1 T + c_1 T^2 + \dots \quad (9.51)$$

бу ерда a_1 , b_1 , c_1 - олинган маҳсулот ва бошланғич моддалар формулаларидаги тегишли a , b , c коэффициентларнинг фарқига сон жиҳатдан тенг коэффициентлар.

(9.51) тенгламани интеграллаш, реакция иссиқлик эффекти ва температура орасидаги боғлиқлигининг қуйидаги қўринишини беради:

$$q = a_1 T + \frac{1}{2} b_1 T^2 + \frac{1}{3} c_1 T^3 + \dots + C \quad (9.52)$$

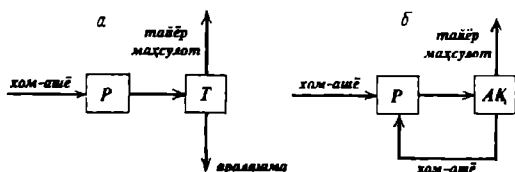
20 ёки 25°C температурадаги реакция иссиқлигини q_0 орқали белгилаб олсак, интеграллаш ўзгармас катталиги C ни ҳисоблаш осонлашади:

$$C = q_0 - \left(a_1 T + \frac{1}{2} b_1 T^2 + \frac{1}{3} c_1 T^3 + \dots \right) \quad (9.53)$$

Агар, C нинг қиймати (9.53) дан аниқланса, исталган T температурадаги реакциянинг иссиқлик эффекти (9.52) тенгламадан аниқланади.

9.5. Кимёвий жараёнлар принципиал схемалари

Кимёвий жараёнларнинг ҳамма принципиал схемаларини 2 гуруҳга ажратиш мумкин: бир босқичли (9.7а-расм) ва рециркуляцияли (9.7б-расм).



9.7-расм. Кимёвий жараёнлар принципиал схемалар.
а - бир босқичли; б - рециркуляцияли.

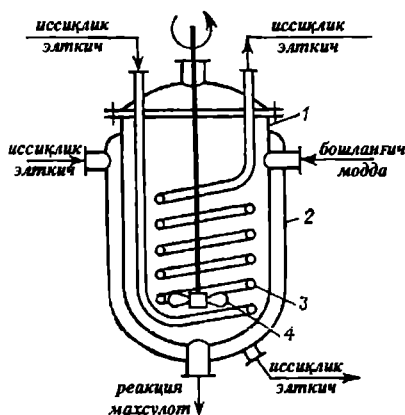
Бир босқичли схемаларда хом-ашё реактор P га узатилади ва у ерда тўлиқ ўзгариш рўй беради. Жараёнда ҳосил бўлган моддалар тозалаш қурилмаси T га юборилади. Ушбу қурилмада у тайёр маҳсулот ва аралашмаларга ажратилади.

Циркуляцияли схемада ҳам хом-ашё реактор P га узатилади ва у ерда қисман ўзгаришга учрайди. Шунинг учун, у яна қайта ишланади. Бундай ҳолда реактор P га бошланғич ва қайта ишлашган хом-ашё аралашмаси юкланади ва унинг оптимал даражада қайта ишланишига эрилишади. Сўнг, тайёр маҳсулот ва реакцияга киришмаган хом-ашё аралашмаси реактордан ажратиш қурилмаси AK га узатилади. Унда, тайёр маҳсулот аралашма таркибидан ажратиб олинади. Реакцияга киришмаган хом-ашё қайтадан реакторга юборилади. Биринчи ва иккинчи гуруҳ схемаларидаги қурилмаларни ҳисоблаш усуллари ҳар хил. Биринчи гуруҳ схемаларидаги қурилмалар жараённинг берилган бошланғич ва охириги параметрлари бўйича ҳисобланади. Иккинчи гуруҳ схемала-

ридаги қурилмалар эса, бир неча вариант бўйича ҳисобланади ва фақат техник-иқтисодий таққослашгина реактор ва ажратиш қурилмасидаги жараёнларнинг оптимал параметрларини аниқлаш имконини беради.

9.6. Реакторлар конструкциялари

Жараённи ташкил этиш бўйича реакторлар 3 гуруҳга бўлинади:



9.8-расм. Даврий реактор.

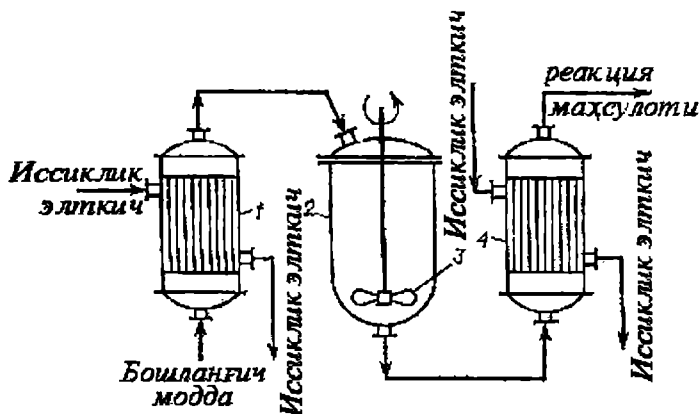
1-қобик; 2-ғилоф; 3-змеевик;
4-аралаштиргич.

Даврий ишлайдиган реакторларда жараённинг ҳамма босқичлари ҳар хил вақтда кетма-кет кечади (9.8-расм).

Ўзаро таъсирдаги моддалар концентрациясининг ўзгариш характери реакцион ҳажмнинг ҳамма нуқталарида бир хилдир. Лекин, ҳажмнинг бирор нуқтаси учун вақт бўйича турлича бўлади. Бу турдаги қурилмада реакция давомийлигини бевосита ўлчаш мумкин, чунки реакция вақти ва реакцион ҳажмда реагентларнинг таъсир вақти бир хил. Даврий қурилмаларда технологик жараён параметрлари вақт ўтиши билан ўзгаради.

Бундай реакторлар иш унумдорлиги кичик ва уларни автоматлаштириш, ҳамда ростлаш қийин.

Узлуксиз ишлайдиган реакторда кимёвий айланиш жараёнининг ҳамма босқичлари параллел ва бир вақтда юз беради (9.9-расм).



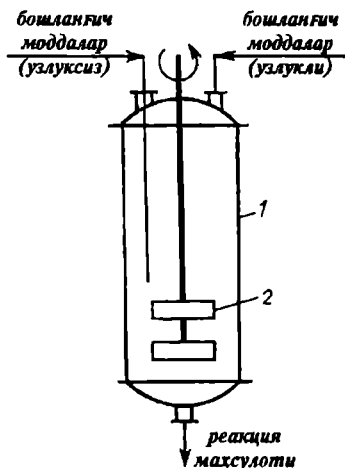
9.9-расм. Узлуксиз ишлайдиган реактор

1,4-иситкичлар; 2-реактор; 3-аралаштиргич.

Ўзаро таъсирдаги моддалар концентрациясининг ўзгариш характери ҳар бир дақиқада реакцион ҳажмнинг турли нуқталарида ҳар хил. Лекин, ҳажмнинг бирор нуқтаси учун вақт бўйича ўзгармасдир. Бу турдаги қурилмада реакция давомийлигини бевосита ўлчаш мумкин эмас, чунки узлуксиз ишлайдиган қурилмаларда реакция вақти ва реакцион ҳажмда реагентларнинг таъсир вақти турлича. Умумий ҳолда, моддаларнинг реакторда бўлиш вақти аралаштириш интенсивлиги, оқимлар таркибига боғлиқ ва ҳар бир қурилма учун алоҳида бўлади.

Бу турдаги реакторларнинг иш унумдорлиги катта, уларни эксплуатация қилиш осон ва автоматлаштиришга мойил.

Ярим узлуксиз реакторлар нотурғун шароитда ишлайди, яъни баъзи бир реагентлар узлуксиз, бошқалари эса даврий узатилади (9.10-расм).



9.10-расм. Ярим узлуксиз ишлайдиган реактор.
1-қобик; 2-аралаштиргич.

мадан ўтаётган ҳар бир олдин узатилган ҳажм, кейинги узатилган билан аралашмасдан, сиқиб чиқарилади. Натижада, қурилманинг марказий қисми ва девор атрофидаги аралашманинг таркиби ва температураси бир-биридан фарқ қилади. Ундан ташқари, қурилмага кириш ва чиқиш концентрация ва температуралари орасида сезиларли катта фарқ бўлади. Бу турдаги реакторларга қобик-трубали, яъни колоннали қурилмалар киради (9.11, 9.13-расмлар).

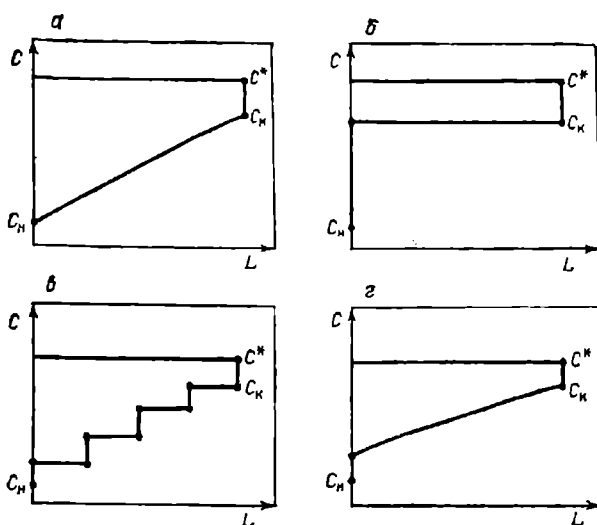
Оралик гидродинамик режимли реакторлар жуда кенг тарқалган. Ушбу турдаги қурилмаларда тез-тез идеал аралаштириш режимидан четга

Ушбу турдаги реакторлар кичик тоннажли ишлаб чиқариш корхоналарида, айниқса экзотермик реакция ўтказиш зарур бўлган жараёнларда қўлланилиши мақсадга мувофиқ.

Гидродинамик режимга қараб, реакторлар 3 гуруҳга бўлинади.

Идеал аралаштириш реакторларида реагентлар оқими бутун реакцион ҳажмда бир зумда ва бир текисда аралашади. Демак, бундай реакторларда аралашманинг таркиби ва температураси бутун реакцион ҳажмда бир хил деб ҳисоблаш мумкин. Бу турдаги реакторлар қаторига кичик ҳажмдаги аралаштиргичли, циркуляцияли, мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар киради (9.11, 9.12-расмлар).

Идеал сиқиб чиқариш реакторларида реагентларнинг ҳаракати поршенсимон характерда бўлиб, яъни қурил-

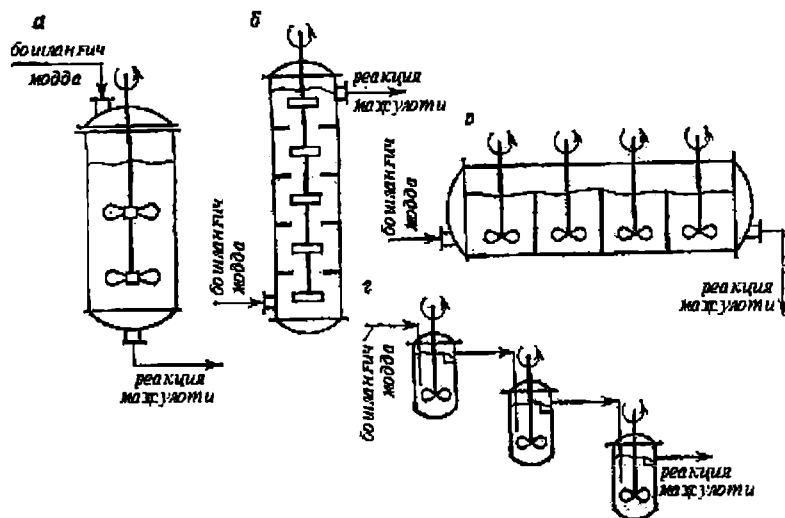


9.11-расм. Турли типдаги реакторларда моддалар

концентрациясининг ўзгариш характери.

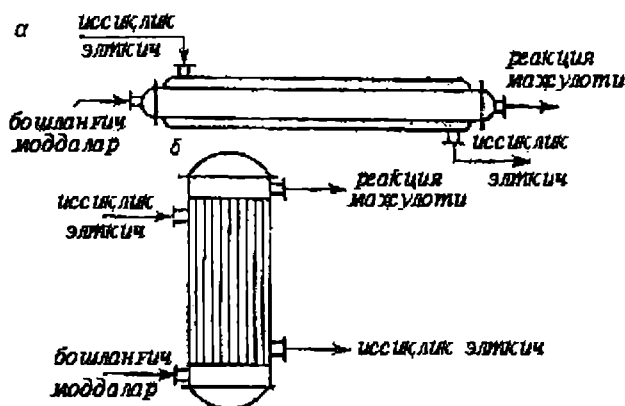
а-сиқиб чиқариш қурилмаси; б-аралаштириш қурилмаси; в-кўп секцияли, аралаштириш қурилмаси; г-оралик типдаги қурилма; С-бирор ондаги концентрация; C_n -бошланғич концентрация; C_k -охирги концентрация; C^* -мувозанат концентрация; L-қурилма узунлиги.

чиқиш режимлари содир бўлади. Бундай ҳолатларда реагентларнинг аралаш-майидиган зоналари пайдо бўлиши ва бошқа салбий ҳодисалар ҳосил бўлади.



9.12-расм. Аралаштириш реакторлари

а-бир погонали қурилма; б-вертикал, кўп погонали қурилма; в-горизонтал, кўп секцияли қурилма; г-аралаштириш қурилмаси батареяси.



9.13-расм. Сиқиб чиқариш реактори.

1-бир труба қурилма; 2-кўп труба қурилма.

9.7. Реакторларнинг аралаштириш ва иссиқлик алмашиши мосламалари

Реакторнинг нормал ишлаши, юқори иш унумдорлик ва олий сифатли маҳсулот олишга эришиш учун ундаги моддаларни аралаштириш энг асосий шартлардан биридир.

Аралаштириш усуллари ва уни конструктив жиҳозлаш ўзаро таъсирдаги моддаларнинг агрегат ҳолатига боғлиқ.

Аралаштириш. Газларни аралаштириш учун қўлланиладиган энг содда мосламалар қаторига сопло, инжектор, лабиринтли ва каскадли аралаштиргичлар киради. Одатда, аралаштириш мосламалари реактор билан бир қобикда ўрнатилади.

«Суюқлик-суюқлик» ва «суюқлик-қаттиқ жисм» системаларини аралаштириш учун механик усулдан фойдаланиш юқори самара беради. Бунинг учун парракли, турбинали, якорли ва шнекли, ҳамда пневматик аралаштиргичлар ишлатилади. «Газ-қаттиқ жисм» системасида сифатли аралаштиришга эришиш учун жараён мавҳум қайнаш ёки ҳаракатчан қатламда ўтказилади.

Иссиқлик алмашиниш. Кимёвий реакторларни турли усулларда иситиш ёки совитиш мумкин. Реактордаги иссиқлик алмашиниш усулини танлаш кимёвий жараёнинг ўтказиш температураси, ҳамда иссиқлик элткичнинг физик, иссиқлик-диффузион ва кимёвий хоссаларига боғлиқ. Саноат миқёсида иситиш ва совитишнинг 2 та, яъни бевосита ва билвосита усуллари бор.

Бевосита иссиқлик алмашинишда аралашма ва иссиқлик элткич қуйидаги вариантлардан бирида иссиқлик узатилади:

1) иссиқлик бевосита реакторда берилади, масалан, экзотермик реакция ёки электрик разряд йўли билан;

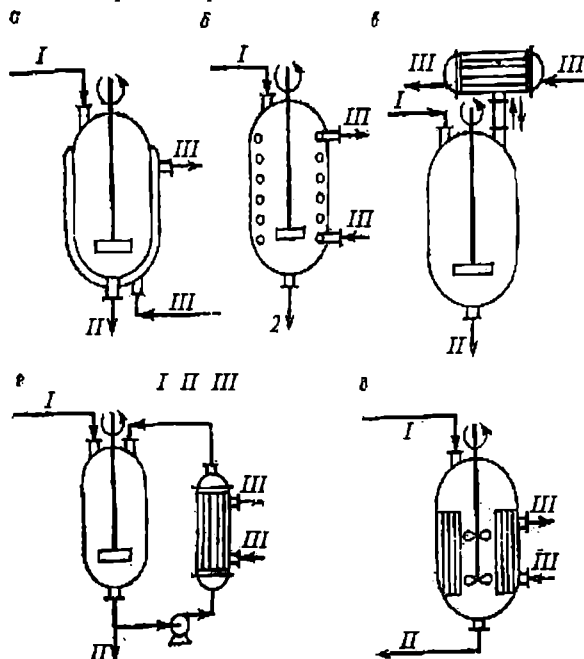
2) иссиқликнинг узатилиши реакция аралашманинг бирорта компоненти қисман ёки тўлиқ буғлатиш орқали ёки эндотермик реакция йўли билан;

3) реакция ҳажмда иссиқлик элткичнинг циркуляцияси ҳисобига иссиқлик узатиш.

Билвосита иссиқлик алмашинишда иссиқлик элткич ва реагентлар қўзғалмас девор ёрдамида ажратилган бўлади. Иссиқлик алмашиниш юзалари турли геометрик шаклда (змеевик, филоф, ҳалқа ва ҳоказо) бўлиши мумкин.

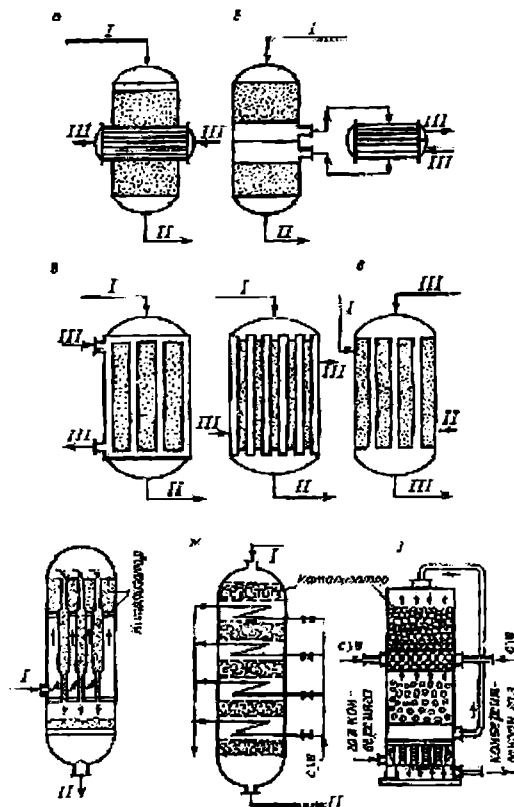
Одатда реакторни иситиш ёки совитиш унинг ташқарисидаги филоф орқали амалга оширилади.

9.14...9.17-расмларда иссиқлик алмашинишни ташкил этиш ва иссиқлик алмашиниш мосламалари, ҳамда реагентларни аралаштириш учун мўлжалланган айрим мосламалар келтирилган.



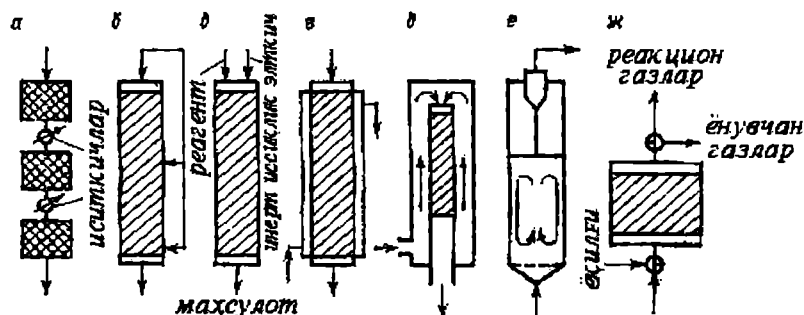
9.14-расм. Аралаштириш реакторининг иссиқлик алмашиниш мосламалари.

I-бошланғич моддалар, II-реакция маҳсулоти, III-иссиқлик элткич;
а-филофли қурилма; б-ички змеевикли қурилма; в-ташқи дефлегматорли қурилма; г-ташқи иссиқлик алмашиниш қурилмали; д-ички иссиқлик алмашиниш қурилмали.



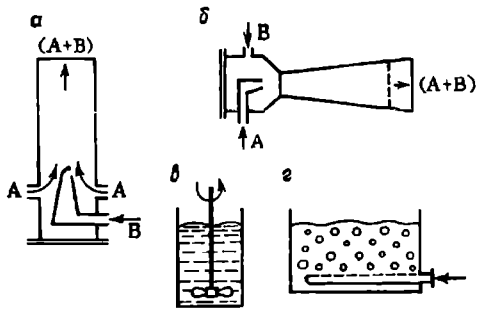
9.15-расм. Сикиб чиқариш реакторининг иссиқлик алмашиниш мосламалари.

I-бошланғич моддалар, II-реакция маҳсулоти, III-иссиқлик элткич; а-ички иссиқлик алмашиниш мосламали; б-ташқи иссиқлик алмашиниш мосламали; г-трубаларида катализатор тўлдирилган қурилма; д-трубаларо бўшлиғи катализатор билан тўлдирилган қурилма; е-комбинацияланган типдаги қурилма; ж-токчали ва катализатор қатламлари орасида совитиш мосламали қурилма; з- катализатор қатлами орасига сув пурковчи мосламали қурилма.



9.16-расм. Эритмада оптимал температура ҳосил қилиш усуллари.

а-адиабатик секцияларга ажратиш; б-совуқ реагентлар қўшиб; в-инерт, иссиқлик элткич қўшиб; г-билвосита иссиқлик алмашиниш; д-реагент билан бевосита иссиқлик алмашиниш; е-ҳаракатчан (мавҳум қайнаш) қатламли; ж-регенератив иссиқлик алмашиниш.



9.17-расм. Кимёвий реакторлар ара-
лаштирувчи мосламалари-
нинг турлари.
а-сопло; б-оқимчали; в-ара-
лиштиргич; г-барботер.

9.8. Реакторларни ҳисоблаш

Реакторнинг асосий ўлчамлари (ҳажми, фазаларнинг тўқнашиш юзаси) қуйидаги умумий нисбатдан аниқланади:

$$A = \frac{M}{DK} \quad (9.54)$$

бу ерда M - кимёвий ўзгаришга учраган ёки бир фазадан иккинчисига ўтган материал миқдори (узатилаётган ёки ажратиб олинаётган иссиқлик миқдори); D - жараённинг ҳаракатда келтирувчи кучи; K - жараённинг тезлик коэффициенти.

Кимёвий жараённинг қайси омили ҳал этувчи бўлишига қараб, реактор асосий ўлчами жараён давомийлиги (агар жараён кинетик зонада бўлса), мод-данинг бир фазадан иккинчисига тарқалиш тезлиги (агар жараён диффузион зонада бўлса) ёки иссиқлик узатилиши (ажратиб олиниши) орқали аниқланади. Охирги икки усулда эса, реактор худди иссиқлик ва масса алма-шиниш қурилмаси каби ҳисобланади. Бундан кейин, фақат жараён давомий-лиги орқали реакторларнинг асосий ўлчамини ҳисоблашни кўриб чиқамиз.

Даврий, идеал аралашин реакторлари. Энг оддий реактор змеевик ёки ғилофли қозон ва аралаштиргичлардан таркиб топган бўлади. Аралаштиргич аралашмани интенсив қориштиради ва ҳажмнинг исталган нуқтасида бир хил концентрация бўлишини таъминлайди, яъни концентрация фақат вақт ўтиши билан ўзгаради.

Реакторларни ҳисоблаш учун қуйидаги параметрлар берилган бўлади: вақт бирлигидаги иш унумдорлиги ва жараён давомийлиги $\Delta\tau$. Агар, жараён давомийлиги $\Delta\tau$ топиб олинса, қурилмада бир суткада ишлаб чиқариладиган маҳсулот партияларининг сони β ни аниқлаш жуда осон.

$\Delta\tau$ ни соатда ифодалаб, қуйидаги нисбатни оламиз:

$$\beta \Delta\tau = 24 \quad \text{ва} \quad \beta = \frac{24}{\Delta\tau} \quad (9.55)$$

Бир суткада ишлаб чиқариладиган партиялар сони α эса ушбу нисбатдан топилади:

$$\alpha = \frac{V_{\text{сут}}}{V_a} \quad (9.56)$$

бу ерда $V_{\text{сут}}$ - бир суткада қайта ишланаётган материалнинг ҳажми.

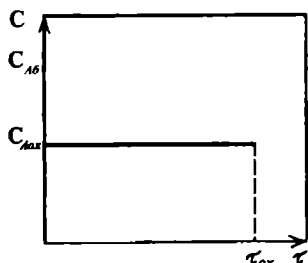
(9.55) ва (9.56) тенгламалардан қуйидаги боғлиқликни топиш мумкин:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \left(\frac{V_{\text{CUT}}}{24} \right) \cdot \frac{\Delta\tau}{V_a} = n \quad (9.57)$$

бу ерда n - параллел ишлаётган қурилмалар сони.

Агар, қурилмаларнинг ишчи ҳажми V_a ни қабул қилиб олсак, қурилмалар сони n ни аниқлаш мумкин. Агар, битта қурилма ($n=1$) қўллаш мақсадга мувофиқ бўлса, унда (9.57) тенгламадан унинг ишчи ҳажмини аниқлаш мумкин:

$$V_a = \frac{V_{\text{CUT}} \cdot \Delta\tau}{24} \quad (9.58)$$



9.18-расм. Идеал аралашуш реакторидида концентрация c нинг вақт τ га боғлиқлиги.

трация $c_A=c_{A\infty}$ га бир зумда тушади. Ушбу ҳолат, биринчи даражали реакциялар учун моддалар ўзаро таъсир вақти ва реакторнинг ишчи ҳажми ушбу тенгламалардан топилади:

$$\tau_{ap} = \frac{x_{ox}}{K_1(1-x_{ox})}; \quad V_a = V_r \cdot \tau_{ap} \quad (9.60)$$

бу ерда x_{ox} - қурилмадаги модда концентрацияси ($c_A=c_{A\infty}$); V_r - τ вақт ичида қайта ишланган ҳажм.

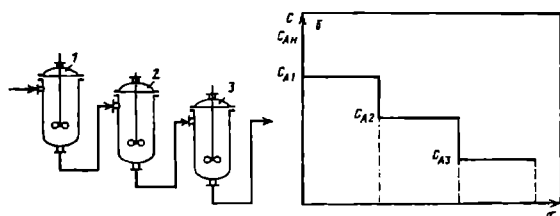
Маълумки, идеал аралашуш қурилмалари жуда кичик фойдали иш коэффициентини билан характерланади. Демак, бошқа шароитлар бир хил бўлганда, унинг ҳажми максимал қийматга эга.

Идеал аралашуш реакторлар каскади. Идеал аралашуш қурилмаларининг фойдали иш коэффициентини ошириш мақсадида улардан каскад қилинади (9.19-расм).

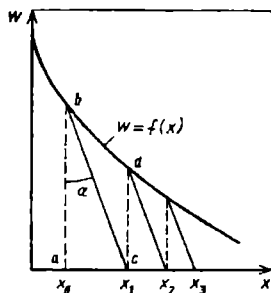
Каскаддаги реакторлар сонини аниқлаш учун график усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ (9.20-расм). Биринчи даражали реакция учун биринчи реакторда бошланғич айланиш даражаси x_0 дан x_1 гача ошади. Унда, abc учбурчакдан:

$$\frac{ac}{ab} = \frac{x_2 - x_1}{w} = tg\alpha \quad (9.61)$$

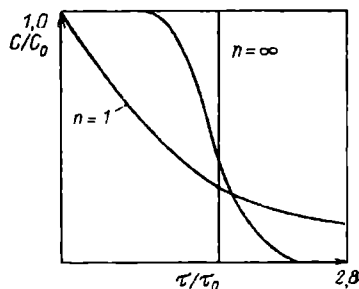
бу ерда $w=\Delta x/\Delta\tau$ - реакция тезлиги; $tg\alpha$ - bc чизигининг реакция тезлиги ўқига қиялиги;



9.19-расм. Идеал аралашуш қурилмалар каскади (а) ва унда концентрация c нинг вақт τ га боғлиқлиги (б).



9.20-расм. Каскаддаги реакторлар сонини аниқлашнинг график усули.



9.21-расм. F - диаграмма (мавхум поғоналар сони n бўлганда моддаларнинг ювилиб ажраш эгри чизиқлари).

Нуқта b дан абсцисса ўқи билан кесишгунча тўғри чизиқ ўтказиб, концентрация x_1 ни топамиз. Шу нуқтадан тезлик эгри чизиғи билан кесишгунча вертикал чизиқ ўтказиб d нуқтани аниқлаймиз. Ҳосил қилинган d нуқтадан α бурчак остида абсцисса ўқи билан туташгунча тўғри чизиқ ўтказиб x_2 топамиз. Худди шуни бир неча марта қайтарсак, x_0 - $x_{\text{ох}}$ оралиқда синиқ, поғонали чизиқ ҳосил бўлади.

Синиқ чизиқдаги поғоналар сони каскаддаги реакторлар сонини билдиради. Графикдаги α бурчак қуйидагича аниқланади:

$$\frac{x_2 - x_1}{w} = \operatorname{tg} \alpha = \tau \quad (9.62)$$

Лекин, $\tau = V_a/V_r$, демак

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_a}{V_r}$$

Одатда, ҳисоблашларни ўтказиш учун V_r нинг қиймати берилган бўлади. V_a нинг қиймати эса, танлаб олинади, сўнг поғонали синиқ чизиқ қурилади ва ундан каскаддаги реакторлар сони топилади.

Идеал сиқиб чиқарувчи реакторлар. Бундай реактор модели сифатида узунлиги l нинг диаметри D нисбати жуда катта ($l/D > 20$) бўлган трубалар намуна бўла олади. Ушбу реакторнинг ҳар бир қўндаланг кесимининг радиуси бўйлаб концентрация бир текисда (идеал аралашиниш) бўлади. Лекин, реакторда бўйлама аралашиниш юз бермайди. Бундай шароитда концентрация c_A нинг ўзгариши худди шу турдаги даврий ишлайдиган қурилманики каби ва сон жиҳатдан бир хил бўлади. Бунинг учун 9.1-расмдаги абсцисса ўқида τ эмас, реактор узунлиги l қўйилиши керак.

Қурилманинг ишчи ҳажми ушбу тенгламадан топилади:

$$V_a = V_{\text{сек}} \cdot \tau \quad (9.63)$$

бу ерда τ - жараён давомийлиги ва у юқорида келтирилган кимёвий кинетика тенгламаларидан аниқланади.

10.1. Умумий тушунчалар

Кимё саноатининг бир қанча жараёнлари анча паст температурада олиб борилади. Совуқлик элткич сифатида ҳаво, сув ва музни ишлатиб бундай жараёнларни амалга ошириб бўлмайди.

Сунъий совитиш йўли билан борадиган жараёнлар қаторига баъзи бир абсорбция, кристалланиш, газларни ажратиш, сублимацияли қуриштиш ва бошқа жараёнлар киради. Шунингдек, бу турдаги совитишдан қишлоқ хўжалик маҳсулотларини сақлаш, ер қатламларини музлатиш, ҳавони кондициялаш ва бошқаларда кенг фойдаланилади.

Сунъий совитиш доимо паст температурали муҳитдан юқорироқ температурали муҳитга иссиқликни узатиш билан боғлиқ. Термодинамиканинг иккинчи қонунига биноан, бундай узатиш энергия сарфини талаб қилади. Шунинг учун ҳам, системага энергия киритилиши совуқлик олишнинг зарурий шарти ҳисобланади.

Совуқлик ишлаб чиқариш усуллари маълум даражада талаб этилаётган температура ва қурилманинг ишлатилиш қўлами билан аниқланади.

Шартли равишда жараён: 1) ўрта совитиш (атроф муҳит температурасидан 100°C гача) ва 2) чуқур совитиш (-100°C дан паст температура) ларга бўлинади.

Ўз навбатида -100°C дан паст температуралар олиш шартли равишда куйидагича классификацияланади:

- а) чуқур совитиш техникаси (45 K 273 K);
- б) криоген техникаси (40 K 0,3 K);
- в) ультра-паст температуралар техникаси (0,00002 K гача);

2 K дан юқори температуралар олиниши техникада қўлланилади. Ундан пастроқ температураларни олиш эса, илмий тажрибалар қилиш техникасига тўғри келади.

Чуқур совитишга тўғри келадиган температураларни олиш газ аралашмаларини қисман ёки тўлиқ суюлтириш йўли билан уларни ажратиш имконини беради. Натижада азот, кислород, водород, пропан, бутан, этилен ва бошқа газларни олиш мумкин бўлади.

10.2. Совуқлик олишнинг термодинамик асослари

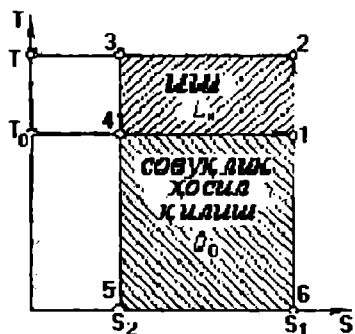
Асосий тушунчалар. Термодинамика курсидан маълумки, энергиянинг паст температурали жисмдан юқори температурали жисмга олиб ўтилиши энтропия S нинг камайишига олиб келади ва шунинг учун бу жараённи амалга ошириш учун иш бажарилиши керак (яъни энергия сарфланади).

Совитиш қурилмаларида иссиқликни паст температурали муҳитдан юқори температурали муҳитга ўтказиш совуқлик элткич деб номланувчи ишчи жисм ёрдамида амалга оширилади.

Совуқлик олиш айланма жараён ёки цикл сифатида амалга оширилиб, компрессорда совуқ элткич буғларини сиқиш учун ташқаридан энергия келтирилади.

Термодинамиканинг қонунларига биноан, юқори T температурали муҳитдан пастроқ T_0 температурали муҳитга иссиқлик ўтказилишида шу иссиқликнинг ишга айланишининг энг юқори даражаси Карно тескари цикл-

нинг фойдали иш коэффициентига тўғри келади. Шунинг учун паст температурали муҳитдан юқори температурали муҳитга иссиқлик ўтказиш жараёни қўрилганда шу циклдан фойдаланиш мумкин (10.1-расм).



10.1-расм. Карнонинг тескари цикли энтропия диаграммаси.

Бу цикл қўйидаги жараёнлардан иборат:

1-2-Буғсимон совуқлик элткичини адиабатик сиқиш;

2-3-Совуқ элткич буғларининг изотермик конденсацияланиши. Бу жараён T температурадан ташқи муҳитга Q конденсация иссиқлигини бериш билан боради;

3-4-Суюқ совуқлик элткичининг адиабатик кенгайиши (кенгайишининг якуний температураси T_0);

4-1- Суюқ совуқлик элткичининг T_0 температурасидаги буғланиши. Бунда совутилаётган муҳитдан Q_0 буғланиш иссиқлиги олиб кетилади.

Бундай циклни системанинг энтропияси ўзгаринсиз қолганида амалга ошириш мумкин. Шунинг учун совитиш элткичининг буғланишида совутилаётган муҳит энтропияси сиқишда Q_0/T_0 миқдорга камайса, иссиқлиги ҳамда совуқлик элткични сиқишда сарфланган L_k ишга эквивалент иссиқлигини ўзига олаётган иссиқроқ муҳит (масалан сув) нинг энтропияси ҳам шундай даражага ортиши керак. Натижада иссиқроқ муҳит энтропиясининг ортиши қўйидагича бўлади:

$$(Q_0 + L_k) / T \quad (10.1)$$

Энергетик балансга мувофиқ:

$$\frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_0 + L_k}{T} \quad (10.2)$$

бу ердан, Карно тескари цикли бўйича ишлаётган совитиш қўрилмасида сарфланган иш:

$$L_k = Q_0 \left(\frac{T - T_0}{T_0} \right) \quad (10.3)$$

Совуқлик элткич томонидан $T_0 < T$ температурада совутилаётган муҳитдан олиб кетилаётган Q_0 иссиқлиги циклниң ёки совитиш қўрилмасининг совуқлик унумдорлигини белгилайди. T - S диаграммада (10.1 расм) совуқлик унумдорлиги 1-4-5-6 юза орқали кўрсатилган 2-3-5-6 юза эса иссиқроқ муҳитга берилаётган иссиқликка эквивалент. 2-3-5-6 ва 1-4-5-6 юзаларнинг айирмаси сарф этилган иш L_k ни беради (2-3-4-1 юза.)

Шундай қилиб, Карно тескари цикли мисолида ҳар қандай совитиш машинасининг энергетик балансини кўрсатиш мумкин:

$$Q_0 + L = Q \quad (10.4)$$

бу ерда, L — ҳақиқий циклниң иши.

Совитиш цикллариинг термодинамик самарадорлигини совитиш коэффиценти ε ифодалайди. Совитиш коэффиценти совуқлик унумдорлиги Q_0 ни сарфланган иш L га нисбати орқали топилади:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L} = \frac{Q_0}{Q - Q_0} \quad (10.5)$$

Бу коэффицент сарфланган бирлик ишга нисбатан совуқлик элткич олган совуқлик унумдорлигини кўрсатади.

T - S диаграммага кўра (10.1-расм), $Q_0 = T_0(S_1 - S_2)$ ва $Q = T(S_1 - S_2)$. Q_0 ва Q ларни (10.5) формулага қўйиб, Карно цикли учун қуйидагини оламиз:

$$\varepsilon_k = \frac{Q_0}{Q - Q_0} = \frac{T_0(S_1 - S_2)}{T(S_1 - S_2) - T_0(S_1 - S_2)} = \frac{T_0}{T - T_0} \quad (10.6)$$

Совитиш коэффиценти сунъий совуқлик олиш учун механик ишдан фойдаланиш даражасини кўрсатади ва (10.6) формуладан кўриниб турганидек, совуқлик элткичининг хусусиятлари, ҳамда совитиш қурилмасининг ишлаш схемасига боғлиқ эмас, балки T_0 ва T температураларнинг функцияси. Бунда T ва T_0 температуралар фарқи қанчалик кичик бўлса, совитиш коэффиценти шунчалик юқори бўлади.

Совитиш коэффицентини совитиш машинасининг фойдали иш коэффиценти сифатида қабул қилиб бўлмайди. Фойдали иш коэффиценти иссиқликнинг ишга айланиши мумкин бўлган қисмини тавсифлайди, шунинг учун у доим бирдан кичкина бўлади. Юқоридаги ҳолатда эса, сарфланаётган иш иссиқликка айланмайди, балки, паст температурали муҳитдан юқори температурали иссиқликни ўтказишда (кўтаришда) воситачи вазифасини бажаради. Шунинг учун кўпинча Q_0 миқдор иш L дан катта, натижада $\varepsilon > 1$. (10.6) формулага мувофиқ, T_0 температуранинг пасайиши сарфланаётган ишнинг кескин ортишига олиб келади, натижада олинаётган совуқликнинг ҳам нарҳи ортади. Ундан ташқари, бу температуранинг пасайиши термодинамик фойдали иш коэффицентининг камайишига олиб келади. Бу коэффицент η ҳақиқий цикл совитиш коэффиценти ε ни Карно цикли совитиш коэффиценти ε_k га нисбати билан аниқланади:

$$\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_k} \quad (10.7)$$

η нинг пасайиши ҳақиқий жараёнларда T_0 температура камайганда совуқликнинг қайтмас йўқотилишларининг ортиши билан тушунтирилади.

10.3. Сунъий совитиш усуллари

Сунъий совитиш жараёнларида совуқлик элткич температураси қуйидаги йўллар билан пасайтирилади:

- 1) паст температурада қайнайдиган суюқликларни буғлатиш;
- 2) сиқилган ҳар хил газларни кенгайтириш.

Газларни қуйидагича кенгайтириш мумкин:

- а) газни дросселловчи қурилма (тешикли шайба, вентиль ва шунга ўхшаш) ичидан ўтказиш. Дросселланишдаги кенгайтиш адиабатик ва ташқи иш бажаришсиз амалга ошади.

б) тузилиши жиҳатдан поршенли ёки турбокомпрессорга ўхшаш машина — детандерда газни кенгайтириш. Бундаги кенгайиш адиабатик, лекин ташқи иш бажариш билан амалга ошади.

Паст температурда қайнайдиган суюқликларни буғлатиш. Паст, манфий қайнаш температурасига эга бўлган ҳар хил суюқликларни буғлатиш совуқлик олишда кенг қўлланилади. Буғланишда бундай суюқликларнинг энтальпияси камаяди, натижада улар қайнаш температурасигача совийди. Масалан, суюқ аммиак 1 атм босимда буғланса, унинг температураси — 34⁰С гача пасаяди, бу температура аммиак учун шу босимдаги қайнаш температураси ҳисобланади. Бу ҳолатда аммиакни ҳар хил муҳитларни — 30⁰С гача совитишга ишлатиш мумкин. Юқорироқ босимда аммиак буғлатилса, қайнаш температураси ҳам юқори бўлади.

Газларни дросселлаш. Дросселлашда газ томонидан бажариладиган иш дросселловчи қурилма тешигининг қаршилигини енгиш учун сарфланади ва иссиқликка айланади, натижада кенгайиш жараёни энтальпиянинг ўзгаришисиз кечади (изоэнтальпик).

Идеал газ бўлганда энтальпиянинг ўзгармас бўлиши газ температураси ҳам ўзгаришсиз қолишига олиб келади. Реал газларни дросселлашда эса, энтальпиянинг ўзгаришсиз қолишига қарамай газ температураси ўзгаради.

Ҳақиқий газларда бундай ҳолатнинг бўлишига сабаб, уларнинг энтальпияси нафақат температура T нинг, балки босими P нинг ҳам функциясидир:

$$i = u + pV = c_v T + u_{nom} + pV \quad (10.8)$$

бу ерда, u — ҳақиқий газнинг ички энергияси; V — солиштирма ҳажм; c_v — ўзгармас ҳажмдаги солиштирма иссиқлик сифими; $c_v T$ — газ молекулаларининг ички кинетик энергияси; u_{nom} — газнинг ички потенциал энергияси; pV — газнинг ҳажмий энергияси.

Ташқи муҳитдан системага иссиқлик оқими бўлмаганда, дросселлаш мобайнида газнинг кенгайиши учун керак бўлган энергия фақат газнинг ички энергияси ҳисобига олиниши мумкин.

(10.8) формулага дросселлашдан олдин ва кейинги ҳолатлар учун 1 ва 2 индексларни қўйсақ, ҳамда энтальпиянинг ўзгаришсиз қолишини эътиборга олсак:

$$c_v T_1 + u_1 + p_1 V_1 = c_v T_2 + u_2 + p_2 V_2$$

бу ердан:

$$c_v (T_1 - T_2) = (u_2 - u_1) - (p_1 V_1 - p_2 V_2) \quad (10.9)$$

Охирги ифода дросселланишда ўзини қандай тутишини кўрсатади: агар $p_2 V_2 > p_1 V_1$ бўлса, $T_1 - T_2 > 0$ бўлади ва натижада дросселланишда газнинг температураси пасаяди. Агар $p_2 V_2 < p_1 V_1$, лекин $(u_2 - u_1) > (p_1 V_1 - p_2 V_2)$ бўлганда ҳам газ температураси пасаяди ($T_2 < T_1$). Ва ниҳоят, $(u_2 - u_1) < (p_1 V_1 - p_2 V_2)$ бўлганда, дросселланишдан кейин газнинг температураси кўтарилади $T_2 > T_1$.

Ҳақиқий газнинг дросселланишидаги температураси ўзгариш ҳолати дросселланиш эффекти ёки Жоуль-Томсон эффекти номини олган. Дросселланишда газ совитилса, бу эффект мусбат эффект дейилади, акс ҳолда манфий эффект дейилади.

$(u_2 - u_1) = (p_1 V_1 - p_2 V_2)$ бўлганда, (10.9) формулага мувофиқ, $c_v (T_1 - T_2) = 0$, яъни дроссель эффекти нолга тенг.

Температуранинг кўтарилиши билан дроссель эффекти камайиб боради. Дроссель эффекти нолга айланадиган температура **инверсион температура** дейилади ($t_{инв}$). Кўпгина газлар юқори инверсион температурага эга ва дросселланишда совийди. Водород ва гелий манфий дросселланиш эффектига эга ва бошқа газлардан фарқли равишда дросселланиш вақтида температураси кўтарилади. Лекин улар ҳам инверсион температурадан пастроқ температура-ларда (водород учун $t_{инв} = -73^{\circ}\text{C}$, гелий учун $t_{инв} = -243^{\circ}\text{C}$) дросселланганда со-вийди.

Температуранинг жуда кичик ўзгаришини уни келтириб чиқарган жуда кичик босим ўзгаришига нисбати дифференциал **дроссель эффекти** дейилади.

$$j = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_{i=const} \quad (10.10)$$

Лекин амалий ҳисобларда дифференциал дроссель эффекти деганда ҳақиқий газнинг босими бир бирликка ўзгарганда, унинг температурасини ўзгариши тушунилади.

Интеграл дроссель эффектига газ босимининг бошланғич P_1 дан охириги P_2 га ўзгаргандаги температура ўзгариши тўғри келади:

$$j_{инт} = \int_{P_1}^{P_2} o \, dp = \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_{i=const} \quad (10.11)$$

Интеграл дроссель эффекти энтальпия диаграммаси $i-T$ ёки энтропия диаграммаси $T-S$ орқали аниқланиши мумкин. 10.2-расмда ҳаво учун энтропия диаграммаси тасвирланган.

Масалан, температура $T_1 (T_1 = 205^{\circ}\text{K})$ ва босим $P_1 (P_1 = 100 \text{ атм})$ бўйича дросселланишдан олдинги нуқта 1 топилади. Кейин $i_1 = const$ чизиғи ва охириги босим $P_2 = 1 \text{ атм}$ изобара чизиғининг кесишишида 2 нуқта аниқланади. Нуқта 2 га дросселланишдан кейинги температура $T_2 = 150^{\circ}\text{K}$ тўғри келади. Дроссель эффекти $\Delta T = T_1 - T_2 = 55^{\circ}\text{K}$ ни ташкил этади.

Иссиқлик бирликларида ифодаланган дроссель эффектини **изотермик** дроссель эффекти дейилади.

Изотермик дроссель эффектини аниқлаш учун $P_2 = const$ изобара бўйича (10.2-расм) 2-нуқтадан T_1 изотермада ётган 3-нуқтага кўтариламыз. 3-нуқтага $i_3 \approx 100 \text{ ккал/кг} = 4,19 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$ энтальпия тўғри келади.

Шунга кўра, изланилаётган эффект 1-ва 2- нуқталар энтальпияларининг айирмасига тенг ва манфий қийматга эга, чунки $i_3 > i_1$:

$$\Delta i = i_1 - i_3 = 86 - 100 = -4 \text{ ккал / кг} \approx -16,8 \text{ Ж/кг}$$

Дросселланишда эришилаётган совуқлик унумдорлиги Q_0 газни изотер-мик сиқишдан олдинги ва кейинги энтальпиялари фарқи билан аниқланади.

Яна ҳам пастроқ температура олиш учун дросселланиш эффектини **реге-нератив иссиқлик алмашиниш** билан боғлашади. Бунда девор орқали дроссел-ланишга келаётган газ билан дросселланишдан совутган газ ўзаро иссиқлик ал-машади. Бундай дросселланишдан олдинги совитиш жараёни газларни суюл-тиришга олиб келиши мумкин.

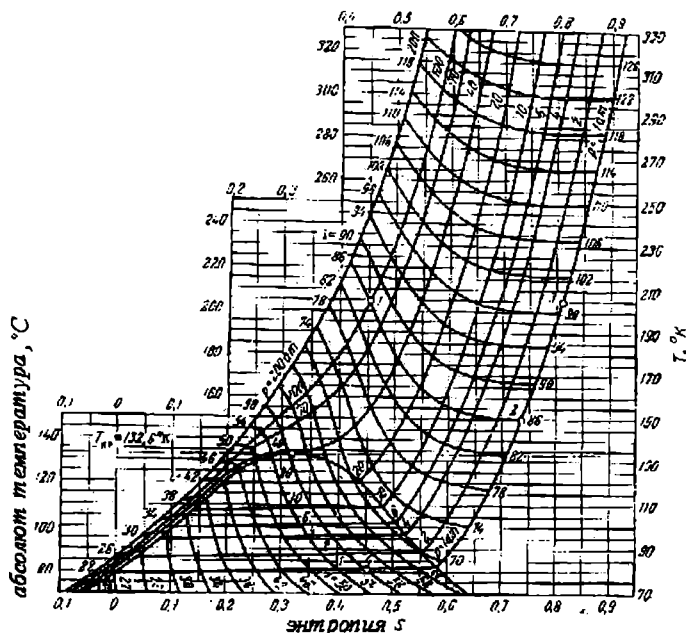
Газларни детандерда кенгайиши туфайли совийи. Бу ҳолатда олдиндан сиқилган газ ташқи иш бажараётган газ машинасида кенгайди. Бу иш ихтиё-рий мақсадларда ишлатилиши мумкин. Масалан, суюқлик ва газларни ҳайдаш учун. Сиқилган газнинг детандерда кенгайиши ташқи муҳит билан иссиқлик

алмашиинишсиз амалга оширилади ва газ томонидан бажарилаётган иш унинг ички энергияси туфайли содир бўлади, шунинг учун газ совийди. Идеал газнинг чегаравий совиш температураси қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (10.12)$$

Бу формула адиабатик жараён учун тўғри. Ҳақиқатда эса, эришилаётган температура пасайиши камроқ бўлади ва ҳақиқий политропик жараёнга тўғри келади.

Бу усулда газ совиганда олинаётган иссиқлик ва температура пасайишини T - S диаграммасидан аниқлаш мумкин (10.2-расм).



10.2-расм. Ҳаво учун T - S диаграмма.

Фараз қилайлик, сиқилган газнинг детандердан олдинги ҳолати $T_1=205$ K ва $P_1=100$ атм – нуқта 1 бўлсин. Газнинг ташқи иш бериши билан адиабатик кенгайиши $S=\text{const}$ бўйича амалга ошади. Шунинг учун 1- нуқтадан берилган охириги босим $P_2=1$ атм изобара чизигигача вертикал тушириб, детандерлашнинг охириги ҳолатини белгиловчи 4- нуқтани аниқлаймиз. Бу нуқтага тўғри келувчи температура $T_4=82$ K ва температура пасайиши $\Delta T = T_1 - T_4 = 205 - 82 = 123$ K. Газдан олиб кетилаётган иссиқлик бўйича ($Q = i_1 - i_4 = 86 - 58 = 26$ ккал/кг $= 10,9 \cdot 10^4$ Ж/кг) газнинг кенгайиш иши аниқланади.

T - S диаграммадан кўриниб турибдики, дросселланишга қараганда газнинг детандерда кенгайишида совитиш эффекти анча юқори. Бундан ташқари, детандерда ташқи иш олиш ҳисобига циклнинг умумий энергия сарфи камаяди.

Лекин амалиётда детандерлашнинг дросселланишдан устуворлиги унчалик катта эмас. Идеал газнинг адиабатик кенгайишдаги иш формуласига кўра:

$$l_{ad} = \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (10.13)$$

бу иш газ абсолют температурасининг 1- даражасига тўғри пропорционал. Детандерда газларнинг кенгайиши компрессордаги сиқиш температурасидан анча пастроқ температураларда амалга оширилади ва шунинг учун ҳам детандер иши туфайли энергия сарфининг камайиш миқдори унчалик катта эмас. Агар детандерда газнинг суюлиши ҳосил бўлса бу миқдор яна камаяди. Гидравлик зарба, уормаларнинг ҳосил бўлишида ҳам совитиш унумдорлиги пасаяди.

Юқорида кўрсатилган камчиликларни инобатга олган ҳолда, совитиш унумдорлигини ошириш мақсадида газни детандерда кенгайиши ва дросселланиш усуллари бир-бирини алмаштириб туради.

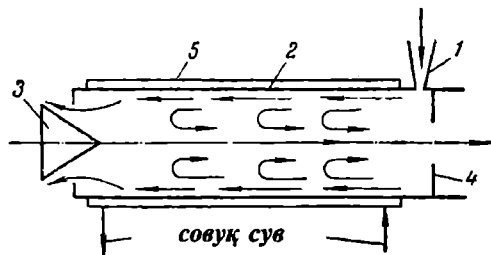
10.4. Паст температура олиш усуллари

Дросселланиш ва сиқилган газни детандерда кенгайишидан бошқа усуллар билан ҳам совуқлик олиш мумкин.

Бу усуллар ичига фазавий ўзгариш (эриш, қайнаш, сублимация ва бошқалар) жараёнлари киради. Аммиак, фреон каби паст температурада қайнайдиган суюқликларни буғлатишдан ташқари, совуқлик олиш учун музни эритиш ҳам ишлатилади. Лекин тоза сув яхини эритиб олишда фақат 0°C гача температура пасайиши мумкин. Эриш температурасини пасайтириш учун майдаланган муз (ёки қор) ва туздан (масалан NaCl ёки CaCl) ташкил топган аралашмалар қўлланилади. Кальций хлорид тузи билан муз аралашмасини -55°C температурагача совуқлик олиш учун ишлатиш мумкин.

Куйида келтирилган бошқа усуллар саноатда кам қўлланилсада, улар ҳақида тўхталиб ўтиш лозим.

Уормавий эффект. Бу эффект оддийгина қурилма - уормавий қувур ёрдамида газ температурасини 10°C дан 60°C гача пасайтириш учун қўлланилади (10.3-расм).



10.3-расм. Уормавий қувур.

1-сопло; 2- қувур; 3- дроссел вентил; 4- диафрагма; 5-совуқ қатлам.

Юқори тезликда ($200-400 \text{ м/с}$) сиқилган газ (ҳаво) қувур 2 нинг соплоси 1 га тангенциал ҳолатда киритилади ва у ердаги мураккаб уормавий ҳаракат туфайли газ иссиқ ва совуқ оқимларга ажратилади. Газнинг исиган ташқи оқими ўнгдан чапга ҳаракатланади ва дроссел вентили 3 орқали $50...100^{\circ}\text{C}$ температура билан чиқиб кетади, совуган ички оқим эса қарама-қарши томонга ҳаракатланиб, соплодан ўнг томонда жойлашган диафрагма 4 нинг тешигидан чиқиб кетади.

Оқимларнинг температураси вентил 3 ни очилиб-ёпилиши орқали ростланади.

Нисбатан кичик термодинамик самарадорликка эга бўлишига қарамай, бу усул бир йўла иссиқлик ва совуқлик олишда, вақти-вақти билан совуқлик олиш талаб қилинганда қўлланилади. Сиқилган газларнинг арзон ресурслари

бўлган ҳолларда бу усулни ишлатиш мумкин. Уюрмавий усулда совитишнинг асосий афзаллиги қурилманинг оддийлиги ва ишлатишдаги ишончилиги.

Магнит-калорик эффект. Жуда паст температураларни парамагнит материалларни адиабатик магнитсизлантириш йўли билан олиш мумкин. Бунда газларни адиабатик кенгайиш жараёнида каби, ички энергия сарфланиб, ташқи кучлар устидан иш бажарилади, натижада температуранинг кескин пасайиши содир бўлади.

Бу усулда совуқлик олишда парамагнит моддаси (кўпинча парамагнит туз бўлаги) ўзгармас температурада чуқур вакуумда, масалан қайнаётган гелий-ли ваннада, ушланиб турилади.

Модда кучли магнит майдони остида бўлади. Майдон узилганда (ўчирилганда) адиабатик магнитсизланиш юзага келади ва натижада парамагнит модда абсолют нольга яқин температурагача совийди. Ҳозирги вақтга келиб 10К дан пастроқ температура олиш имконини берадиган (жуда кичик совуқлик унумдорлигида) магнит совитиш машиналари яратилган.

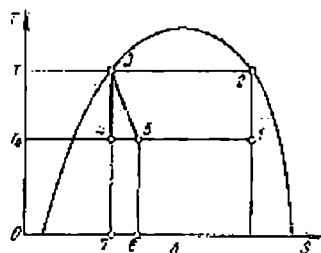
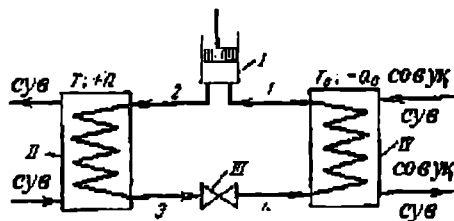
Термоэлектрик эффект. Бир-бирига кавшарланган икки ҳар хил ўтказгичдан тузилган занжир орқали электр токи ўтказилганда кавшарланган бир томон исийди, бошқаси совийди (**Пельтье эффекти**). Оддий ўтказгичлар ўрнига ярим ўтказгичлар қўлланилса, паст температуралар олиш имкони яратилади. Бунинг учун самарали термоэлементлардан тузилган батареялар яратилиши керак.

Ўртача температурагача совитиш. Бундай совуқлик олишда совуқлик элткичи сифатида критик температураси атроф муҳит температурасидан юқори бўлган газлар ишлатилади. Юқорида айтиб ўтганимиздек, бу усул билан қуйи чегараси -100°C температурани олиш мумкин.

10.5. Компрессор буғ совитиш машиналари

Ўртача температурали совуқлик олишда компрессор буғ совитиш машиналари кенг қўлланилади. Бундай машиналарда совутувчи элткич сифатида паст температурада қайнайдиغان суюқликлар ишлатилади.

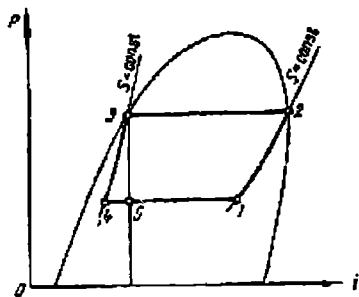
Идеал машина цикли. Карнонинг тескари цикли бўйича ишлайдиган идеал компрессор совитиш машинасида (10.4-расм) компрессор *I* совитиш элткичи буғларини сўриб, уларни сув билан совитишда суюқликка айланиш мумкин бўлган босим даражасигача сиқади ва конденсатор *II* га ҳайдайди. *T-S* диаграммада (10.4б-расм) буғларнинг адиабатик сиқиш жараёни вертикал адиабатик чизиғи 1-2 билан тасвирланган. Сиқиш буғнинг температурасини T_0 (1 нуқта) дан T (нуқта 2) гача кўтарилишига олиб келади. Конденсатор *II* да суюқланиш жараёни ўзгармас T температурада бориши учун, сиқиш жараёни суюқлик - буғ мувозанат чизиғи билан чегараланган соҳада амалга оширилиши керак. Идеал машинада компрессордан чиқаётган буғ қуруқ тўйинган ҳолатда P босимда бўлади.



10.4-расм. Компрессор совитиш машинаси.

а-қурилма схемаси; б-жараённинг *T-S* диаграммадаги кўриниши;
I-компрессор; II-конденсатор; III-дрессел вентили; IV-буғлаткич.

Конденсатор II даги суюқланиш (конденсацияланиш) жараёни T температурада изотермик равишда боради (горизонтал 2-3 чизиқ). Конденсатордан суюқ совитиш элткичи кенгайтирувчи цилиндрга келади (10.4а—расмда идеал циклда қўлланиладиган кенгайтирувчи цилиндр ўрнига реал циклда қўлланиладиган дроссел вентили III кўрсатилган). У ерда адиабатик кенгайиб, қайнаш босимида тўғри келадиган T_0 температурага эга бўлади (3-4 адиабатик чизиғи). Сўнг суюқ совитиш элткичи буғлаткич IV да буғланиб (қайнаб), совутилаётган муҳитдан иссиқликни олади. T_0 температурадаги буғланиш жараёни 4-1 изотерма чизиғи билан ифодаланади. T_0 температурадаги буғларни (1 нуқта) компрессор сўриб олади ва цикл такрорланади. Шундай қилиб бутун жараён 2 та адиабата (1-2 ва 3-4 кесмалар), ҳамда иккита изотерма (2-3 ва 4-1 кесма) лардан иборат.

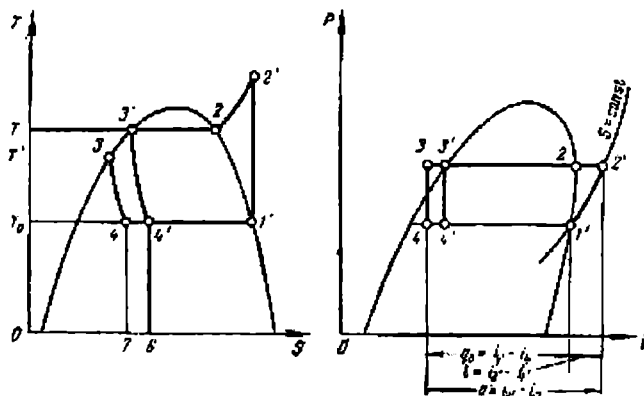


10.5-расм. p - i диаграммадаги компрессор совитиш машина цикли.

10.5-расмда p - i диаграммадаги идеал компрессор совитиш машинасининг цикли кўрсатилган. Бу диаграммада совуқлик унумдорлиги Q_0 ва сарфланган иши L диаграммадаги каби юзлар орқали эмас, балки тўғри чизиқли кесмалар орқали аниқланади. 1-2 кесма компрессор I даги совитиш элткичи буғларининг адиабатик сиқилиши; 2-3 кесма шу буғларнинг II конденса-тордаги суюқланиши; 3-4 кесма

суюқ совитиш элткичининг кенгайтириш цилиндридаги кенгайиши; 4-1 кесма суюқ совитиш элткичининг буғлаткич IV даги буғланиши.

Ҳақиқий машина цикли. Идеал совитиш машинаси конструктив ясалиши мураккаб бўлгани учун кенгайиш цилиндри дроссел ростловчи вентил билан алмаштирилган. Бундан ташқари T - S ва p - i диаграммаларидаги (10.6-расм) ҳақиқий машина цикли идеал машина циклидан қуйидаги 2 та ўзгариш билан фарқланади:



10.6-расм. Ҳақиқий компрессор совитиш машинаси циклининг T - S ва p - i диаграммалардаги кўриниши.

а) совитиш элткичи буғларининг компрессор томонидан сиқилиши нам-буг соҳасида эмас, балки ўта қизиган буг соҳасида амалга оширилади ва компрессор қуруқ тўйинган, баъзида ўта қизиган буғларни сўради;

б) конденсаторда суюқланган совитиш элткичи конденсация температурасидан пастроқ температурагача ўта совитилади.

Назарий томондан қаралганда, қуруқ тўйинган буғларни сиқиш энергия сарфини оширишга олиб келсада, амалиётда компрессорнинг «қуруқ юриши» фойдалироқдир. Буғ қуруқ тўйинган ҳолатда сўрилади (1-нуқта) ва берилган босимгача адиабатик сиқилади (2-нуқта). Бунда компрессор цилиндри деворлари билан нам —буғ орасидаги интенсив иссиқлик алмашилишига асосланган совуқлик йўқотилиши камаяди. Бундан ташқари, компрессорнинг «нам юришида» совитиш элткичи цилиндр ичида буғланади, бу эса компрессорнинг фойдали иш ҳажмий ва узатиш коэффициентининг камайишига ва ўз навбатида циклнинг совуқлик унумдорлигини пасайишига олиб келади.

Конденсаторга кираётган ўта қизиган совитиш элткичи буғлари ўзгармас босимда конденсация температурасигача совийди (2-2 изобара чизиги), сўнг иш босими ва ўзгармас температурада конденсацияланади (2-3 горизонтал чизиги). Агар совитиш элткичи ўта совитилмаганда эди, дроссел вентилидаги унинг кенгайиши 3'-4' изоэнтальпия чизиги орқали кўрсатиш мумкин бўлар эди. Совитиш элткичи T температурасигача ўта совитилса, дросселланиш жараёни 3-4 энтальпия чизиги бўйлаб боради. Натижада циклнинг совитиш унумдорлиги ортада 4-5-6-7 юза). Цикл, совитиш элткичини буғлаткичда, $T_0 = \text{const}$ температурада буғланиш билан тугайди (4-1 изотермаси).

T - S ва p - i диаграммалар орқали ҳақиқий совитиш циклини характерловчи асосий катталикларни аниқлаш мумкин: компрессордаги сиқиш иши, конденсаторнинг иссиқлик юкламаси ва совитиш коэффициенти. P - i диаграммада 1кг совитиш элткичи буғларини сиқиш учун компрессорда сарфланган солиштирма иши қуйидагича:

$$l = i_{2l} - i_{1l} \quad (10.14)$$

бу ерда i_{2l} , i_{1l} - 2' ва 1' нуқталардаги энтальпиялар.

Конденсаторга тушаётган солиштирма иссиқлик юкламаси:

$$q = i_{2l} - i_3 \quad (10.15)$$

бу ерда i_3 — совитиш элткичининг 3-нуқтадаги энтальпияси.

q нинг миқдорига қараб, конденсаторнинг иссиқлик алмашилиш юзасини, ҳамда совитиш элткичи буғларини суюлтириш учун керак бўлган сувнинг сарфий миқдори аниқланади.

Циклнинг солиштирма совитиш унумдорлиги q_0 жараёндаги совитиш элткичи энтальпиясининг ўзгаришига тенг:

$$q_0 = i_{1l} - i_4 \quad (10.16)$$

бу ерда, i_4 - совитиш элткичининг 4-нуқтадаги энтальпияси.

Ҳақиқий совитиш циклининг совитиш коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{i_{1l} - i_4}{i_{2l} - i_{1l}} \quad (10.17)$$

..Совитиш машинаси томонидан таъминланаётган совуқлик унумдорлиги шу машинанинг температура режимига боғлиқ.

Компрессор совитиш машиналарининг номинал совитиш унумдорлиги маълум бир температура даражасига нисбатан олинади. Халқаро амалиётда шундай «стандарт» ёки «нормал» режим сифатида (бунда компрессор қуруқ тўйинган буғларни сўради деб қабул қилинади): буғланиш температураси $t_0 = -15^\circ\text{C}$, суюқланиш (конденсация) температураси $t_k = +30^\circ\text{C}$, ўта совитиш температураси $t_d = +25^\circ\text{C}$ қабул қилинган.

Хақиқий совитиш машиналарининг схемалари 10.6-расмдаги машинага қараганда бир мунча мураккаблашган бўлади. Масалан, суюқ совитиш элткичи конденсаторда ўта совий олмаса, дроссел вентилидан аввал схемага қўшимча иссиқлик алмашилиш қурилмаси - ўта совиткичлар ўрнатилади. Компрессорнинг «қуруқ юриш»ини таъминлаш учун буғлаткич ва компрессор орасига суюқлик ажраткич (томчи ушлагиш) қўйилиб, совитиш элткичи буғидан ажраган суюқлик буғлаткичга қайтарилади, қуриган буғ эса компрессорга йўналтирилади.

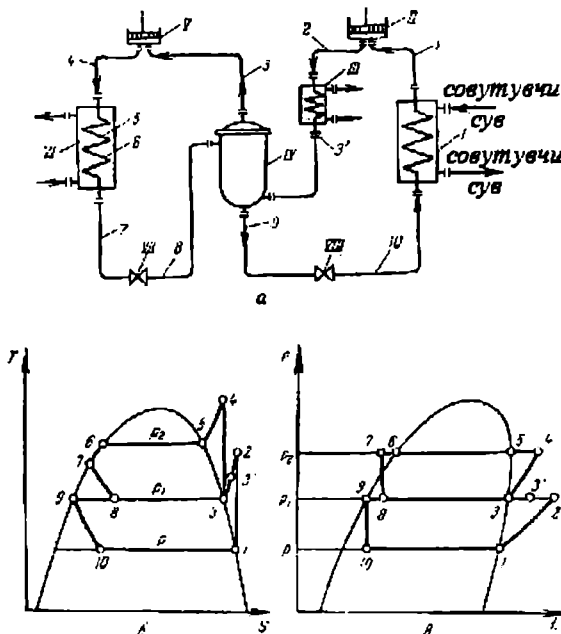
10.6. Икки ва уч босқичли совитиш машиналари

Баъзи бир паст температура олиш талаб қилинган технологик жараёнларда бир босқичли машиналарни эффектив ишлатиб бўлмайди. Масалан, аммиак учун 1 атм босимда қайнаш температураси $t_0 = -34^\circ\text{C}$. Агар бундан паст буғланиш температурасини олиш талаб қилинса, бир босқичли совитиш машинаси иқтисодий кўрсаткичи кичик ёки умуман ишлатишга яроқсиз бўлиши мумкин. Чунки бу ҳолатда конденсация ва қайнаш температуралари фарқи ортганлиги туфайли сиқилиш даражаси ҳам ортади, натижада компрессорнинг фойдали сиқилиш коэффиценти камаяди. Бундан ташқари совитиш элткичи буғларининг сиқилиш даражаси ортганда уларнинг температураси ҳам ортади, бу эса буғларнинг ажралишига олиб келиши мумкин.

Шу сабабларга кўра, нисбатан паст температураларни олиш учун мураккаброқ бўлган икки босқичли (10.7-расм) ва уч босқичли машиналар қўлланилади. Аммиак буғларини сиқиш натижасида икки босқичли машиналарда -50°C гача, уч босқичлида эса -70°C гача температура пасайтиричиши мумкин.

Икки босқичли компрессор совитиш машинасида P босимдаги совитиш элткичи буғлари буғлаткич I дан сўрилиб олинади ва паст босим компрессор цилиндрида оралиқ P_1 босимгача сиқилади. Сиқилган буғ совиткич III дан ўтиб ажраткич идиш IV га келтирилади. У ерда буғлар қайнаётган суюқ совитиш элткичи ичидан юқорига ўтиб (барботаж), совийди ва қуруқ тўйинган ҳолда юқори босим цилиндри V ёрдамида сўриб олинади. У ерда P_2 босимгача сиқилиб, конденсатор VI га йўналтирилади. Конденсацияланиш туфайли ҳосил бўлган суюқ совитиш элткичи дроссел вентил VII да P_1 босимгача дросселланади. Шу босимда суюқ совитиш элткичи ажраткич-идиш IV га кириб, шу босимда совиткич III дан келаётган совитиш элткичи буғларини совитади ва бир қисми буғланади. Суюқ совитиш элткичининг қолган қисми эса VIII дроссел вентилида P босимгача дросселланиб буғлаткич I га келади, у ерда совутилаётган муҳитдан иссиқликни олиб буғланади. Ҳосил бўлган совитиш элткичи буғларини P босимда паст босим цилиндри II сўриб олади.

$T-S$ ва $p-i$ диаграммаларда (10.7б, в-расмлар) икки босқичли компрессор совитиш машинасининг цикли кўрсатилган. Совуқ элткич буғлари паст босим цилиндрида 1-2 адиабата бўйича сиқилади, совиткич III да 2-3' изобара чизиғи бўйлаб бир оз совийди, кейин ажраткич идиш IV да ўта қизиш иссиқлигини тўлиқ йўқотади ва тўйиниш температурасигача совийди (3'-3 изобараси).



10.7-расм. Икки босқичли компрессор совитиш машинаси.

а-қурилма схемаси; б,в-жараённинг T-S ва p-i диаграммалардаги кўриниши;
I-буғлаткич; II-паст босим цилиндри; III-совуткич; IV-ажраткич идиш; V-юқори босим цилиндри; VI-конденсатор; VII, VIII-ростловчи вентиллар.

Кейин тўйинган буғлар юқори босим цилиндрида 3-4 адиабата бўйича 4 - ўта қизиган ҳолатигача сиқилади. Конденсатор IV ўта қизиган совуқлик элткич буғлари 4-5 бўйича тўйиниш ҳолатигача (5 нуқта) совийди ва шу қурилманинг ўзида 5-6 изобара (ҳам изотерма) чизиғи бўйлаб конденсацияланади, ҳамда 6-7 изобара бўйича ўта совийди. VII дроссел вентилидаги дросселланиш жараёни 7-8 — изоэнтальпия чизиғи билан ифодаланади. Контайишдан кейин ҳосил бўлган нам бут (8-нуқта) IV ажраткич идишда буғ (3- нуқта) ва суюқ фазага (9-нуқта) ажралади. Суюқ совуқлик элткич VIII дроссел вентилида 9-10 изоэнтальпия бўйича P босимгача дросселланади ва буғлаткич I да 10-1 изотерма бўйича буғланади.

Икки босқичли совитиш машинасининг паст ва юқори босим цилиндрларидаги сиқилиш даражаси бир босқичлига қараганда кичик, шунинг учун ҳам компрессорнинг ҳажмий фойдали иш коэффиценти юқори бўлади.

10.7. Совуқлик элткичлар

Юқорида кўрсатиб ўтилганидек совитиш коэффицентининг миқдори совуқлик элткичининг хусусиятларига боғлиқ эмас. Лекин, совитиш машинасининг ўлчамлари, конструкцион материалнинг тури, ишчи босимлар, совуқлик элткичининг хусусиятларига боғлиқ. Шунинг учун совуқлик элткичларига қуйидаги талаблар қўйилади:

1) Конденсаторда совуқлик элткич буғларини табиий совутувчи моддалар (сув, ҳаво) билан суюлтиришга имкон бўлиши учун, совуқлик элткичи юқори критик температурага эга бўлиши керак.

2) Юқори бугланиш иссиқлигига эга бўлиши керак. Бу совитиш унумдорлиги юқори бўлиши, ҳамда совуқлик элткич сарфининг камайишига олиб келади.

3) Кичик солиштирма ҳажмга эга бўлиши керак. Бу ўз навбатида совитиш машинасининг ўлчамларини камайтиради.

4) Бугланиш (сўриш) босими атмосфера босимидан юқорироқ бўлгани маъқул. Чунки совуқлик элткич йўқотилишини тўхтатиш, ҳаво сўрилишини тўхтатишдан осонроқ. Системага сўрилган ҳаво буглаткич, конденсаторда иссиқлик алмашиниш жараёнини ёмонлаштиради, сув буглари киргани сабабли ростловчи вентилда музлаб қолиш ҳавфи, ҳамда кимёвий фаол бирлашмаларининг ҳосил бўлишига сабаб бўлади.

5) Суюқланиш (конденсацияланиш) босимининг жуда юқори бўлмаслиги керак. Акс ҳолда қурилма конструкцияси мураккаблашади ва нархи ортиб кетади.

Ундан ташқари, совуқлик элткич кимёвий агрессив бўлмаслиги ва инсон организмга зарарли таъсир кўрсатмаслиги керак; ёнғин ва портлашга ҳавфсиз, олиниши (тайёрланиши) осон ва арзон бўлиши керак.

Қўйилган талабларнинг иккинчиси фақат поршенли компрессорларга тегишли. Турбокомпрессор қурилмалари учун совуқлик элткичлар кичик бугланиш иссиқлигига эга бўлиши керак. Чунки турбокомпрессорлар кўп миқдордаги совуқлик элткичини сиқиш учун мўлжалланган.

Ҳозирги пайтда юқоридаги талабларнинг кўпига мувофиқ келган совуқлик элткичлари — аммиак ва фреонлар. Жуда кам ҳолларда совуқлик элткичи сифатида углерод икки оксиди, олтингугурт ангидриди ва хлорли метил ишлатилади. Пропан, этан ва этилен моддаларини -70°C дан паст температурани олиш учун ишлатилади.

Аммиакнинг афзалликлари қуйидагилар: юқори буг ҳосил бўлиш иссиқлиги, буглаткичдаги унча катта бўлмаган ортиқча (атмосферадан) босим ва юқори бўлмаган конденсация босими. Шу билан бирга аммиак, ёнувчан, заҳарли, ҳаво билан аралашиб портловчи аралашма ҳосил қилиши мумкин ва намлик бўлганда мис ва унинг қотишмаларини емириши (коррозия) мумкин.

Фреонлар — бу метаннинг фторхлор бирикмаларидир. Фреонлар юқори бўлмаган суюқланиш ва бугланиш босимига эга, зарарсиз, ёнғин ва портлашга ҳавфсиз, конструкцион материалларни емирмайди. Камчиликларга эса, совуқлик элткичининг йўқотилишига сабаб бўладиган жуда кичик қовушоқлик ва мойлар билан яхши аралашishi киради.

Углерод диоксида — юқори солиштирма ҳажмий унумдорликка эга, бу эса ўз навбатида компрессор цилиндрларининг ихчам бўлишига олиб келади. Лекин жуда паст критик температура ва юқори конденсацияланиш босимига эга бўлгани учун унинг ишлатилиш соҳаси чегараланган.

Хлорли метил ва олтингугурт ангидридининг асосий камчиликлари паст бугланиш босими (атмосферадан) ва олтингугурт ангидридининг коррозион фаоллиги ва заҳарлилигидир.

Ишлаб чиқариш шароитларида совитиш қурилмалари бошқа бир қанча қурилмаларга хизмат кўрсатиши мумкин ва бу қурилмалар **оралиқ совуқлик элткичлар** орқали совитилади. Оралиқ совуқлик ташувчилар сифатида паст температурада музлайдиган эритмалар — натрий хлорид, кальций хлорид ёки магний хлорид тузларининг сувдаги эритмалари қўлланилади. Совитиш эритмалари насос ёрдамида совитиш машинасининг буглаткичи ва қурилмалар орасида айланма ҳаракат (циркуляция) қилади. Буглаткичда эритма совийди ва қурилмаларда иссиқликни ўзига олиб исийди. Эритма ва унинг концентрациясини танлаш талаб қилинаётган совитиш температурасига боғлиқ. Бу темпера-

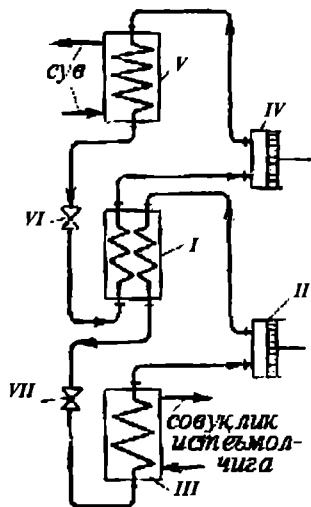
тура эритманинг музлаш температураси — криогидрат нуқта температурасидан юқори бўлиши керак.

10.8. Каскадди цикл

Битта совуқлик элткичида ишлаб суюқликларни буғлатишга асосланган совитиш цикллари ёрдамида -70°C дан паст температура олиб бўлмайди. Бу температура чегараси совуқлик элткичининг хусусиятлари билан белгиланган.

Янада пастроқ температура олиш мақсадида иқтисодий самарадорлиги юқори бўлган **каскадди цикл** қўлланилиши мумкин. Бунда ҳар хил хусусиятли бир қанча совуқлик элткичлари қўлланилиб, юқори қайнаш температурасига эга совуқлик элткичи буғланиб, пастроқ қайнаш температурасига эга бўлган совуқлик элткичининг конденсацияланиш иссиқлигини олади. Шунда иккинчи совуқлик элткичининг суюқланишида биринчисига нисбатан пастроқ температура олинади. Демак, каскадди цикл бу бир қанча ҳар хил оралигида ишловчи совуқлик элткичларига эга бўлган циклларнинг комбинацияси.

10.8-расмда икки совитиш циклидан иборат бўлган каскад цикли тасвирланган. Иккала циклни бирлаштириб турувчи иссиқлик алмашиниш қурилмаси I буғлаткич — конденсатор деб аталади. Каскаднинг қуйи совитиш циклида (компрессор II ва конденсатор III) пастроқ температурада қайнайдиган совуқлик элткичи қўлланилган бўлиб, у буғлаткич конденсаторда ўз конденсацияланиш иссиқлигини юқори совитиш циклида ишловчи қайнаётган совуқлик элткичига беради (компрессор IV ва конденсатор V).



10.8-расм. Каскадди цикл схемаси.

I — буғлаткич (юқори цикл) — конденсатор (қуйи цикл); II — қуйи цикл компрессори; III — қуйи цикл буғлаткичи; IV — юқори цикл компрессори; V — юқори цикл конденсатори; VI — юқори цикл дроссел вентили; VII — қуйи цикл дроссел вентили.

Бир қанча совитиш циклларида иборат каскад қурилмаларида қийин суюладиган газларни суюқликка айлантириш мумкин. Масалан, азотни суюлтириш учун аммиак, этилен, метан ва азот совитиш циклларида иборат каскад қурилмасини қўллаш мумкин.

Газсимон азот -161°C да қайнаётган (атмосфера босимида) метанга ўз иссиқлигини бериб, $182 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (18,6 ат) босимда суюқланади. Буғланган метан $242 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (24,7 ат) босимгача сиқилади ва 104°C (атмосфера босимида)да қайнаётган этиленга ўз иссиқлигини бериб, суюқланади.

Буғланган этилен $186 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (19 ат) босимгача сиқилади ва -33°C (атмосфера босимида) қайнаётган аммиакка конденса-

цияланиш иссиқлигини бериб, суюқликка айланади. Буғсимон аммиак эса 10^6 Н/м^2 (10,2 ат) босимгача сиқилади ва сув томонидан суюқликка айланади.

Каскадли қурилманинг алоҳида циклларида қайтмаслик даражаси кичик бўлгани учун уларда энергия сарфи ҳам камаяди.

10.9. Компрессор қурилмаларининг жиҳозлари

Совитиш қурилмаси таркибига компрессорлар ва ҳар хил турдаги иссиқлик алмашилиш қурилмалари киради.

Компрессорлар. Компрессор совитиш қурилмаларида поршенли, роторли, турбокомпрессорлар ва винтли компрессорлар қўлланилади. Шулардан энг кенг тарқалгани - поршенли компрессорлардир. Юқори ва ўртача унумдорликда V- ва W- симон компрессорлар қўлланилади. Кичик унумдорликда ишловчи фреонли компрессорлар электр юриткич билан бир қобикда жойлаштирилиб, сальниксиз ва герметик равишда ишлаб чиқарилади.

Юқори сиқиш даражаларига эришиш учун кўп босқичли компрессорлар билан бир қаторда кўп босқичли агрегатта уланган бир босқичли компрессорлар ҳам қўлланилади. Масалан, паст босим босқичида махсус сиқиб берувчи (бустер компрессор) қўлланилса, юқори босимгача эса бир босқичли компрессор қўлланилади. Саноатда икки босқичли компрессорлар ҳам кенг ишлатилади. Юқори совитиш унумдорлигида икки ва уч босқичли турбокомпрессорлар қўлланилади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмалари. Совитиш қурилмаларида қўлланиладиган конденсаторлар иссиқликни ажратиб олиши бўйича қуйидагиларга бўлинади:

- 1) Иссиқлик сув томонидан олиб кетиладиган оқимли конденсаторлар;
- 2) Иссиқлик сув томонидан олиб кетилиб ҳавога бугланадиган, ювилиб турувчи — буглаткичли конденсаторлар;
- 3) Ҳаволи конденсаторлар.

Юқори ва ўрта унумдорликда ишловчи қурилмаларда конденсаторларнинг биринчи турига мансуб бўлган қобик трубади конденсаторлар қўлланилади. Кичик қурилмаларда эса, кўпинча ҳаволи конденсаторлар қўлланилади. Буглаткич сифатида кўпчилик ҳолларда чўктирилган ва қобик-трубади иссиқлик алмашилиш қурилмалари қўлланилади.

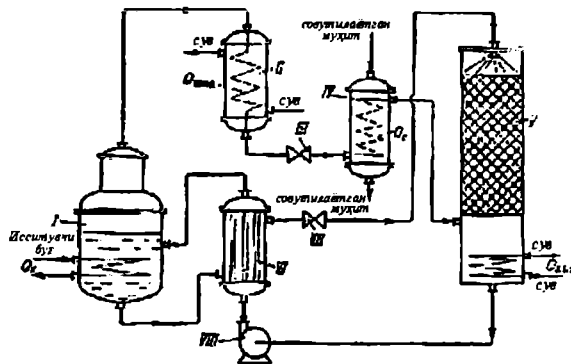
10.10. Абсорбцион совитиш машиналари

Компрессор совитиш машиналаридан фарқли, абсорбцион совитиш машиналарида совуқлик олиш учун механик энергия эмас, балки юқори потенциалли иссиқлик сарфланади.

Абсорбцион совитиш машинасининг ишчи совуқлик элткичи бугларининг P_0 босимда абсорбент томонидан ютилиши (абсорбция) ва кейин қиздиришда P конденсация босимида чиқарилишига асосланган. Совуқлик элткичини суюлтириш учун сиқиш ўрнига, бу ерда ортиқча босим остида ҳайдаш қўллаб-қўлланади.

Абсорбцион совитиш машиналарида кенг тарқалган совуқлик элткичи сифатида аммиак, ютувчи (абсорбент) сифатида эса сув қўлланилади. Маълумки, аммиак сув томонидан яхши ютилади ва бу аралашманинг қайнаш температураси тоза аммиакнинг қайнаш температурасидан анча юқори.

Сув-аммиак абсорбцион совитиш машинасида (10.9-расм) 50% аммиак бўлган сув-аммиак аралашмаси юқори P босимда ишловчи қайнаткич I га келади. Аралашмадан ажраган аммиак конденсатор II да суюқланиб, вентил III дан P_0 босимгача дросселланиб ўтади. Буглаткич IV га кириб, совитилаётган муҳитдан иссиқликни олиб бугланади. Машинанинг совитиш унумдорлиги олиб кетилаётган иссиқлик билан белгиланади.



10.9-расм. Сув-аммиак абсорбцион совитиш машинасининг схемаси:

I – қайнаткич; II – конденсатор; III, VII – ростловчи вентиллар; IV – буғлаткич; V – абсорбер; VI – иситкич; VIII – насос.

Аммиак буғлари буғлаткичдан абсорбер V га келади ва қайнаткич I дан келиб пуркалаётган кучсиз аралашма томонидан ютилади. Ютилиш даражасини ошириш мақсадида қайнаткич ва абсорбер орасига VI иситкич ўрнатилган. Бу иссиқлик иситкичдан чиққан кучсиз аралашма VII дроссел вентилида дросселланиб совийди, кейин абсорберга киради. Абсорбердаги абсорбция иссиқлиги сув томонидан олиб кетилади.

Қайнаткич I га иссиқлик элткич (кўпинча, қизиган буғ) томонидан сув аммиак аралашмасини қайнатиш учун иссиқлик киритилади. Бу иссиқлик совитиш циклини амалга ошириш учун керак бўлган ишга эквивалент. Қурилманинг иқтисодий самарадорлигини ошириш учун амалиётда қайнаткични узлуксиз ишлайдиган ректификацион колонна билан алмаштирилади.

Абсорбцион совитиш машинасининг иссиқлик баланси қуйидагича:

$$Q_k + Q_0 = Q_{\text{конд}} + Q_{\text{абс}}$$

бу ерда, Q_k – иссиқлик элткич томонидан қайнаткичда сув-аммиак аралашмасига келтирилган иссиқлик; Q_0 – буғлаткичда совуқ элткичи томонидан қабул қилинган иссиқлик миқдори (қурилманинг совитиш унумдорлиги); $Q_{\text{конд}}$ – совуқ сув томонидан конденсаторда олиб кетилаётган иссиқлик миқдори; $Q_{\text{абс}}$ – совуқ сув томонидан абсорберда олиб кетилаётган иссиқлик.

Абсорбцион совитиш машинасининг совитиш коэффициенти қуйидагича топилади:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{Q_k}$$

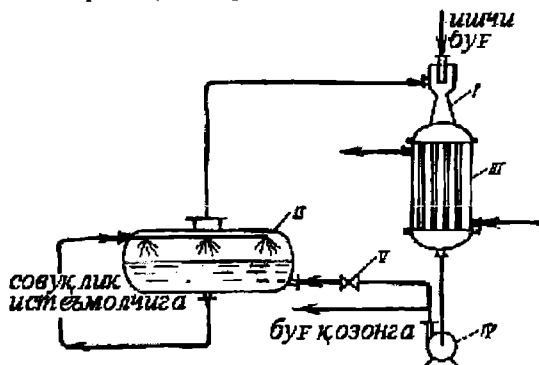
Абсорбцион совитиш машинасининг совитиш коэффициенти компрессор совитиш машинасининг совитиш коэффициентидан кичик. Лекин бу машиналарнинг нисбий самарадорлиги нафақат сарфланган энергиянинг миқдори, балки унинг турига ҳам боғлиқ. Абсорбцион совитиш машиналарида компрессор ишлатадиган электр энергия ўрнига, иккиламчи, арзон энергия сарфланади. Бунинг натижасида айрим ҳолларда бундай машиналарни компрессор машиналарига нисбатан ишлатиш самаралироқ бўлиши мумкин. Абсорбцион совитиш машиналарининг асосий камчилиги (поршенли машиналарга нисбатан) – уларни тайёрлаш учун кўп металл сарфланиши.

10.11. Сув буғ-инжектор совитиш машиналари

Компрессор буғ совитиш машиналарида сувни совутувчи элткич сифатида ишлатиб бўлмайди. Чунки паст температураларни олиш учун жуда паст босимлар ҳосил қилиниши керак. Маълумки, сув буғларининг солиштирма ҳажми юқори бўлади ва уларни сиқиш учун керак бўладиган поршенли компрессор ўлчамлари ясаб бўлмайдиган даражада катта бўлиши керак.

Лекин, поршенли компрессорлар ўрнига буғ-оқимчали инжекторлар қўлланилса, сувни совутувчи элткич сифатида ишлатиш мумкин.

Бундай машинада $40 \cdot 10^4 \dots 60 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ ($\sim 4 \dots 6$ ат) босимидаги сув буғи инжектор соплоси I га киради (10.10-рasm).



10.10-рasm. Сув-буғ инжектор совитиш машинасининг схемаси:

I — инжектор; II — буғлаткич; III — конденсатор; IV — насос;
V — ростловчи вентил.

Буғнинг инжектордаги кенгайишидан буғлаткич II даги босимга тўғри келадиган вакуум ҳосил бўлади. Буғлаткичдан инжекторга совуқ сув буғлари сўрилади. Инжекторнинг диффузорида буғлар аралашмасининг тезлиги пасаяди, босими буғлаткичникидан конденсатор III даги босимгача кўтарилади. Бу ерда совитилаётган сув ёрдамида буғлар аралашмаси суолтирилади. Ҳосил булган конденсат насос IV ёрдамида сўриб олиниб, иккинчи қисми буғ қозонига, бир қисми эса, дроссел вентили V орқали буғлаткич II га, унда буғланиш ҳисобига камайишини компенсация қилиш учун бериледи.

Буғлаткичда совитилган сув истеъмолчисига узатилади. У ердан исиб қайтган сув, яна буғлаткичга қайтади.

Бундай машиналарни -10 дан $+10^\circ\text{C}$ гача буғланиш (қайнаш) температурасини олиш учун ишлатиш мумкин.

Сув-буғ инжектор машиналарининг камчиликларидан бири конденсаторда сув сарфи катта, ҳамда унумдорликни ростлаш мураккаб.

10.12. Ўта паст температурали совуқлик олиш

Техник жиҳатдан муҳим газ аралашмаларини ректификация йўли билан ажратиш учун зарур булган жуда паст температураларни юқорида айтиб ўтилган усуллар билан олиб бўлмайди. Чунки юқоридаги усуллар билан олинган қайнаш температуралари газ аралашмаларини ажратиш жараёнлари учун юқори. Чуқур вакуум ҳосил қилиниб, температура пасайтирилиши баъзи бир совуқлик элткичларининг музлаб қолишига, ҳамда ҳаво сўрилишига олиб келади. Шунингдек компрессор иши қийинлашади.

Жуда паст температура олинда кислород (қайнаш температураси - 183°C) ёки азот (қайнаш температураси 196°C) ни буғлатиш усули ҳам ярамайди. Чунки уларнинг критик температуралари ҳам жуда паст, сув билан суюлтириб бўлмайди.

Критик температураси - 100°C дан паст бўлган газларни (кислород, азот, водород, гелий ва бошқалар) суюлтириш қуйидаги усуллар билан амалга ошириш мумкин:

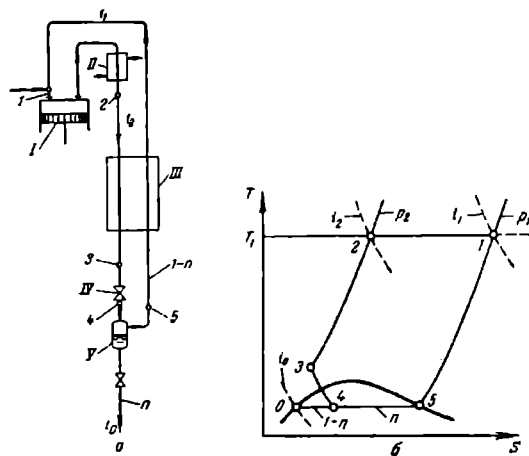
1. Газни дросселлаш усули билан;
2. Газни детандерда ташқи иш бажариш йўли билан кенгайтириш;
3. Дросселлаш ва детандерда кенгайтириш усулларини бирга қўллаш йўли билан.

Газни детандерда кенгайтириш цикли, дросселланиш циклига қараганда, иқтисодий жиҳатдан самарали. Лекин, энг самарадори учинчиси, яъни комбинацияли усул ҳисобланади.

10.13. Газни дросселлаш циклари

Газларни дросселлаш циклари техникада **Линде цикли** дейилади. Бу цикларнинг ҳаммасида **регенератив** усул қўлланилади. Дросселлаш усули билан газни суюлтириб бўлмайди. Қарама-қарши йўналишли регенератив иссиқлик алмашилиш қурилмаси қўлланилса, газни дроссел вентили олдида дросселланиш жараёнида температураси пасайтирилган газ билан совитилса, газ суюқликка айланади.

Бир қарра дросселланишли юқори босим цикли. p_1 босим ва T_1 температурага эга бўлган газ компрессор *I* томонидан сўриб олинади ва p_2 босимгача сиқилиб *II* совиткичга ҳайдалади. У ерда сув томонидан иссиқлик ажратиб олинади ва газнинг температураси бошланғич T_1 ҳолатига келтирилади (10.11-расм). Сиқиш жараёни T - S диаграммада 1-2 изотерма билан тасвирланган.



10.11-расм. Бир қарра дросселланишли, юқори босимли регенератив цикл.

а - схеманинг принципаи қўриниши; б - жараённинг T - S диаграммадаги тасвири; I - компрессор; II - совиткич; III - регенератив иссиқлик алмашилиш қурилмаси; IV - дроссел; V - суюқ маҳсулот йиғгич.

Кейин сиқилган газ қарама-қарши йўналишли регенератив иссиқлик алмашилиш қурилма III да «тескари» газлар ҳисобига ўзгармас босим (изобара

2-3) бўйича совийди. p_2 босимга эга бўлган, совуқ сиқилган газ дроссел IV орқали ўтади. Дросселланиш натижасида газ босими бошланғич p_1 ҳолатга келади, 3-4 изоэнталпия чизиги бўйлаб температураси пасайиб, суёқ фазага ўтади. Газнинг суёлмаган қисми иссиқлик алмашиниш қурилмаси III га ўтиб сиқилган газни совутади. Бу жараёнда «қайтаётган» газ T_1 температурагача p_1 ўзгармас босимда (5-1 изобара) исийди ва компрессор I орқали сўриб олинади, цикл қайтарилади.

Суёлтирилган газ миқдори n нинг суёлмаган $n-I$ қисмига нисбати (1 кг сиқилган газ миқдорига тўғри келувчи) $T-S$ диаграммада 4-5 ва 0-4 кесмалар нисбати билан аниқланади.

Совитиш коэффиценти қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_2}{1,69RT_1 \ln \frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

бу ерда i_1 ва $i_2 - 1$ ва 2 нуқталардаги газнинг энтальпиялари; R – газ доимийси.

Юқори босим бир каррали дросселланиш циклининг совитиш коэффиценти кичик бўлади. Уни кўтариш мақсадида **Линд**нинг такомиллаштирилган цикллари ишлаб чиқарилган. Бу цикллarda самарадорликни ошириш мақсадида қуйидаги усуллар қўлланилади:

1) регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмасига киришдан аввал аммиакни сунъий совитиш;

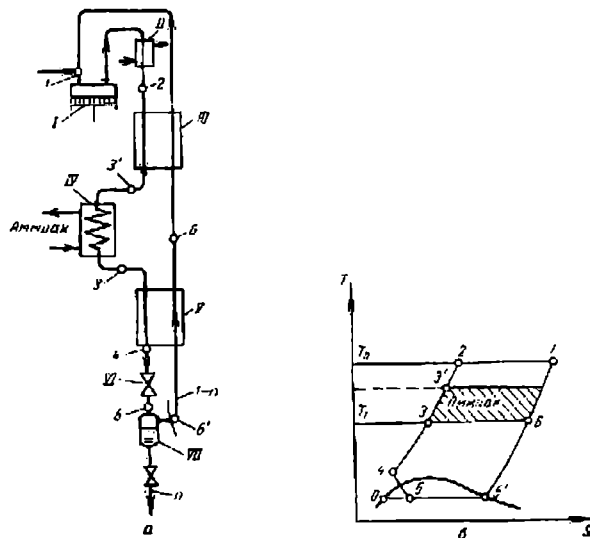
2) юқори босимгача сиқилган газни икки карра дросселланиш, газ циркуляциясини қўллаш.

10.14. Бир карра дросселланишли ва аммиакли совитиш цикли

Бу циклни аввалгисидан фарқи (10.11-расм) шундаки, регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмаси III бу ерда иккита-бирламчи иссиқлик алмашиниш III ва асосий иссиқлик алмашиниш қурилма V лар билан алмаштирилган (10.12-расм). Улар орасидаги қўшимча совуткич IV ўрнатилган бўлиб, у ерда газ дросселланишдан олдин аммиак томонидан совитилади.

Кўриниб турибдики, газ компрессор I томонидан изотермик жараёнда сиқилади ($T-S$ диаграммадаги 1-2 кесма) ва бирламчи иссиқлик алмашиниш қурилма III да «қайтган» (дросселланишдан кейин) газ ёрдамида совутилади (2-3 кесма). Бундан «қайтган» газ бошланғич T_0 температурагача исийди (6-1 кесма). Шундан сўнг, сиқилган газ аммиак совуткич IV да совийди (3'-3 кесма) ва асосий иссиқлик алмашиниш қурилма V дан ўтиб «қайтган» газ томонидан совутилади (3-4 кесма). Иссиқлик алмашиниш қурилма V да «қайтган» газ исийди (5-6 кесма). Сиқилган газ иссиқлик алмашиниш қурилма V дан сўнг, дроссель VI орқали ўтади ва дросселланиш туфайли (4-5 кесма) қисман суёқланади. Газнинг суёлмаган қисми эса (0-5 кесма), V ва III – иссиқлик алмашиниш қурилмаларда совуқлик элткич сифатида ишлатилади.

Аммиак совитиш машинасидаги газни қўшимча совитилиши дроссель цикли самарадорлигини оширади. Буғланаётган аммиак билан совитиш асосан -20 дан -45°C температурагача амалга оширилади.



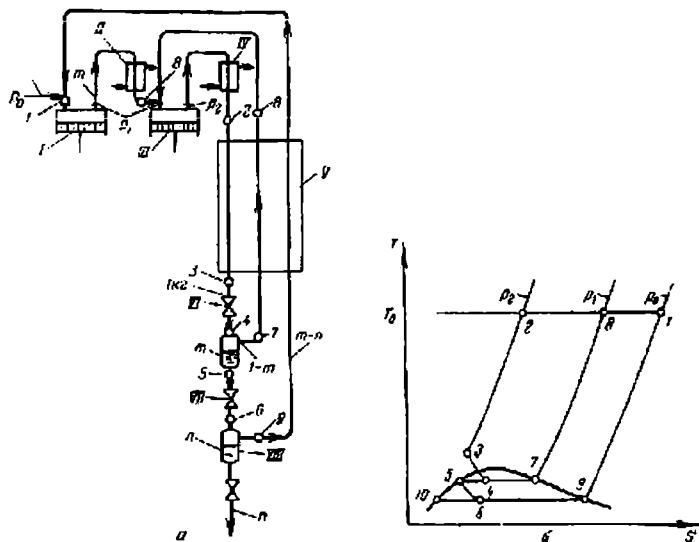
10.12-расм. Бир карра дросселланишли ва қўшиқча совитишли регенератив цикл.
 а – қурилманинг принципаал схемаси; б – T-S диаграммадаги жараённинг қўриниши; I – компрессор; II – компрессор совуткичи; III – бирламчи регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмаси; IV- компрессор совитиш машинасининг аммиак совиткичи; V- асосий регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмаси; VI – дроссель; VII – суюқ маҳсулот йиғич.

10.15. Икки карра дросселланишли ва газнинг босим остидаги айланишли цикли

Дросселланиш туфайли олинаётган суюқлик миқдори дросселланишдан олдинги ва кейинги босимлар фарқи $p_1 - p_2$ га тўғри пропорционал. Изотермик сиқишдаги сарфланаётган иш эса, босимлар нисбати p_2/p_1 нинг логарифмига пропорционал. Демак, газни 200 дан 50 ат гача ёки 150 дан 1 ат гача дросселланса, бир хил совуқлик эффекти олиниши керак. Лекин, биринчи ҳолатдаги бажарилган иш $\ln 200/50$, иккинчи ҳолатда $\ln 150/1$ га пропорционал бўлади, яъни иккинчи ҳолатда сарфланган иш катта. Агар газ қуйи чегаравий босимгача эмас, балки оралиқ босимгача дросселланса, ҳамда суюқликка айланмаган қисмини юқори босимгача сиқишга қайтарилса, газни сиқиш учун кетган умумий энергия сарфи тежаллади. Бу усул қуйида келтирилган циклда қўлланилган (10.13-расм).

Компрессор I да газ атмосфера босими p_0 дан оралиқ босим p_1 гача изотермик сиқилади. Компрессор III да эса, p_1 дан p_2 босимгача сиқилади. II ва IV совиткичлар T_0 бошланғич температурагача совитилган газ қарама-қарши йўналишли регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмасидан ўтади. У ерда дросселланишдан кейинги суюлмаган газ ҳисобига совийди ва дроссел VI дан ўтиб босими p_1 гача пасаяди. Суюлтирилган қисми иссиқлик алмашиниш қурилма V дан ўтиб, ўз совуқлигини юқори босим газига бериб температураси T_0 гача қўтарилади ва компрессор III томонидан яна сўриб олинади.

Газнинг биринчи дросселланишидан кейинги суюқланган қисми дроссель VII орқали ўтиб, босими p_0 гача пасаяди ва бир қисми буғланади. Газнинг буғланган қисми иссиқлик алмашиниш қурилма V га йўналтирилади. У ерда юқори босим газидан иссиқлик олиб температураси T_0 гача қўтарилади ва компрессор I томонидан яна сўриб олинади.



10.13-расм. Икки қарра дросселланишли ва газнинг босим остидаги айланишли цикл.

а – қурилманинг принципиал схемаси; б – $T-S$ диаграммадаги жараённинг тасвири; I – паст босимли компрессор; II – паст босимли компрессор совиткичи; III – юқори босим компрессори; IV – юқори босим компрессорининг совиткичи; V – регенератив иссиқлик алмашилиш қурилмаси; VI, VII – дросселлар; VIII – суёқ маҳсулот йиғигичи.

Иккинчи дросселланишда суёқланган газ қурилмадан тайёр маҳсулот сифатида чиқарилади. Унинг ўрнига шунча n миқдордаги газ компрессор I томонидан сўрилади.

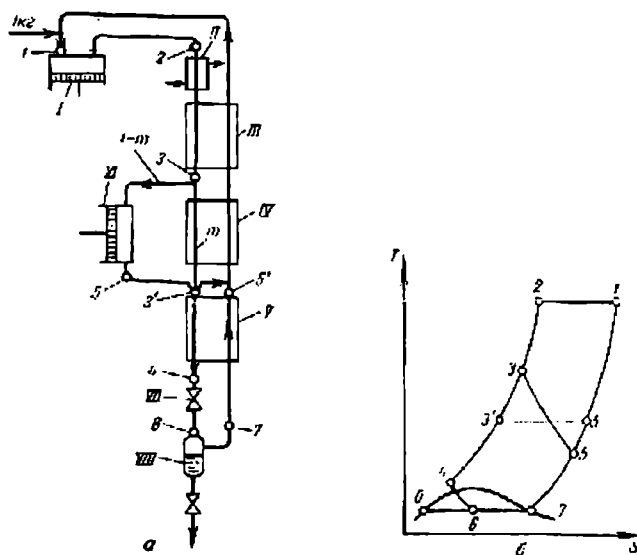
$T-S$ диаграммада 1-2 чизиқ аввал p_1 (8-нуқта) босимгача, кейин p_2 босимгача (2-нуқта) изотермик сиқилишни кўрсатади; 2-3 чизиқ иссиқлик алмашилиш қурилма V даги совитиш жараёни; 3-4 чизиқ дроссель VI даги биринчи дросселланиш; 7-8 - биринчи дросселланишда суёқланмаган газнинг V – иссиқлик алмашилиш қурилмада исиши; 5-6 чизиқ дроссель VII да иккинчи дросселланиш; 9-1 чизиқ иккинчи дросселланишда буғланган газнинг иссиқлик алмашилиш қурилма V да исиши. Нуқта 10 қурилмадан тайёр маҳсулот сифатида чиқарилаётган суёқланган газнинг ҳолатини ифодалайди.

10.16. Дросселланиш ва газни детандерда кенгайишига асосланган цикллар

Агар босимлар фарқи катта бўлса, масалан, газ босими 200 дан 1 ат гача пасайтирилса, Жоуль-Томсон эффекти газ температурасини анча пасайтириш имконини беради. Газни детандерда кенгайтириб, ундан ҳам пастроқ температура олиш мумкин. Лекин газни суёлтириш учун керак бўлган жуда паст температураларни олиш учун, фақат детандерда кенгайишга асосланган цикллар қўлланилмайди. Бунга сабаб, газ суёқланиш температурасига яқин температураларда бўлганда, унинг ҳолати идеал газ ҳолатидан катта фарқ қилади. Газ ҳажми кескин камаяди, натижада кенгайиш хусусияти ҳам камаяди. Бундан ташқари, суёқланиш бошланишида детандерда гидравлик зарба ҳолати вужудга келади ва совуқлик йўқотилиши ортади. Натижада жуда паст температураларда газни детандерда кенгайтириш самарадорлиги ёмонлашади. Шуларни

ҳисобга олган ҳолда, ҳаво ва бошқа газларни суюлтиришда детандерда кенгайтириш фақат маълум даражада, совитиш (суюқлангунча) дросселланиш йўли билан амалга оширилади. Бундай бирлашган циклар газнинг сиқилиш босими бўйича ва детандер конструкцияси (поршнли детандерлар, турбодетандерлар) бўйича фарқланади.

Ўрта босим цикли (Клод цикли). Ўрта босим циклида (10.14-расм) компрессор I да газ $245 \cdot 10^4 \dots 392 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (25...40 атм) босимгача сиқилиб, совиткич II да сўриш босимигача совийди.



10.14-расм. Бирлашган дросселли ва детандерли регенератив циклар.
а – қурилманинг принципаал схемаси; б – жараённинг T-S диаграммадаги тасвири; I – компрессор; II – компрессор совиткичи; III-V – регенератив иссиқлик алмашиниш қурилмалар; VI – детандер; VII – дроссел; VIII – суюқ маҳсулот йиғгич.

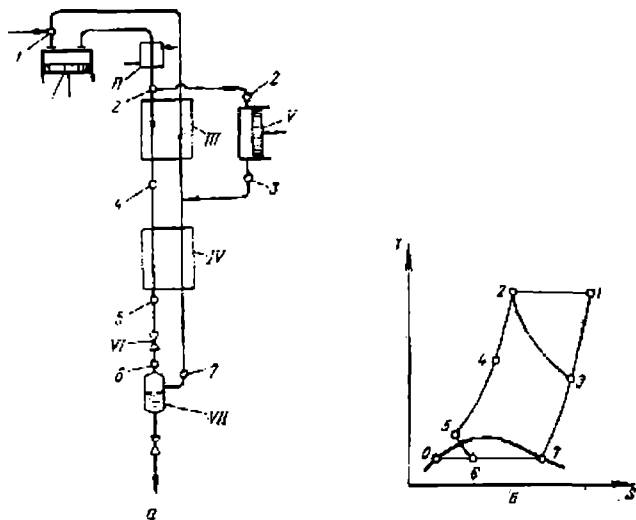
Сиқиш жараени $T-S$ диаграммада 1-2 изотерма чизиги билан тасвирланган. Газ регенератив иссиқлик алмашиниш қурилма III да (2-3 изобара бўйича) совийди ва ундан чиқиб, газ икки қисмга бўлинади. Бир қисми регенератив иссиқлик алмашиниш қурилма IV да (3-3 изобара бўйича) ва V да (3-4 изобара бўйича) совитиш давом эттиради. Бошқа қисми детандер VI да кенгайиб (3-5 кесма), ташқи иш бажарида. Бу иш компрессор I нинг ўқига узатилади (10.14-расмда детандер ва компрессор шартли равишда бир-бири билан боғланмаган ҳолда кўрсатилган). Детандердан чиқаётган паст босимли (1 атм атрофида) совуқ газ кетма-кет IV ва III иссиқлик алмашиниш қурилмалардан ўтиб, сиқилган газ иссиқлигини ўзига олади ва бошланғич температурагача исийди (5-1 кесма). Сиқилган ва совуған газ иссиқлик алмашиниш қурилма V дан чиқиб, дроссел VII да атмосфера босимигача кенгайиб, қисман суюқланади (4-6 кесма). Газнинг суюқланмаган қисми (7-нуқта) сиқилган газни совитиш учун иссиқлик алмашиниш қурилма V (7-5' изобара бўйича), сўнг детандердан чиққан газ билан аралашиб, биргаликда IV ва III иссиқлик алмашиниш қурилмалардан ўтади. Буларда бўладиган иссиқ алмашиниш жараёни изобара 5'-1 билан тасвирланган.

Бу циклда детандер жуда паст температураларда ишлайди, чунки унда кенгаётган газ (ҳаво) таҳминан -140°C гача совийди. Шунинг учун детандер-

нинг фойдали иш коэффициенти — 0,6-0,65 дан ортмайди. Бундан ташқари, юриткични ишлатишда қийинчиликлар пайдо бўлади, чунки бундай шароитларда оддий мойларни қўллаб бўлмайди.

Юқори босим цикли (Гейландт цикли). Бу цикл аввалгисидан унча катта фарқ қилмайди. Фақат бу циклда сиқилган газ регенератив иссиқлик алмашилиш қурилмада совумасдан илгари, юқорироқ температурада ишлайди ва фойдали иш коэффициенти ҳам ортади. Лекин, бу ҳолатда дросселлаб етарли совуқлик олиш учун газни юқорироқ босимгача сиқиш керак (~200 ат).

10.15-расмда кўриниб турибдики, газ компрессор I да сиқилгандан сўнг (изотерма 1-2) икки қисмга бўлинади. Бир қисми совиш учун аввал регенератив иссиқлик алмашилиш қурилма III (жараён 2-4 изобара бўйича боради) дан сўнг иситкич IV (4-5 чизик) дан ўтади. Газнинг бошқа қисми эса детандер V да кенгайиб (2-3 чизик бўйича), ташқи иш бажаради ва бу иш компрессор I нинг ўқига узатилади.



10.15-расм. Бирлашган дросселли ва детандерли регенерациясиз циклар.
а — қурилманинг принципиал схемаси; б — жараённинг T-S диаграммадаги тасвири; I — компрессор; II — компрессор совиткичи; III-V — регенератив иссиқлик алмашилиш қурилмалар; VI — детандер; VII — дроссел; VIII — суюқ маҳсулот йиғгич.

Сиқилган ва III, IV иссиқлик алмашилиш қурилмаларида совиган газ дроссел VI да атмосфера босимигача дросселланади (5-6 изоэнтальпия чизиги бўйлаб) ва қисман суюқликка айланади. Газнинг суюқланган қисми қурилмадан чиқарилади, қолган қисми эса, совутувчи элткич сифатида аввал иссиқлик алмашилиш қурилма IV да, сўнг детандердан чиқаётган газ билан аралашиб, иссиқлик алмашилиш қурилмаси III да сиқилган газдан иссиқлик олади ва бошланғич температурагача исийди (7-1 изобара бўйлаб).

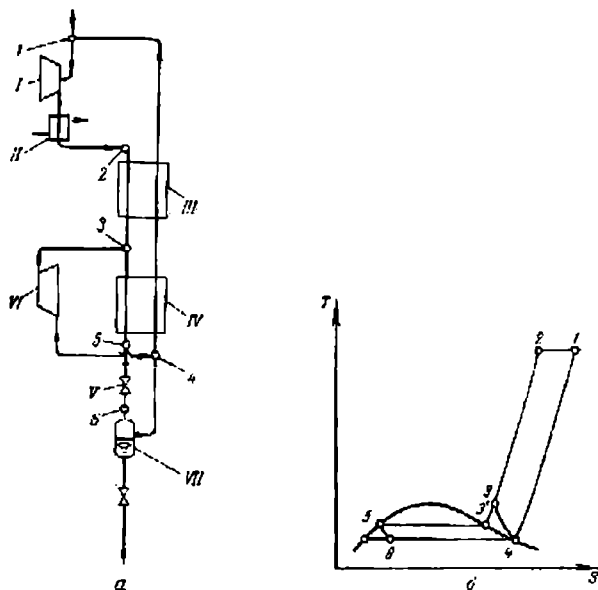
10.17. Паст босим цикли (Капица цикли)

Детандерда газни кенгайтириш самарадорлигини оширишнинг бошқа усули — бу поршенли машиналар ўрнига турбомашиналарни қўллаш.

Академик П.Л. Капица томонидан паст температураларда юқори фойдали иш коэффициентига эга бўла оладиган ($\eta_{дет}=0,8$) бир босқичли турбодетан-

дер кашф этилди. Бу турбодетандерни ишлатиб, 6 атм дан ошмайдиган босимда газни (ҳавони) суюлтириш имкони яратилди. Циклда фақат турбомашиналарни ишлатиб, битта агрегатда жуда катта унумдорликларни олиш мумкин.

Паст босим циклда газ турбокомпрессор I томонидан (изотерма 1-2 бўйлаб) тахминан $59 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (6 атм) гача сиқилади, сўнг шу босимда регенератор III да совутилади (10.16-расм).



10.16-расм. Бирлашган дроссел ва детандерли (регенератив) паст босим цикллари:

а – қурилманинг принципиал схемаси; б – жараённинг T-S диаграммадаги тасвири; 1 – турбокомпрессор; 2 – турбокомпрессор совуткичи; 3, 4 – регенераторлар; 5 – дроссел; 6 – турбодетандер; 7 – суюқ махсулот йиғичи.

Газ иссиқлик алмашиниш қурилмасидан чиқиб икки қисмга бўлинади. Камроқ қисми регенератор 4 га кириб, пастроқ температурагача совийди ва суюқликка айланади (совиш ва суюқланиш жараёнлари 3-3'-5 чизиқлари билан тасвирланган). Суюқланган газ дроссель 5 орқали ўтиб бошланғич босимгача дросселланади (кесма 5-6).

Газнинг кўп қисми турбодетандер 4 да кенгайиб (кесма 3-4), ташқи иш бажаради. Турбодетандердан чиқётган совуқ газ дросселланишида буғланган газ билан (нуқта 4) аралашиб, кетма – кет IV ва III иссиқлик алмашиниш қурилмаларидан ўтади. У ерда сиқилган газ иссиқлигини ўзига олиб, бошланғич температурагача исийди (4-1 изобара чизиги).

10.18. Чуқур совитиш цикллари солиштириш

Юқорида чуқур совитиш цикллари асосий турлари кўриб ўтилди. Бу цикллarning энергетик кўрсаткичларини солиштириш учун у ёки бу газни суюлтиришнинг аниқ ҳолатини кўриб чиқиш керак. Ҳозирги пайтда суюқ кислород ва ҳаво олиш учун нисбатан иқтисодий жиҳатдан самарадор цикл деб юқори босим цикли (Гейландт цикли) ҳисобланади. Шунинг учун суюқ кислород олиш учун поршен детандерли, юқори босим қурилмалари ($p = 19,62$

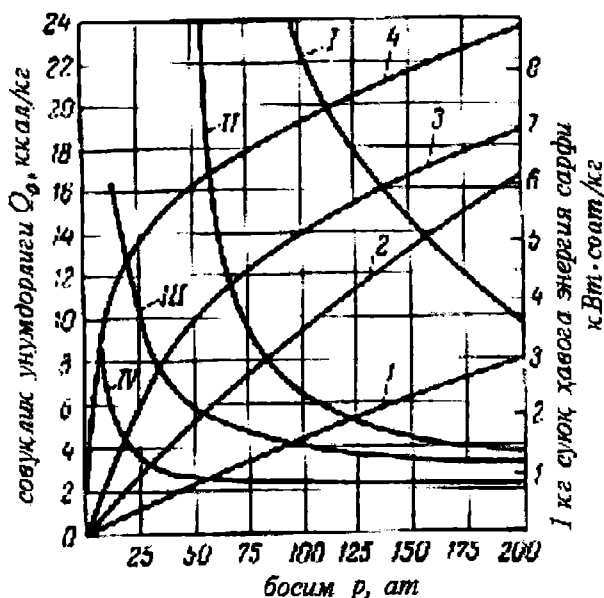
H/m^2 ёки 200 ат) кўпроқ қўлланилади. Улардаги солиштирма энергия сарфи 1,2...1,4 кВт·соат/кг ни ташкил этади.

Йирик қурилмаларда циклниң иқтисодий самарадорлигини ошириш учун сунъий аммиак совитишли циклларни қўллаш мақсадга мувофиқ.

Паст босим қурилмалари (Капица цикли) самарадорлиги камроқ бўлгани билан, юқори босим қурилмаларидан фарқли равишда ҳавони углевод икки оксидидан тозалашни талаб қилмайди ва таркибиди мой бўлмаган суюқ кислород олиш имконини беради, Шу билан бирга регенераторлар ёрдамида тоза маҳсулот олиш имкони йўқ. Шунинг учун олинадиган кислород асосан технологик мақсадларда ишлатилади.

Юқори унумдорлик қурилмаларда газсимон кислород ва азот олиш учун икки карра дросселланишли ва аммиак совитишли, ҳамда детандерли ўрта босим (Клод цикли) цикллари кенг қўлланилади. Уларда энергия сарфи тахминан 0,7-0,8 кВт·соат/ m^3 кислородни ташкил этади. Унумдорлиги 100 m^3 /соат кислороддан ортмайдиган қурилмаларда нисбатан энергия сарфи юқори бўлишига қарамай, мураккаб бўлмаган қурилма ва ишлатишга осон бўлган бир карра дросселланишли цикл қўлланилади.

10.17-расмда суюқ ҳаво олишда ишлатиладиган асосий совитиш циклларининг солиштирма характеристикалари келтирилган.



10.17-расм. Суюқ ҳаво олишда ишлатиладиган асосий совитиш циклларининг солиштирма характеристикалари:

бир карра дросселланишли цикл: 1 – Q_0 , I – N; бир карра дросселланишли ва аммиак совитишли цикл; 2 – Q_0 , II – N; газни детандерда кенгайишли цикл; 3 – Q_0 , III – N; газни детандерда кенгайишли ва аммиак совитишли цикл; 4 – Q_0 , IV – N.

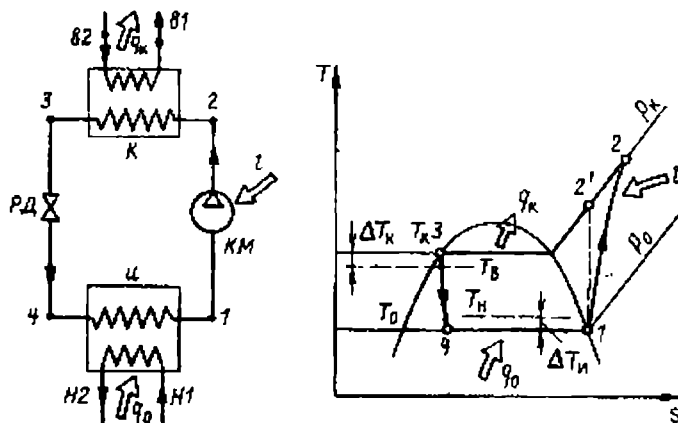
Графиклар ёрдамида 1 кг суюқ ҳаво олиш учун керак бўлган совуқлик унумдорлиги ва энергия сарфини аниқлаш мумкин. Кўрилатган ҳамма циклларда газнинг детандердаги кенгайиш босим $59 \cdot 10^4$ Н/ m^2 (6 атм); ҳаволи компрессорнинг изотермик фойдали иш коэффициенти $\eta_{из}=0,59$; детандернинг фойдали иш коэффициенти $\eta_{дет}=0,65$ бўлган ҳолатлар учун олинган.

Расмдан кўрииб турибдики, олинаётган совуқлик ва энергетик сарфлар бўйича энг самарадор цикл — детандерли ва аммиак совитишли цикллاردир. Бир хил шароитларда ҳавони сиқиш босими ортган сари, цикллarning иқтисодий самарадорлиги ҳам ортади.

10.19. Совитиш жараёни ва машиналарнинг ҳисоблаш

10.1-мисол. Қуйидаги шартлар учун бир босқичли аммиак компрессор совитиш қурилмасининг схемаси ҳисоблансин: совитиш унумдорлиги $Q_0=17,45 \text{ кВт}$; совуқлик элткичининг буғлаткичга кириш ва чиқишдаги температуралари $t_{H1} = -15^\circ\text{C}$, $t_{H2} = -22^\circ\text{C}$;

Совутувчи сувнинг конденсаторга кириш ва чиқишдаги температураси $t_{B2}=+20^\circ\text{C}$, $t_{B1}=25^\circ\text{C}$. Қурилма оралик совуткичсиз ишлайди. Қурилма схемаси 10.18-расмда берилган.

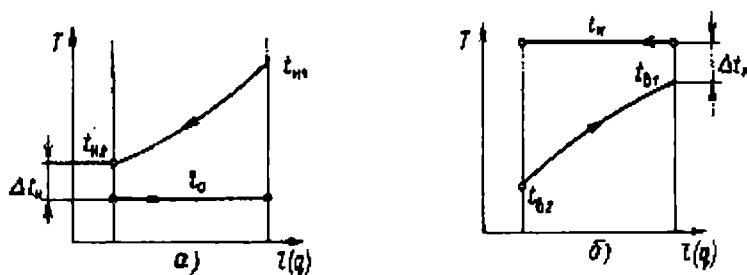


10.18-расм. Буг ва суёқлик компрессор совитиш қурилмасининг схемаси ва жараёнинг T-S диаграммадаги тасвири.

Ҳисоблаш ишларидан схеманинг характерли нуқталарининг параметрлари, қурилмаларнинг иссиқлик юкламалари, компрессор қуввати, қурилманинг совитиш коэффиценти ва эксергетик фойдали иш коэффиценти аниқланиши лозим.

Буғлаткичдаги температуралар минимал фарқини $\Delta t_u = t_{H2} - t_0 = 3^\circ\text{C}$ деб қабул қилиб, ҳисобий қайнаш температурасини аниқлаймиз (10.9-расм).

$$t_0 = t_{H2} - \Delta t_u = -22 - 3 = -25^\circ\text{C}$$



10.19-расм. Оқимлар температурасининг ўзгариш графиклари а) буғлаткичдаги; б) конденсатордаги.

Конденсатордаги температуралар минимал фарқини $\Delta t_k = t_k - t_{B1} = 5^\circ\text{C}$ деб қабул қилиб, ҳисобий конденсация температурасини аниқлаймиз:

$$t_k = t_{B1} + \Delta t_k = 25 + 5 = 30^\circ\text{C}$$

Аммиакнинг T - S – диаграммаси ёки термодинамик жадваллардан ишчи элткичнинг куйидаги характерли нуқталардаги параметрларини топамиз:

$$\begin{array}{llll} 1\text{-нуқта} & t_1 = t_0 = 25^\circ\text{C}; & p_1 = 0,5\text{МПа}; & i_1 = 1652 \text{ Ж/кг}; \quad V = 0,78 \text{ м}^3/\text{кг}; \\ 2\text{-нуқта} & t'_2 = 126^\circ\text{C}; & p_2 = 1,2\text{МПа}; & i'_2 = 1960 \text{ Ж/кг}; \\ 3\text{-нуқта} & t_3 = 30^\circ\text{C}; & p_3 = 1,2\text{МПа}; & i_3 = 562 \text{ Ж/кг}; \\ 4\text{-нуқта} & t_4 = -25^\circ\text{C}; & p_4 = 0,15\text{МПа}; & i_4 = 562 \text{ Ж/кг}; \end{array}$$

Буғлаткичнинг нисбий иссиқлик юкламаси:

$$q_0 = i_1 - i_4 = 1652 - 562 = 1090 \text{ кЖ/кг}$$

Аммиакнинг массавий сарфи:

$$G = 17,45/1090 = 0,016 \text{ кг/с (57,7 кг/соат)}$$

Компрессорнинг электромеханик ва ички фойдали иш коэффициентларини мос равишда $\eta_{эм} = 0,9$ ва $\eta_i = 0,8$ деб қабул қилиб, сову-тувчи элткичнинг компрессордан чиқишдаги энтальпиясини аниқлаймиз:

$$i_2 = i_1 + \frac{l_a}{\eta_i} = i_1 + \frac{(i'_2 - i_1)}{\eta_i} = 1652 + \frac{1960 - 1652}{0,8} = 2040 \frac{\text{кЖ}}{\text{кг}}$$

Компрессорнинг нисбий ички иши:

$$l_B = i_2 - i_1 = 2040 - 1652 = 388 \text{ кЖ/кг}$$

Конденсаторнинг нисбий иссиқлик юкламаси:

$$q_k = i_2 - i_3 = 2040 - 562 = 1478 \text{ кЖ/кг}$$

Курилма балансини текшираимиз:

$$q_k = l_b + q_0 = 388 + 1090 = 1478 \text{ кЖ/кг}$$

Компрессорнинг ҳажмий унумдорлиги:

$$V_0 = G \cdot v_1 = 57,7 \cdot 0,78 = 45 \text{ м}^3/\text{соат} = 0,0125 \text{ м}^3/\text{с}$$

Конденсаторнинг иссиқлик юкламаси:

$$Q_k = 0,016 \cdot 1478 = 23,7 \text{ кЖ/с}$$

Компрессорнинг нисбий иши:

$$l_k = \frac{l_B}{\eta_{эм}} = \frac{388}{0,9} = 432 \text{ кЖ/кг}$$

Олинган совуқлик бирлигига тўғри келувчи электр энергиянинг нисбий сарфи:

$$\mathcal{E}_x = \frac{l_k}{q_0} = \frac{l_a}{\eta, \eta_{зм} q_0} = \frac{432}{1090} = 0,3955$$

Компрессорнинг электрик қуввати:

$$N_j = l_k G = 432 \cdot 0,016 = 6,92 \text{ кВт} \approx 7 \text{ кВт}$$

Совитиш коэффициенти:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_k} = \frac{1}{\mathcal{E}_x} = \frac{1090}{432} = 2,53$$

Совуқликнинг ишга яроқлилик коэффициенти аниқлаш учун совуқлик элткичининг ўртача температурасини аниқлаймиз:

$$T_{н.ср.} = \frac{T_{н1} - T_{н2}}{\ln \frac{T_{н1}}{T_{н2}}} = \frac{258 - 251}{2,3 \lg \frac{258}{251}} = \frac{7}{2,3 \cdot \lg 1,027} = \frac{7}{2,3 \cdot 0,0118} = 254 \text{ К}$$

Совуқликнинг ишга яроқлилик коэффициенти:

$$(\tau_q)_н = 1 - \frac{T_{о.с.}}{T_{н.ср.}} = 1 - \frac{293}{254} = -0,153$$

$\mathcal{E}_н = -(\tau_q)_н$ бўлгани учун, идеал циклдаги электр энергиясининг нисбий сарфи 0,153 га тенг бўлади.

Совитиш қурилмаси буғлаткичидаги энергия йўқотилишлари (совуқлик элткичи бўйича) ни назарда тутган фойдали иш коэффициенти:

$$\eta'_e = \frac{q_0 (\tau_q)_н}{l_k} = \frac{Q_0 (\tau_q)_н}{N_j} = \frac{1090 \cdot 0,153}{432} = 0,387 (\approx 39\%)$$

Совитиш қурилмаси буғлаткичидаги энергия йўқотилишлари (совуқлик элткич бўйича) назарда тутган фойдали иш коэффициенти:

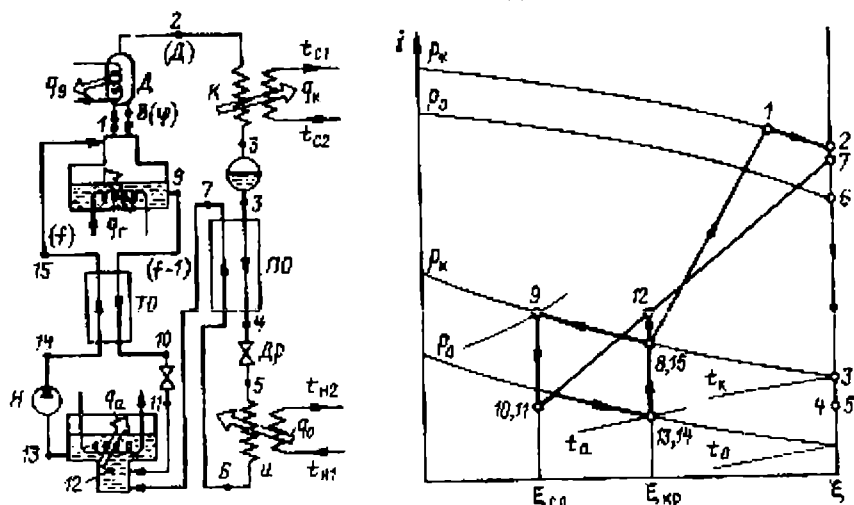
$$\eta''_a = \frac{\bar{q}_0 (\tau_0)_0}{l_e} = \frac{1090 \cdot 0,182}{432} = 0,46 (\approx 46\%)$$

бу ерда

$$(\tau_q)_0 = 1 - \frac{T_{о.с.}}{T_0} = 1 - \frac{293}{248} = -0,182$$

10.2-мисол. Бир босқичли абсорбцион совитиш қурилмасининг совитиш унумдорлиги $Q_0 = 1000$ кВт. Намоқобнинг буғлаткичга кириш темпера-

тураси $t_{H1} = -20^{\circ}\text{C}$ ва чиқиш температураси $t_{H2} = -30^{\circ}\text{C}$; совутувчи сувнинг қурилмага кириш ва чиқиш температуралари $t_{B2} = -20^{\circ}\text{C}$, $t_{B1} = -25^{\circ}\text{C}$. Иситувчи сув бугининг босими $p = 0,275 \text{ МПа}$ ($t_s = 130^{\circ}\text{C}$). Ишчи элткич аммиак; абсорбент сув. Буғлаткич ва конденсатордаги температуралар фарқи мос равишда $\Delta t_u = 3^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_k = 5^{\circ}\text{C}$; температуралар фарқи: абсорберда- $\Delta t_a = 5^{\circ}\text{C}$; генераторда- $\Delta t_r = 6^{\circ}\text{C}$; совуткичда- $\Delta t_{3-7} = 10^{\circ}\text{C}$; аралашма иссиқлик алмашиниш қурилмасида $\Delta t_{14-10} = 10^{\circ}\text{C}$; дефлегматорда $\Delta t_d = 15^{\circ}\text{C}$ (10.20-расм).



10.20-расм. Сув - аммиак совитиш қурилмасининг схемаси ва $i - \xi$ -диаграммада жараён тасвири.

Жараённинг характерли нуқталаридаги параметрларни аниқлаймиз ва жараённи $i - \xi$ -диаграммада қурамиз. Қурилмаларнинг иссиқлик юкламалари, энергиянинг нисбий сарфи, қурилманинг совитиш ва эксергетик фойдали иш коэффициентларини топамиз. Совутувчи элткичнинг қайнаш температураси:

$$t_0 = t_{H2} - \Delta t_u = -30 - 3 = -33^{\circ}\text{C}$$

Бу температурага мос келувчи босим $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$. Конденсатордаги босим $p_k = 1,2 \text{ МПа}$. Конденсацияланиш температураси:

$$t_k = t_{B1} + \Delta t_k = 25 + 5 = 30^{\circ}\text{C}$$

Паст концентрацияли эритманинг генератордан чиқиш температураси:

$$t_9 = t_s - \Delta t_r = 130 - 6 = 124^{\circ}\text{C}$$

Паст концентрацияли эритманинг параметрлари:

$$\xi_{c1} = 0,0225; \quad i_9 = 462 \text{ кЖ/кг}$$

Юқори концентрацияли эритманинг абсорбердан чиқиш температураси:

$$t_{13} = t_{B2} + \Delta t_a = 20 + 5 = 25^{\circ}\text{C}$$

Юқори концентрацияли эритманинг параметрлари:

$$\xi_{13} = 0,315; \quad i_{13} = 0 \text{ кЖ/кг}$$

Эритманинг циркуляция карралиги:

$$f = \frac{G_{кр}}{D} = \frac{G_{15}}{G_2} = \frac{\xi_2 - \xi_{сг}}{\xi_{кр} - \xi_{сг}} = 1 - \frac{0,225}{0,315 - 0,225} = \frac{0,775}{0,09} = 8,62$$

Дефлегматордан чиқишдаги буғнинг параметрлари:

$$t_2 = t_{B1} + \Delta t_D = 25 + 15 = 40^\circ \text{C}; \quad \xi_2 = 1; \quad i_2 = 1660 \text{ кЖ/кг}$$

Генератордан чиқишда мувозанат ҳолдаги буғ параметрлари:

$$p_1 = 1,2 \text{ МПа}; \quad t_1 = 105^\circ \text{C}; \quad \xi_1 = 0,925; \quad i_1 = 1890 \text{ кЖ/кг}$$

Дефлегматордан флегманинг нисбий чиқиши (флегма нисбати):

$$\varphi = \frac{G_8}{G_2} = \frac{\xi_2 - \xi_1}{\xi_1 - \xi_8} = \frac{1 - 0,925}{0,925 - 0,315} = \frac{0,075}{0,61} = 0,123$$

Дефлегматорни нисбий иссиқлик юкламаси:

$$q_D = (i_1 - i_2) + \varphi(i_1 - i_8) = (1890 - 1660) + 0,123(1890 - 377) = 416 \text{ кЖ/кг}$$

Паст концентрацияли эритманинг иссиқлик алмашилиш қурилмасидан кейинги параметрлари:

$$t_{10} = t_{14} + \Delta t_{mo} = t_{14} + \Delta t_{14-10} = 25 + 10 = 35^\circ \text{C}; \quad i_{10} = 62 \text{ кЖ/кг}$$

Юқори концентрацияли эритманинг генераторга киришидаги энтальпияси:

$$i_{15} = i_{14} + \frac{f-1}{f}(i_9 - i_{10}) = 0 + \frac{8,62-1}{8,62}(462 - 62) = 352 \text{ кЖ/кг}$$

Флегманинг $\xi_8=0,315$ даги энтальпияси:

$$i_8 = 377 \text{ кЖ/кг}$$

$i_8 > i_{15}$ бўлгани учун топилган i_{10} қиймат кейинги ҳисоблашлар учун ишлатилади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмасининг нисбий иссиқлик юкламаси:

$$q_k = i_1 - i_2 = 1660 - 500 = 1160 \text{ кЖ/кг}$$

Совуқлик элткичи буғларининг совуткичдан кейинги температураси:

$$t_7 = t_3 - \Delta t_{n.o.} = t_k - \Delta t_{3-7} = 30 - 10 = 20^\circ \text{C}$$

Аммиакнинг $T-S$ диаграммасидан $i_7=1760$ кЖ/кг эканини аниқлаймиз. $T-S$ ва $I-\xi$ диаграммаларидаги энтальпия қийматлари ўртасидаги фарқнинг тузатиш катталигини $\Delta i=285-210=75$ кЖ/кг эътиборга олиб $i_7=1760-75=1685$ кЖ/кг ни топамиз.

Совуткичнинг нисбий иссиқлик юкламаси:

$$q_{n.o.} = i_7 - i_6 = 1685 - 1574 = 111 \text{ кЖ/кг}$$

Суюқ аммиакнинг дросселдан олдинги энтальпияси:

$$i_4 = i_3 - q_{n.o.} = 500 - 111 = 389 \text{ кЖ/кг}$$

Курилманинг нисбий совитиш унумдорлиги:

$$q_o = 1574 - 389 = 1185 \text{ кЖ/кг}$$

Абсорбция жараёнида ажраб чиқаётган нисбий иссиқлик миқдори:

$$q_a = (i_7 - i_{10}) + f(i_{10} - i_{13}) = (1685 - 62,8) + 8,62 = (62,8 - 0) \approx 2160 \text{ кЖ/кг}$$

ёки

$$q_a = f(i_{12} - i_{13}) = 8,62(2,51 - 0) \approx 2160 \text{ кЖ/кг}$$

Генераторнинг нисбий иссиқлик юкламаси:

$$q_g = (i_1 - i_9) + f(i_9 - i_{15}) + \phi(i_1 - i_9) = \\ = (1890 - 462) + 8,62 = (462 - 352) + 0,123(1890 - 377) = 25560 \text{ кЖ/кг}$$

Курилманинг иссиқлик баланси:

$$q_{узат} = q_{ажр}$$

$$q_{узат} = q_g + q_o = 2550 + 1185 = 3735 \text{ кЖ/кг}$$

$$q_{узат} = q_a + q_k + q_D = 2160 + 1160 + 416 = 3736 \text{ кЖ/кг}$$

Ишчи элткич (аммиак) сарфи:

$$G = 1000/1175 = 0,85 \text{ кг/с}$$

Курилмаларнинг иссиқлик юкламалари:

а) генераторники: $Q_g = Gq_g = 0,85 \cdot 2550 = 2170 \text{ кВт};$

б) абсорберники: $Q_a = 0,85 \cdot 2160 = 1835 \text{ кВт};$

в) совуткичники: $Q_{n.o.} = 0,85 \cdot 111 = 94,5 \text{ кВт};$

г) конденсаторники: $Q_k = 0,85 \cdot 1160 = 985 \text{ кВт}$;

д) дефлегматорники: $Q_D = 0,85 \cdot 416 = 354 \text{ кВт}$

Исциқликнинг нисбий сарфи:

$$\Xi = \frac{q_c}{q_0} = \frac{Q_c}{Q_0} = \frac{2170}{1000} = 2,17$$

Совитиш коэффициенти:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{q_c} = \frac{1000}{2170} = 0,463$$

Курилманинг совуқ элткич бўйича эксергетик фойдали иш коэффициенти:

$$\eta_e = \frac{q_0 (\tau_q)_0}{q_c (\tau_q)_B} = \varepsilon \frac{(\tau_q)_0}{(\tau_q)_B} = 0,463 \frac{0,22}{0,273} = 0,373$$

бу ерда

$$(\tau_q)_0 = \frac{T_0 - T_{o.c.}}{T_0} = \frac{240 - 293}{240} = -0,22$$

$$(\tau_q)_B = \frac{T_B - T_{o.c.}}{T_B} = \frac{403 - 293}{430} = 0,273$$

ёки

$$\eta_2 = \frac{e_k^a}{e_x^a} = \frac{0,22}{0,592} = 0,373 \quad e_x^a = \frac{q_1 (\tau_q)_B}{q_0} = \Xi (\tau_q)_B = 2,17 \cdot 0,273 = 0,592$$

$$e_k^a = \frac{T_{oi} - T_0}{T_0} = \frac{293 - 240}{240} = 0,22$$

Курилманинг совуқ элткич бўйича фойдали иш коэффициенти:

$$\eta_e = \varepsilon \frac{(\tau_q)_O}{(\tau_q)_B} = 0,463 \frac{0,181}{0,273} = 0,306 \approx 31\%$$

бу ерда

$$(\tau_q)_O = 1 - \frac{T_{o.c.}}{T_{yp}} = 1 - \frac{293}{248} = -0,181, \quad T_{yp} = \frac{253 + 243}{2} = 248 \text{ К}$$



11.1. Умумий тушунчалар

Ёқилги — энергетик ресурсларни тежаш ва материал, иссиқлик йўқотилишларисиз ишлаб чиқаришни ташкил этиш, технологик ва энергетик жараёнларнинг ўзаро боғлиқлик қонуниятларини ўрганувчи энергетиканинг бўлими **энерготехнология** деб аталади.

Ҳозирги вақтгача кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноат корхоналари бирламчи энергоресурсларининг (ёқилги, иссиқлик ва электр энергия) асосий истеъмолчилари ҳисобланади. Корхонанинг энерготехнологик схемаси тўғри лойиҳаланганда, нафақат бирламчи энергоресурслар сарфини камайтириш, балки ташқаридан жалб этилаётган иссиқлик ва электр энергияга ҳожат қолмайди. Энергетик жиҳозлар (иссиқлик ва буғ генераторлари, қозон-утилизаторлар, буғ ва газ турбиналари, иссиқлик алмашилиш қурилмалари, совитиш қурилмалари, иссиқлик насослари ва трансформаторлар) кимё-технологик жиҳозларга бевосита боғланиб, ягона системани ҳосил қилувчи **энергокимё — технологик система** (ЭКТС)ларни яратиш энг истиқболли ҳисобланади. Бундай ЭКТСда технологик параметрларнинг ҳар бир ўзгаришига, энергетик параметрларнинг тегишли ўзгаришлари мос келади ва аксинча. Шу тариқа ЭКТСда технологик ва энергетик босқичлар орасида ўзаро боғлиқлик вужудга келади.

Бирламчи энергоресурсларни тежаш, иккиламчи энергоресурслардан унумли фойдаланишга боғлиқ; иккиламчи энергоресурсларга ўтхона ва технологик газлар, оқава суюқликлар физик иссиқлиги, саноат чиқиндиларининг ёниш иссиқлиги, кимё корхоналари маҳсулот ва хом-ашёларининг ортиқча босим энергиялари киради. Барча кимё-технология системаларида (КТС) бирламчи энергоресурслардан максимал даражада фойдаланиш тайёр маҳсулот сифатини пасайтирмаслиги зарур.

Кимё корхоналари энерготехнология схемаларини яратишда энг аввал ишлаб чиқариш чиқиндиларидан максимал фойдаланиш зарур. Бунинг имкони бўлмаган ҳоллардагина иссиқлик олиш мақсадида ишлаб чиқаришнинг ёнувчан чиқиндиларини ёқиш мақсадга мувофиқ. ЭКТС яратишга бундай ёндошиш сабабли энергия бўйича ҳам, материал бўйича ҳам чиқиндисиз технологияларни яратиш мумкин. Бошқача қилиб айтганда, энерготехнология энергоресурсларни тежаш ва атроф муҳитни ҳимоя қилиш имконини беради.

11.2. Энергокимё-технологик системаларни (ЭКТС) термодинамик таҳлил қилиш усуллари

ЭКТС ни яратиш учун термодинамик таҳлил қилиш зарур. Бу таҳлил қуйидаги икки мақсадларда бажарилади:

1) ЭКТС ҳақида ишончли маълумотларни олиш учун ундаги энергетик ўзгаришлар аниқланади (система ва унинг элементлари фойдали иш коэффициент қийматлари, системадаги йўқотилишлар тақсимооти ва характери, система ҳар бир элементининг нисбий массаси, элементларaro алоқалар характеристикаси, атроф муҳит билан ўзаро таъсири ва бошқалар). Бу маълумот системани мукаммаллаштириш ва уни саноатнинг бошқа системалари билан солиштириш ишларига асос бўлади;

2) Максимал термодинамик ва иқтисодий унумдорликка эришиш учун ЭКТС элементларининг турли хил параметрлари оптималлаштирилади. Бунда

шуни назарда тутиш лозимки, кўпинча термодинамик жиҳатдан унумли бўлган ЭКТС иқтисодий жиҳатдан унумли бўлмайди.

ЭКТСни термодинамик таҳлилининг энг оддий усули термодинамиканинг биринчи қонунига асосланган **энергетик усулидир**. Бу усул ЭКТС ва унинг элементларидаги энергия йўқотилишларини, ҳамда жараёнларнинг энг катта йўқотилишлари билан кечувчи ЭКТС элементларини аниқлайди. Энергетик усулнинг асосий камчилиги, турли кўринишдаги энергиянинг қиммати, яъни энергиянинг амалий яроқлилиги, эътиборга олинмайди. Бу эса, термодинамиканинг иккинчи қонунига зиддир.

Ҳақиқий жараёнларда қайтмас энергия йўқотилишлари содир бўлади. Шунинг учун ҳозирги вақтда системаларни термодинамик таҳлил қилишда жараёнларни қайтмаслигини инобатга олувчи иккита усули қўлланилади: **энтропия** (цикллар усули) ва **эксергия усуллари**. Иккала усулга ҳам Р.К.Клаузиус, Д.В. Гиббс ва А. Стодола илмий ишларида асос солинган. Ундан ташқари, бу усулларнинг ривожига А.И. Андрюшенко, В.М.Бродянский, Д.П. Гохштейн ва бошқалар ўз хиссаларини қўшганлар. Иккала усул ҳам термодинамиканинг иккинчи қонунига асосланган бўлиб, бир мақсад учун, яъни ҳақиқий жараёнлардаги энергия йўқотилишларини аниқлаш учун ишлатилади.

Энтропия усули. Системаларни термодинамик таҳлил қилишнинг қонунлари асосида ташқи энергетик оқимлар (иссиқлик миқдори ва иш) ва система параметрлари, ҳамда айрим ички параметрлар орасидаги боғлиқликни аниқлаш имконини беради. Термодинамик жараёнлар бораётган системанинг иссиқлик балансини таҳлил қилиш билан системани характерловчи коэффициентларни ҳисоблаш ва уларни идеал термодинамик жараёнларнинг ўхшаш коэффициентлари билан таққослаш мумкин. Бу жараёнлар қайтмаслиги туфайли берилган системадаги олинаётган ва сарфланаётган ишларнинг йўқотилишларини аниқлаш имконини беради. Агар бу маълумотлар системанинг муҳандислик таҳлили учун етарли бўлмаса, у ҳолда цикллар таҳлили системанинг алоҳида қисмларидаги энтропия ортиши ҳисоби билан тўлдирилади.

Системанинг унумдорлигини термодинамик баҳолаш учун қуйидаги 4 саволга жавоб топиш зарур:

- 1) қурилма тескари циклининг фойдали иш коэффициенти нечага тенг, у қайси омилларга боғлиқ ва уни ошириш учун нима қилиш зарур?
- 2) ҳақиқий қурилмада жараёнларнинг қайтмаслиги туфайли содир бўлувчи йўқотилишлар қанча?
- 3) бу йўқотилишлар қурилманинг элементлари бўйича қандай тақсимланган?
- 4) қайтмаслик даражасини камайтириш, хусусан цикл фойдали иш коэффициенти ошириш мақсадида қурилманинг қайси қисмига эътибор бериш зарур?

Ана шу вазифаларга биноан қурилманинг термодинамик таҳлили икки босқичда амалга оширилади: аввалига қайтар цикл таҳлил қилиниб, сўнгра йўқотилишларнинг асосий манбалари эътиборга олинган ҳолда, қайтмас цикл таҳлил қилинади. Қайтар циклнинг фойдали иш коэффициенти ушбу формуладан аниқланади:

$$\eta_t = \frac{q_4}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{l_4}{q_1} \quad (11.1)$$

ва у термик фойдали иш коэффициенти деб номланади. Ҳақиқий циклиники эса:

$$\eta_i = \frac{l_y^D}{q_1} \quad (11.2)$$

ички фойдали иш коэффициенти дейилади. Ички фойдали иш коэффициентини ишчи жисм амалга ошираётган жараёнларнинг мукамаллик даражасини характерлайди.

Берилган циклнинг мукамаллик даражаси унинг термик фойдали иш коэффициентини Карно цикли термик фойдали иш коэффициентини билан солиштириш орқали характерланади. Солиштириш бир хил температуралар оралигида амалга оширилади ва нисбий термик фойдали иш коэффициентини, деб аталади:

$$\eta_{oi} = \frac{\eta_i}{\eta_k} \quad (11.3)$$

Берилган ҳақиқий (қайтмас) цикл назарий (қайтар) циклга нисбатан қанчалик мукамал эмаслигини баҳолаш учун нисбий ички фойдали иш коэффициентини тушунчаси киритилган:

$$\eta_{oi} = \frac{\eta_i}{\eta_t} = \frac{l_y^D}{l_y} \quad (11.4)$$

Лекин, қурилманинг ҳақиқий шароитларда ишлашида η_{oi} билан ифодаланувчи қайтмас йўқотилишлардан ташқари (ишчи жисм ҳосил этувчи жараёнлардаги йўқотилишлар) иссиқлик, механик, кимёвий ва электрик жараёнларнинг қайтмаслиги туфайли пайдо бўлувчи йўқотилишлар ҳам содир бўлади. Шунинг учун, ҳақиқий қурилманинг унумдорлиги ташқи истеъмолчига берилган энергия миқдорининг (иссиқлик ёки иш шаклидаги) қурилмага узатилган энергия миқдори (иссиқлик ёки иш шаклидаги) нисбатига тенг бўлган **эффектив фойдали иш коэффициентини** η билан характерланади. Система унумдорлиги ундаги эксергия билан ҳам ифодаланиши мумкин: ҳар бир элементдаги эксергетик йўқотилишларни ҳисоблаб, бутун системадаги эксергетик йўқотилишларни топиш мумкин.

Системанинг асосий элементи бўлиб, ташқи иш ҳисобига сиқиш жараёнларини амалга оширувчи қурилмалар (компрессорлар, турбокомпрессорлар, насослар ва ҳ.) ва кенгайиш ҳисобига иш бажарувчи қурилмалар (буғ ва газ турбиналари, турбодетандерлар) ҳисобланади. Ҳақиқий сиқиш ва кенгайиш жараёнлари қайтмас бўлиб, системанинг ҳар бир j – элементининг нисбий ички фойдали иш коэффициентини қуйидагича аниқланади:

кенгайтирувчи қурилмалар учун

$$\eta_{oi,j}^p = \frac{l_{p,j}^D}{l_{p,j}} \quad (11.5)$$

бу ерда $l_{p,j}^D$ ва $l_{p,j}$ - система j – элементининг ҳақиқий ва назарий кенгайиш ишлари; сиқувчи қурилмалар учун

$$\eta_{oi,j}^c = \frac{l_{c,j}}{l_{c,j}^D} \quad (11.6)$$

бу ерда $l_{c,j}$ ва $l_{c,j}^D$ - система j – элементининг ташқи энергия ҳисобига бажарган назарий ва ҳақиқий ишлари; бунда ҳақиқий сиқиш ишида, назарий жараёндагига нисбатан кўпроқ энергия ($l_{c,j}^D$) сарфлашга тўғри келади.

Демак, қурилмадаги циклнинг қайтар иши:

$$l_{\eta} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c,j} \quad (11.7)$$

қайтмас иши эса:

$$l_{\eta}^{\text{II}} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j}^{\text{II}} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c,j}^{\text{II}} \quad (11.8)$$

ёки (11.5) ва (11.6) формулаларни эътиборга олсак:

$$l_{\eta}^{\text{II}} = \sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c) \quad (11.9)$$

у ҳолда (11.4) формулани назарга тутган ҳолда:

$$\eta_{oi} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c)}{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} - \sum_{j=1}^{j=n} l_{c,j}} \quad (11.10)$$

циклнинг ички фойдали иш коэффициентини η_j (11.1), (11.7) ва (11.10) формулаларни эътиборга олган ҳолда:

$$\eta_i = \eta_{oi} \eta_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c)}{l_{\eta}} \cdot \frac{l_{\eta}}{q_1} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} l_{p,j} \eta_{oi,j}^p - \sum_{j=1}^{j=n} (l_{c,j} / \eta_{oi,j}^c)}{q_1} \quad (11.11)$$

Системани ҳар бир элементидаги йўқотилишлар, шу элементлар эффектив фойдали иш коэффициентини $\eta_{e,j}$ билан ҳам ифодаланади. Система элементларининг барча эффектив фойдали иш коэффициентини циклнинг абсолют ички фойдали иш коэффициентларига кўпайтириб, бутун системанинг эффектив фойдали иш коэффициентини ҳосил қиламиз:

$$\eta_e = \eta_{oi} \eta_i \prod_{j=1}^{j=n} \eta_{e,j} \quad (11.12)$$

бу ерда $\prod_{j=1}^{j=n}$ системанинг барча n элементларидаги қайтмас йўқотилишларни характерловчи эффектив фойдали иш коэффициентини кўпайтмаси.

η_e фойдали иш коэффициентини системадан ажралган иссиқликнинг қанча қисми ташқи истеъмолчига берилган ва унда фойдали ишга айланганини кўрсатади:

$$l_{\text{нол}} = \eta_e q_1 \quad (11.13)$$

Маълумки,

$$\Delta q = (1 - \eta_e) \cdot q_1 \quad (11.14)$$

катталиқ ишга айланмаган q_1 иссиқликнинг бир қисмидир ва бу қисм со-
вуклик манбаига берилаётган q_2 иссиқликдан, ҳамда ишқаланиш, температура-

лар фарқи туфайли қурилма элементларида рўй берувчи қайтмас жараёнлар иссиқлик йўқотилиш Δq_{Π} , атроф муҳитга ва бошқа йўқотилишлардан ташкил топган.

Маълумки,

$$\Delta q_{\Pi} = l_{\eta} - l_{\text{нол}} \quad (11.15)$$

бу ерда l_{η} – қайтар жараёнда олинган иш.

(11.1) ва (11.13) формулаларни назарда тутиб қуйидагини олиш мумкин:

$$\Delta q_{\Pi} = \eta_i q_1 - \eta_e q_1 = (\eta_i - \eta_e) q_1 \quad (11.16)$$

Максимал қайтар цикл иши фақат Карно циклида олиниши мумкинлиги учун системадаги эксергетик максимал йўқотилишлар Δl_{Π} (Δq_{Π} нинг максимал қийматига тенг бўлган) қуйидагига тенг:

$$\Delta l_{\Pi} = q_1 (\eta_k - \eta_e) \quad (11.17)$$

ЭКТС ларда энергетик қурилмалардан фарқи, машиналар билан бир қаторда ҳеч қандай иш бажармайдиган технологик қурилмалар мавжуд. Лекин температуралар фарқи, кимёвий реакция ва бошқалар омиллар туфайли бу қурилмаларда катта йўқотилишлар бўлади. Улар, энтропия термодинамик усулида қурилманинг эффектив фойдали иш коэффициенти η_e аниқланаётганда эътиборга олинади. Аммо бу йўқотилишларни аниқлаш жуда қийин, шунинг учун бу усулдан фойдаланилганда ЭКТСнинг барча элементлари машина ва технологик қурилмалар унумдорлигини баҳолаш ўта муҳимдир.

ЭКТС даги энергия йўқотилишлар қуйидагича ҳисобланади:

$$\Delta l_{\text{йук}}^{\text{ЭКТС}} = T_0 \Delta S^{\text{ЭКТС}} \quad (11.18)$$

Система энтропиясининг ўзгариши, унинг алоҳида элементларидаги энтропия ўзгаришлари йиғиндисига тенг, яъни:

$$\Delta S^{\text{ЭКТС}} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_i \quad (11.19)$$

Атроф муҳит температураси T_0 га кўпайтириб қуйидаги кўринишни ола-миз:

$$\Delta l^{\text{ЭКТС}} = T_0 \Delta S^{\text{ЭКТС}} = \sum_{i=1}^{i=n} T_0 \Delta S_i = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta l_i \quad (11.20)$$

яъни бутун системанинг энергия йўқотилиши, унинг алоҳида элементларидаги энергия йўқотилишлар йиғиндисига тенг. Δl_i нинг топилган қийматлари ЭКТСни қайси элементларидаги қайтмас жараёнлари $\Delta l^{\text{ЭКТС}}$ га кўпроқ таъсир этишини кўрсатади. Демак, бу элементлардаги қайси жараёнлар биринчи навбатда мукаммалаштирилиши зарурлигини кўрсатади.

Эксергетик усул. ЭКТСларини термодинамик таҳлил қилишнинг эксергетик усули эксергиядан фойдаланишга асосланган. Модда эксергияси бу иссиқлик манбаи ҳисобланган атроф муҳит билан содир бўлувчи қайтар жара-

ёнда модда бажарган максимал ишдир. Бу жараён ниҳоясида модданинг барча турлари атроф муҳитнинг ҳамма компонентлари билан термодинамик мувозанат ҳолатига ўтиши зарур.

Эксергетик усул энергиянинг ЭКТС да турлича ўзгариши жараёнларини термодинамик таҳлил қилишнинг универсал йўлидир. Барча ҳақиқий жараёнлар қайтмасдир ва бу жараёнлар мукамаллигини пасайтирувчи омилдир. Қайтмаслик энергия йўқотилиши туфайли эмас, балки унинг сифати пасайиши туфайлидир, чунки қайтмас жараёнларда энергия йўқолмайди. Масалан, ишчи жисмнинг дросселланиши унинг энергиясини ўзгартирмайди (i_1-i_2), балки унинг иш бажариш яроқлилигини ёки иссиқлик алмашилиш қурилмаларида ишлатиш имконини пасайтиради. Шундай қилиб, ҳар бир қайтмас жараён — энергия йўқотилишидир. ЭКТСни термодинамик таҳлил қилишнинг эксергия усулини универсаллиги шундаки, таҳлил қилинаётган системанинг характери (масалан, ёпиқ ёки очик) принципиал аҳамиятга эга эмас: масалани ечишга ёндашиш ва уни ечиш усули ўзгармайди. ЭКТС ни термодинамик таҳлил қилишнинг эксергетик усулида системанинг барча элементлари алоҳида мустақил система деб қаралади. ЭКТС ҳар бир элементи-нинг унумдорлигини баҳолаш, бу элементга киришдаги эксергияни, ундаги қайтмас жараёнлар туфайли содир бўлувчи эксергия йўқотилиши билан солиштириш орқали бажарилади. Шундай қилиб, тадқиқот қилинаётган ЭКТС-нинг ҳар бир элементдаги эксергия йўқотилишларини аниқлашда ундаги жараёнлар мукамал эмаслик сабаблари аниқланади ва миқдоран баҳоланади. Бу эса, ўз навбатида, барча элементлар мукамаллигини ошириш имкони ҳақида маълумот беради ва натижада энг мукамал ЭКТС яратилади.

Эксергетик усулнинг амалий қўлланилишига оид перспектив изланишлар ТошДТУ ни “Совитиш компрессор машиналари ва қурилмалари” кафедрасида проф. Зокиров С.Г. ва ходимлари томонидан олиб борилмоқда.

11.3. Эксергия турлари

Эксергия асосан қуйидаги икки турга бўлинади:

Энтропия билан ифодаланмайдиган, энергиянинг ўзидан иборат эксергия, яъни $e=\mathfrak{E}$ (механик, электрик ва бошқа энергиялар) ва энтропия билан ифодаланувчи эксергия, яъни $e \geq \mathfrak{E}$ (ички энергия, нурланиш энергияси, термомеханик, кимёвий эксергиялар). Иккинчи тур эксергия, ўз навбатида, ёпиқ ҳажмдаги модда эксергияси, модда оқими эксергияси ва энергия оқими эксергиясига бўлинади. Ёпиқ ҳажмдаги модда эксергияси термомеханик (физик), кимёвий ва нурланиш эксергияларидан иборат. Модда оқими эксергияси термомеханик ва кимёвий (ноль) эксергиядан иборат. Энергия оқими эксергияси иссиқлик оқими ва нурланиш эксергиясидан иборат.

Ёпиқ ҳажмдаги модда эксергияси - e_v . Бу эксергия ёпиқ системалар учун кўрилади. Ёпиқ ҳажмдаги модда термомеханик эксергиясини, яъни бошланғич параметрлари p, v, T, u, i, s бўлган модданинг атроф муҳит билан мувозанатга қайтар жараёнда ўтишидаги максимал ишни аниқлаймиз. Мувозанат ҳолатида атроф муҳит параметрлари $p_0, v_0, T_0, u_0, i_0, s_0$ га эришади. Модда атроф муҳит билан мувозанат ҳолатига ўтиши учун унинг ички энергияси иссиқлик олиш (ёки бериш) ёки ташқи иш бажариш ҳисобига ўзгартирилиши зарур, чунки термодинамиканинг биринчи қонунига кўра $du=\delta q-\delta l$.

Қайтар жараёнда моддага иссиқлик бериш ёки ундан иссиқликнинг атроф муҳитга тарқалиши — муҳит температурасига тенг бўлган, яъни $\delta q=T_0 ds$ ўзгармас температурада амалга ошади. Бунда ёпиқ ҳажмдаги модда эксергияси

de_v , иш δl ва модданинг атроф муҳит босимини енгишга сарфлаган иши $p_0 dv$ айирмасига тенг, яъни

$$de_v = \delta l - p_0 dv = \delta q - du - p_0 dv = T_0 dS - du - p_0 dv \quad (11.21)$$

ёки интеграллашдан сўнг

$$e_v = T_0(S_0 - S) - (u_0 - u) - p_0(v_0 - v) = (u - u_0) - T_0(S - S_0) + p_0(v - v_0) \quad (11.22)$$

Моддани ўраб турган ушбу муҳит учун p_0 , v_0 , T_0 , u_0 ва S_0 катталиклар ўзгармас бўлгани учун (11.22) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$e_v = u - T_0 S + p_0 v + c \quad (11.23)$$

бу ерда $c = -u_0 + T_0 S_0 - p_0 v_0 = \text{const}$ ва демак, e_v катталик модда ва муҳит ҳолатининг параметри — **эксергетик функция** экан.

Модда оқими термомеханик эксергияси. Бу эксергияни аниқлаш учун модданинг p , v , T , u , i , S параметрли ҳолатидан p_0 , v_0 , T_0 , u_0 , i_0 , S_0 параметрли атроф муҳит билан мувозанат ҳолатига қайтар жараёнда ўтиш максимал ишини ҳисоблаш зарур. Табиийки, модда оқимининг эксергияси e ёпиқ ҳажмдаги модда эксергиясидан e_v оқимни ҳаракатлантиришига сарфланган иш миқдорига фарқ қилади. Ҳолатни тўлиқ ўзгартириш учун бу иш $p v$ иши билан муҳит қаршилигини енгиш иши $p_0 v$ айирмасига тенг:

$$p v - p_0 v = v \cdot (p - p_0) \quad (11.24)$$

Демак, модда оқими эксергияси

$$e = e_v + v \cdot (p - p_0) \quad (11.25)$$

(11.25) формуладаги e_v ўрнига унинг (11.24) даги қийматини қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$e = i - T_0 S + C \quad (11.26)$$

бу ерда e ҳам e_v каби эксергетик функциядир, чунки унинг қиймати модда ва муҳит параметрлари билан ифодаланади.

Одатда, ҳисоблашларда Δe_v ва Δe катталиклар айирмаси системанинг икки ҳолатида аниқланади. Бу ҳолда Δe_v ва Δe лар мос равишда қуйидагича бўлади:

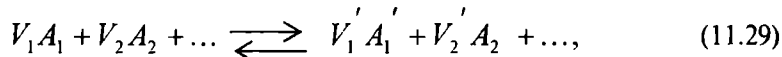
$$\Delta e_v = \Delta u - T_0 \Delta S + p_0 \Delta v \quad (11.27)$$

$$\Delta e = \Delta i - T_0 \Delta S \quad (11.28)$$

Шуни назарда тутиш лозимки, ёпиқ ҳажмдаги модда эксергияси атроф муҳитга температура ва босим орқали боғлиқ; атроф муҳит таркиби эса, аҳамиятга эга эмас.

Кимёвий эксергия - e_0 . Бу эксергия модда ва атроф муҳитнинг тегишли компонентлари ўртасидаги кимёвий потенциаллар мувозанати билан боғлиқ бўлиб, p_0 ва T_0 да мувозанат ўрнатилиш қайтар жараёндаги олинishi мумкин бўлган иш миқдори билан ўлчанади. Шунинг учун тутиш лозимки, модданинг атроф муҳит билан масса алмашилиш жараёнлари доимо ҳам кимёвий реакциялар воситасида бўлавермайди; бунга мисол ажратиш, аралаштириш ва эриш жараёнларидир. Кимёвий реакторларда кимёвий эксергия асосий жараён бўлиб ҳисобланади. e_0 ни аниқлаш учун атроф муҳит таркибини билиш зарур. Лекин атроф муҳит таркиби кўп жинслилиги учун e_0 нинг абсолют қийматини ҳисоблаш аниқлиги e ва e_0 ларникидек эмас. Амалиётда e_0 ни ҳисоблашда маълум соддалаштиришлар қилиниши зарур.

Кимёвий ўзгаришлардаги кимёвий (ноль) эксергияни ҳисоблайлик. Кимёвий реакторда қуйидаги реакция бораётган бўлсин:



бу ерда, $V_1, V_2, \dots$ ва $V_1', V_2', \dots$ дастлабки $A_1, A_2, \dots$ моддалар ва олинувчи $A_1', A_2', \dots$ моддаларнинг стехиометрик коэффициентлари.

Мухандислик амалиётида кимёвий реакторларда бораётган кимёвий ўзгаришлар учун ноль эксергия модда оқими эксергияси e ни аниқлаш формуласи (11.26) асосида ҳисобланади.

Агар реакция $T=298\text{K}$ температурада кечса, у ҳолда эксергия E_{xp} (кЖ/моль) қуйидагича аниқланади:

$$E_{xp} = \Delta Z_{298}^0 - \sum_j E_{0,j} \quad (11.30)$$

бу ерда

$$\Delta Z_{298}^0 - \sum_j V_i (\Delta Z_{298}^0)_i - \sum_j V_i' (\Delta Z_{298}^0)_i' = \sum_j V_i (\Delta f_{298}^0)_i - \sum_j V_i' (\Delta f_{298}^0)_i' - T_0 \left[\sum_j V_i (S_{298}^0)_i - \sum_j V_i' (S_{298}^0)_i' \right]$$

бу ерда $\Delta Z_{298}^0 - T = 298\text{K}$ - стандарт изобар-изотермик потенциал, кЖ/моль; $(\Delta H_{298}^0)_i$ ва $(\Delta H_{298}^0)_i'$ - реакцияни бошланиш ва охиридаги ташкил этувчилар энтальпияларининг стандарт қийматлари, кЖ/моль; $(S_{298}^0)_i$ ва $(S_{298}^0)_i'$ - реакцияни бошланиш ва охиридаги энтальпияларнинг стандарт абсолют қийматлари, кЖ/моль; $\sum_j E_{0,j}$ - p_0 ва

T_0 да олинган реакцияда иштирок этувчи қўшимча моддалар [(11.29) тенгламанинг чап қисми] кимёвий (ноль) эксергиясининг йиғиндиси (масалан, CaCO_3 ни олиш реакциясида $\text{Ca} + 0,5\text{O}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$ тенглама бўйича қўшимча модда бўлиб O_2 ва CO_2 лар ҳисобланади).

Қўшимча моддалар кимёвий (ноль) эксергиясини аниқлаш услуби ва уларнинг энг кўп тарқалган ноорганик бирикмасининг элементлари учун қийматлари махсус адабиётда берилган.

Иссиқлик оқими q эксергияси - e_q . Бу эксергия қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$e_q = \sum_{i=1}^{i=n} \delta q_i \frac{T_i - T_0}{T_i} = \sum_{i=1}^{i=n} \delta q \tau e_i, \quad (11.31)$$

бу ерда $\tau_e = 1 - (T_0 / T)$ - эксергетик температура функцияси деб аталувчи катталиқ.

Хусусий $T=idem$, $\tau_e=1-(T_0/T)=idem$ ҳолда (11.31) формулани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$e_q = q \cdot \tau_e \quad (11.32)$$

маълумки τ_e функция универсал аҳамиятга эга: у ёпиқ ва очиқ термодинамик жараёнларнинг максимал эксергиясини аниқлаш учун яроқли.

Оқим термомеханик эксергиясининг ўзгармас босимдаги энтальпия бўйича хусусий ҳосиласи τ_e га тенг:

$$\left(\frac{\partial e}{\partial i}\right)_p = \tau_e \quad (11.33)$$

$(di)_p = \delta q_p$ ёки $(\Delta i)_p = q_p$ бўлган учун (11.31) ва (11.32) тенгламалардан

$$(\Delta e)_p = (\Delta i)_p \tau_e = q_p \tau_e = (e_q)_p \quad (11.34)$$

экани маълум бўлади, яъни изобар жараёндаги ишчи жисм оқими эксергиясининг ўзгариши шу жараён билан боғлиқ иссиқлик оқими эксергиясига тенг. Демак, ўзгармас босимда содир бўлаётган иссиқлик алмашилиш жараёнларида иссиқлик оқими эксергиясини модда оқими эксергияси айирмаси Δe дан аниқлаш мумкин. Бу ҳисоб ишларини анча осонлаштиради, чунки бевосита e_q ни ҳисоблаш, масалан ўзгарувчан температурада, жуда мураккабдир.

Нурланиш эксергияси - e_ϵ . Бу эксергия нурланиш атроф муҳит билан мувозанат ҳолатига келиш (T_0) да қайтар жараёндаги максимал иш билан ифодланади. Уни қуйидаги тенгламадан ҳисоблаб топиш мумкин:

$$e_\epsilon = \epsilon C_0 \left\{ \left(\frac{T}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^4 - \frac{4}{3} T_0 \left[\left(\frac{T}{100}\right)^3 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^3 \right] \right\} \quad (11.35)$$

бу ерда ϵ - юзанинг қоралик даражаси; C_0 - абсолют қора жисмнинг нурланиш коэффиценти.

11.4. Эксергетик ҳолат диаграммалари

Энерготехнологик системаларни термодинамик таҳлил қилишда эксергетик диаграммалар кенг қўлланади: улардан турли модда ва аралашмаларнинг e , e_q катталиклари ва бу уларнинг ташкил этувчилари, берилган T ва T_0 ларда τ_e нинг қийматлари аниқланади, ҳамда ҳисоблаш ишлари кўргазмали ва содда бажарилади. Эксергетик диаграммалардан $e=idem$ чизиқли $i-S$ ва $T-S$ - диаграммалар, ҳамда $e-i$ - диаграмма кенг тарқалган. T_n^* ҳарфи орқали нормал қайнаш температурасини белгилаймиз.

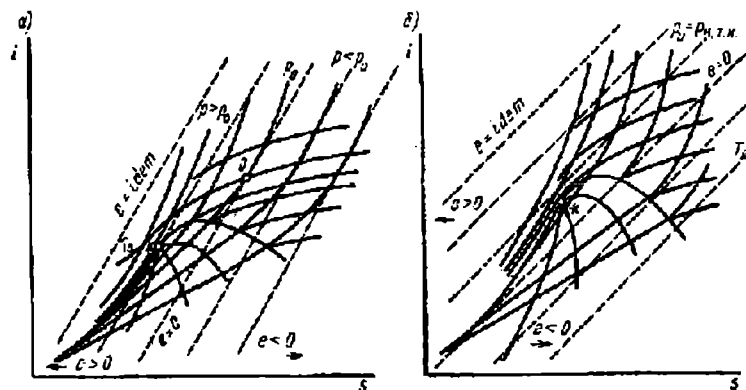
11.1 - расмда $e=idem$ чизиқли $i-S$ - диаграммалар келтирилган: Санок боши нуқтаси (ноль ҳолат) фақатгина T_0 параметр билан, айрим ҳоллардагина p_0 билан белгиланади. Бу диаграммадан кўриниб турибдики, берилган термодинамик ҳолат учун модда эксергияси $e=idem$ тўғри чизиқлар тўри ёрдамида аниқланади. $e=0$ чизигидан юқорида мусбат ишорали эксергия соҳаси ($e>0$), пастда - манфий қийматлар ($e<0$) жойлашган.

11.2-расмда ҳавонинг $e=idem$ чизиқли $e-i$ - диаграммаси тасвирланган; ундаги e чизиқлари 11.1 - расмдагидан фарқли ноэквидистант чизиқлардир (нам буг соҳаси бундан мустасно).

11.2 — расмда $T_0 > T_H$ учун $e-i$ — диаграмма тасвирланган. Ноль нуқта p_0 изобара чизиги билан ўта қизиган буғ газ соҳасидаги T_0 изотерма чизигининг кесишган нуқтаси орқали белгиланади. Агар изотерма ва изобаранинг кесишган ихтиёрий нуқтасига уринма ўтказилса, у ҳолда уринма бурчаги тангенсининг α қиймати эксергетик температура функцияси τ_e га тенг бўлади, чунки (11.33) формулага кўра:

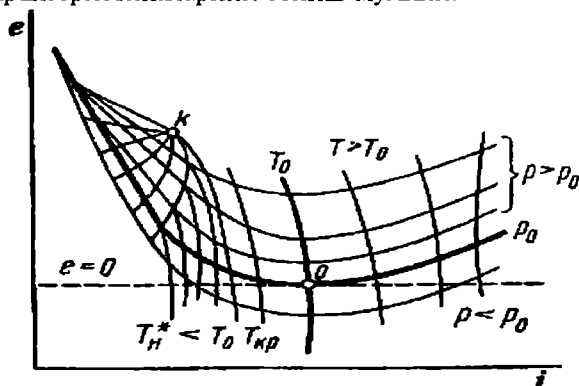
$$\tau_e = \left(\frac{\partial e}{\partial i} \right)_p = \operatorname{tg} \alpha_p \quad (11.36)$$

бунда 3 та ҳол бўлиши мумкин: агар $T > T_0$, у ҳолда $\operatorname{tg} \alpha_p > 0$ ва демак, $\tau_e > 0$; агар $T < T_0$, у ҳолда $\operatorname{tg} \alpha_p < 0$ ва $\tau_e < 0$; агар $T = T_0$, у ҳолда $\operatorname{tg} \alpha_p = 0$ ва $\tau_e = 0$.



11.1- расм. Бўғнинг $e=\text{idem}$ чизиклари тортилган $i-S$ — диаграммаси.
а) $T_0 > T_H^*$; б) $T_0 = T_H^*$

$e-i$ — диаграмма ёрдамида бажарилган ишни, очиқ цикл ва жараёнларнинг бошқа характеристикаларини топиш мумкин.



11.2-расм. Ҳавонинг $e=\text{idem}$ чизиклари тортилган $e-i$ — диаграммаси.

11.5. Эксергетик йўқотилиш турлари

Энтропия билан ифодаланмайдиган эксергиянинг йўқотилишларини аниқлаш қийин бўлмаганлиги учун, бу параграфда энтропия билан ифодаланувчи эксергия йўқотилишлари кўриб чиқилади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмаси эксергия йўқотилишлари — $D_{\text{те}}$.

Бу йўқотилишлар асосан 4 хил бўлади: температуралар фарқи туфайли йўқотилишлар D_T ; гидравлик қаршилик туфайли йўқотилишлар; атроф муҳит билан иссиқлик алмашилиш туфайли йўқотилишлар; ЭКТС иссиқлик алмашилиш қурилмаларида йўқотилишлар. Охирги тур йўқотилишлар ЭКТС иссиқлик алмашилиш қурилмаларида одатда йўқотилишлар жуда кичик бўлгани учун уларни эътиборга олмаса ҳам бўлади. Демак:

$$D_{Te} = D_T + D_p + D_{oc} \quad (11.37)$$

Иссиқлик алмашилиш қурилмасидаги температуралар фарқи туфайли рўй берувчи йўқотилишлар қуйидагига тенг:

$$D_T = E_q^B - E_q^A = m_B e_{qb} - m_A e_{qA} = \sum \delta q \Delta \tau_e = Q \Delta \overline{\tau_e} \quad (11.38)$$

бу ерда E_q^B ва E_q^A - мос равишда B ва A иссиқлик элткичларнинг иссиқлик оқимлари эксергиялари; m_B ва m_A - мос равишда B ва A иссиқлик элткичларнинг массалари; e_{qB} ва e_{qA} мос равишда B ва A иссиқлик элткичларнинг нисбий иссиқлик оқимлари эксергиялари.

Ўзгарувчан температураларда D_T ни ҳисоблаш қийинлиги учун (11.34) формула хулосасидан фойдаланиш зарур, чунки ЭКТС иссиқлик алмашилиш қурилмаларида жараёнлар деярли ўзгармас босимларда кечади. Демак, (11.39) формула ўрнига қуйидагини ёзсак ўринли бўлади:

$$D_T = E_q^B - E_q^A = m_B e_{qB} - m_A e_{qA} = m_B \Delta e_B - m_A \Delta e_A \quad (11.39)$$

бу ерда Δe_B ва Δe_A - мос равишда B ва A иссиқлик элткичлар эксергия оқимларининг ўзгариши.

Иссиқлик алмашилиш жараёни фазанинг агрегат ҳолати ўзгаришлари билан борса, яъни ўзгармас T_B ва T_A температураларда, жараёнлар содир бўладиган иссиқлик алмашилиш қурилмаларидаги, масалан, буғлаткич-конденсатордаги йўқотилишлар D_T қуйидагича аниқланишини мумкин:

$$D_T = E_q^B - E_q^A = Q \tau_{eB} - Q \tau_{eA} = Q (\tau_e^B - \tau_e^A) = Q \left[\left(1 - \frac{T_0}{T_B} \right) - \left(1 - \frac{T_0}{T_A} \right) \right] = Q T_0 \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B} \right) \quad (11.40)$$

(11.40) формуладаги ўзгарувчан температураларни иссиқлик элткичларнинг ўртача интеграл температура T_B , T_A ларга алмаштирилса, ундан барча иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ҳисоблашда фойдаланса бўлади.

Юқорида келтирилган формулалардан маълум бўлдики, иссиқлик алмашилиш қурилмаларидаги температуралар фарқи қанчалик кичик бўлса, ундаги эксергия йўқотилишлари шунчалик кам бўлади.

Гидравлик қаршиликлар туфайли рўй берадиган эксергия йўқотилишлари D_p иссиқлик алмашилиш қурилмаларида иссиқлик элткичлар ҳаракати сабаблидир. Агар, иссиқлик ташувчи элткичлар ҳаракатига ишқаланиш кучлари қаршилик кўрсатмаганда эди, у ҳолда $D_p=0$. Иссиқлик алмашилиш қурилмаларида иссиқлик элткичларни ҳаракатлантиришга сарфланувчи иш пуркаш ёки ҳайдаш қурилмаларининг (компрессор ва насослар) ишига тенг бўлгани учун:

$$D_p = L_A + L_B \quad (11.41)$$

бу ерда L_A ва L_B - мос равишда A ва B иссиқлик элткичларни ҳайдовчи қурилманинг иши.

Атроф муҳит билан иссиқлик алмашилиши туфайли рўй берувчи эксергия йўқотилиши D_0 машина ва қурилмалар иссиқлик қопламаси билан атроф муҳит иссиқлик алмашганда ўринлидир. Демак, иссиқлик қопламасининг мукамалмаслиги туфайли рўй берувчи эксергия йўқотилишлари D_{0C} қуйидаги формуладан аниқланади:

$$D_{0C} = m_A e_q^A + m_B e_q^B = m_A q_A \bar{\tau}_{eA} + m_B q_B \bar{\tau}_{eB} = m_A q_A \left(1 - \frac{T_0}{T_{изА}}\right) + m_B q_B \left(1 - \frac{T_0}{T_{изВ}}\right) \quad (11.42)$$

бу ерда q_A ва q_B A ва B иссиқлик элткичлардан иссиқлик қопламаси орқали атроф муҳит ёки тескари йўналишда (иссиқлик элткичлар температуралари атроф муҳит температураси T_0 дан кичик бўлганда) тарқалаётган иссиқлик оқимининг зичликлари; $T_{изА}$ ва $T_{изВ}$ – мос равишда A ва B иссиқлик элткичларни ташқи иссиқлик қопламасининг ўртача интеграл температуралари. (11.42) формуладан кўриниб турибдики $T_{из} \rightarrow T_0$ бўлганда, $D_{0C} \rightarrow 0$.

Реакторда кимёвий реакция туфайли рўй берувчи эксергия йўқотилишлари - D_{XP} . Ўзгармас температура ва босимда содир бўлувчи экзотермик реакцияни кўрайлик. Реакция иссиқлиги биронта – бир жисмга (ўша температурадаги) узатилаётган бўлсин. У ҳолда кимёвий реактордаги энтропия ўзгариши:

$$\Delta S_{xp} = \Delta S + \Delta S_T \quad (11.43)$$

бу ерда ΔS ва ΔS_T – мос равишда реакция бораётган система ва бошқа жисмдаги энтропия ўзгариши.

Агар, ўзгармас босимда ҳажми ўзгарувчи системадаги иш фақат реакция туфайлигина бажарилса, у ҳолда бошқа жисмга берилаётган иссиқлик шу система энтальпиясининг камайишига тенг, яъни $(-\Delta i)$ ва юқоридаги тенглама қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$\Delta S_{xp} = -\Delta S + \frac{\Delta i}{T} = \frac{-T\Delta S + \Delta i}{T} = \frac{\Delta Z}{T} \quad (11.44)$$

ва қайтмас йўқотилишлар, яъни эксергетик йўқотилишлар

$$D_{xp} = T_0 \Delta S_{xp} = \frac{T_0 \Delta Z}{T} \quad (11.45)$$

Демак, ўзгармас температура ва босимда боровчи, кимёвий реакция натижасида ҳосил бўлувчи энтропия, изобар-изотермик потенциал ўзгаришининг реакция температураси нисбатига тенг; бу жараённинг эксергетик йўқотилиши эса, энтропияни атроф муҳит температураси кўпайтмасига тенг.

Иссиқлик машинаси, компрессор ва насослардаги эксергия йўқотилишлар бевосита шу машиналар учун тузилган эксергетик балансдан топилади. Бу масала §11.10 да батафсил кўрилади.

11.6. ЭКТС ва элементларининг эксергетик баланси ва фойдали иш коэффициенти

ЭКТС лар таҳлил қилинаётганда биринчи навбатда моддий ва иссиқлик баланслари, сўнгра эксергетик баланс тузилади.

Иссиқлик баланси ЭКТС ни идеалга яқинлигини, унинг термодинамик мукамаллигини кўрсатмайди. Иссиқлик балансида фарқли равишда эксергетик баланс ЭКТС даги қайтмаслик туфайли содир бўладиган йўқотилишларни эътиборга олади ва шу тариқа системанинг идеал системага яқинлик даражасини кўрсатади; идеал системанинг эксергетик ф.и.к. бирга тенг.

Баланслар тузилишдан аввал таҳлил этилувчи система бошқа объектлардан ҳаёлан назорат юза орқали ажратилади, ундан ўтувчи барча модда ва энергия оқимлари эксергетик балансга киритилади.

m кг модда учун вақт бирлиги ёки маълум давр ичида ЭКТС эксергетик баланси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i + \sum D_i \quad (11.46)$$

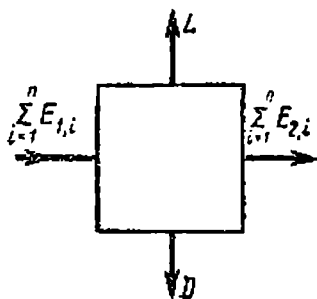
ёки

$$\sum_{i=1}^{i=n} D_i = \sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \left(\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i \right) \quad (11.47)$$

бу ерда $\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}$ ва $\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}$ ЭКТС га кىрувчи ва чикувчи эксергия йиғиндилари;

$\sum_{i=1}^{i=n} L_i$ — ЭКТС ларда бажарилувчи ишлар йиғиндиси; $\sum_{i=1}^{i=n} D_i$ — ЭКТС даги эксергетик йўқотилишлар йиғиндиси.

Очиқ системаларда эксергия $E_v = 0$. Система чегаралари орқали масса алмашиниш бўлмаган ёпиқ системаларда модда оқими эксергияси ва кимёвий эксергия қийматлари нолга тенг. Лекин даврий кимё реакторларида кимёвий эксергия асосий ҳисобланади.



11.3-расм. Машинанинг эксергетик балансини аниқлашга оид.

Эксергетик баланс асосида ЭКТС ва унинг айрим қисмларининг нисбий ёки абсолют характеристикалари аниқланади.

ЭКТС элементларининг эксергетик балансларини кўрайлик. Ҳар қандай ЭКТС машина ва қурилмалардан ташкил топади.

Ҳар қандай машинанинг эксергетик баланси 11.3 — расмда тасвирланган схема асосида тузилади:

m кг модда учун

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + L + D \quad (11.48)$$

$D=0$ да

$$L = \sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} \quad (11.49)$$

яъни қайтар жараёнда машина бажарган иш ёки ҳаракатлантиришга сарфланган иш, унга кириш ва чиқишдаги эксергия ўзгаришига тенг.

1 кг модда учун ҳам машинанинг эксергетик баланси шунга ўхшаш ёзилади:

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} e_{2,i} + l + d \quad (11.50)$$

ЭКТС нинг ҳар қандай қурилмаси учун эксергетик баланс қуйидагича ёзилади:

m кг модда учун

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + D \quad (11.51)$$

1 кг модда учун

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} e_{2,i} + d \quad (11.52)$$

$D = 0$ бўлганда, $\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}$, яъни қурилмада қайтар жараён борганда, ундаги модда эксергияси ўзгармайди.

Табиийки, эксергия йўқотилишлари қанчалик кам бўлса, ЭКТС ва элементларининг мукамаллик даражаси шунчалик юқоридир. Шунинг учун ЭКТС ва унинг элементларини мукамаллик даражаси, эксергетик балансдан аниқланувчи, эксергетик ф.и.к. билан ифодаланади:

ЭКТС учун

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + \sum_{i=1}^{i=n} L_i}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - \sum_{i=1}^{i=n} D_i}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \quad (11.53)$$

машиналар учун

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i} + L}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - D}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \quad (11.54)$$

қурилмалар учун

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2,i}}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i} - D}{\sum_{i=1}^{i=n} E_{1,i}} \quad (11.55)$$

ЭКТС ва унинг элементлари учун эксергетик ф.и.к., эксергия йўқотилишлари бўлмаганда, $\sum_{i=1}^{i=n} D_i = 1$ га тенг.

11.7. Эксергетик унумдорлик ва қувват

Эксергия ҳар қандай ЭКТС нинг эксергетик балансига кирувчи энергиянинг турли оқимларини баҳолаш имконини бергани учун системани характерловчи умумлашган катталикларни ҳосил қилиш мумкин. Бундай умумлашган катталик бўлиб эксергетик унумдорлик ва ЭКТС нинг қуввати ҳисобланади. ЭКТС берувчи унумдорликни ифодаловчи барча эксергияларнинг алгебраик йиғиндиси ЭКТС нинг эксергетик унумдорлиги $\sum E_{\text{эф}}$ дейилади. $\sum E_{\text{эф}}$ катталикини вақт τ га бўлган нисбати ЭКТС нинг эксергетик унумдорлиги дейилади:

$$N_{\text{ex}} = \frac{\sum E_{\text{эф}}}{\tau} = \sum E_{\text{эф}} \quad (11.56)$$

Эксергетик қувватнинг кимё технологиясидаги энергетик қурилмалар учун аниқ ифодаларини қўрайлик.

Маълумки, ИЭМ (иссиқлик электр энергия марказлари) электр энергия ва иссиқликни бир вақтда ишлаб чиқаришга мўлжалланган. Демак, ИЭМ эксергетик қуввати қуйидаги формуладан аниқланади:

$$N_{\text{ex}} = N_{\text{эл}} + \sum (m_{ni} e_{qni} - m_{ki} e_{qki}) \quad (11.57)$$

бу ерда $N_{\text{эл}}$ - ИЭМ электр нетто қуввати; m_{ni} ва e_{qni} - мос равишда иссиқлик таъминотига узатилаётган буғ миқдори ва эксергияси; m_{ki} ва e_{qki} - ИЭМ га қайтарилаётган конденсатнинг миқдори ва эксергияси.

Компрессор газ (буғ) босимини оширишга мўлжалланган, демак, унинг унумдорлиги сиқиш жараёнида газ (буғ) эксергиясини ортиши билан баҳоланиши керак. Шунинг учун компрессорнинг эксергетик қуввати, сиқиш иссиқлигидан фойдаланилмаганда, қуйидагича аниқланади:

$$N_{\text{ex}} = \sum m_i \Delta e_i \quad (11.58)$$

агар сиқиш жараёнида ҳосил бўлаётган иссиқлик технологик мақсадларда ишлатилса:

$$N_{\text{ex}} = \sum m_i \Delta e_i + m_b \Delta e_b \quad (11.59)$$

бу формулаларда: m_i - сиқилаётган газ (буғ) миқдори; Δe_b - совуткичлардаги совутувчи муҳит (буғ, ҳаво, газ) эксергиясининг ортиши; m_b - совутувчи муҳитнинг сарфи.

Иссиқлик насоси ва совитиш машинасидан иборат иссиқлик ва совуқлик олувчи комбинациялашган қурилманинг эксергетик қуввати:

$$N_{\text{ex}} = \sum \dot{E}_{qi} + \sum \dot{E}_{qxi} \quad (11.60)$$

бу ерда $\sum \dot{E}_{qi}$ ва $\sum \dot{E}_{qxi}$ иссиқ ва совуқ оқимлар эксергетик қувватларининг йиғиндиси.

Одатда, иссиқлик ва совуқлик оқимлари истеъмолчига ўзгармас босимда, иссиқлик алмашилиш қурилмаларидаги иссиқлик ва совитиш элткичлари орқали узатилгани учун, $\sum \dot{E}_{q_i}$ ва $\sum \dot{E}_{q_{xi}}$ лар иссиқлик ва совуқлик элткичлар эксергиялари ўзгариши орқали ифодаланиши мумкин, яъни

$$N_{ex} = \sum m_i \Delta e_i + \sum m_{xi} \Delta e_{xi} \quad (11.61)$$

бу ерда Δe_i ва m_i - мос равишда иссиқлик элткич эксергиясининг ўзгариши ва унинг сарфи.

Эксергетик қувват ЭКТС эксергетик ф.и.к.ни аниклаш имконини беради ва системани оптималлаштириш критерийлари сифатида ишлатилади.

11.8. Термодинамик системалар энергетик ва эксергетик характеристикалари ўртасидаги боғлиқлик

Иссиқлик алмашилиш қурилмаси. Бу қурилма энергетик фойдали иш коэффиценти $\eta_i = L/Q_1$ ва эксергетик фойдали иш коэффиценти $\eta_{ex} = E_{\text{эф}}/E_{\text{зам}} = A_{\text{эф}}/A_{\text{зам}}$ билан характерланиши мумкин. Иссиқлик кучланиш қурилмасининг унумдорлиги электр ёки механик иш L билан ифодаланиши мумкин, яъни, $A_{\text{эф}} = L$. Сарфлар эса иссиқлик эксергияси билан ифодаланади $A_{\text{зам}} = E_{\text{зам}} = E_q = Q_1 \tau_e$. Демак:

$$\eta_{ex} = \frac{L}{Q_1 \tau_e} \quad (11.62)$$

(11.62) формула ёрдамида энергетик фойдали иш коэффиценти қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$\eta_i = L/Q_1 = \eta_{ex} Q_1 \tau_e / Q_1 = \eta_{ex} \tau_e \quad (11.63)$$

Совитиш қурилмаси. Бу қурилма совитиш коэффиценти $\varepsilon = Q_x/L$ ва эксергетик фойдали иш коэффиценти $\eta_{ex} = A_{\text{эф}}/A_{\text{зам}}$ билан характерланиши мумкин. Бу қурилмада $A_{\text{эф}}$ катталик совуқ оқимлар эксергиясини, яъни $A_{\text{эф}} = E_{qx}$ сарф эса, $A_{\text{зам}} = L$ демак:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{q,x}}{L} = \frac{Q_x \tau_{ex}}{L} \quad (11.64)$$

(11.64) формулада $Q_x/L = \varepsilon$ бўлгани учун

$$\varepsilon = \frac{\eta_{ex}}{\tau_{ex}} \quad (11.65)$$

Агар совитиш қурилмаси Q_1 иссиқлик оқими ҳисобига ишласа, у ҳолда $A_{\text{зам}} = E_{q1} = Q_1 \tau_e$, демак,

$$\eta_{ex} = A_{\text{эф}}/A_{\text{зам}} = Q_x \bar{\tau}_{ex} / (Q_1 \tau_e) \quad (11.66)$$

Иссиқлик насоси. Бу қурилма иссиқлик коэффициенти $\varphi = Q_2/L$ ва эксергетик фойдали иш коэффициенти $\eta_{ex} = A_{\text{эф}}/A_{\text{зам}}$ билан характерланади. Иссиқлик насосида $A_{\text{эф}}$ катталиқ қурилмадан истеъмолчига берилаётган иссиқлик Q_2 оқимининг энергиясидир, яъни $A_{\text{эф}} = Q_2 \cdot \tau_{e2}$. T_0 температурадаги атроф муҳитдан олинаётган иссиқлик эксергияси нольга тенг бўлгани учун $A_{\text{зам}} = L$ ва унда, қурилманинг эксергетик фойдали иш коэффициенти қуйидагича кўринишни олади:

$$\eta_{ex} = \frac{A_{\text{эф}}}{A_{\text{зам}}} = \frac{Q_2 \tau_{e2}}{L} \quad (11.67)$$

Агар иссиқлик насоси Q_1 иссиқлик оқими ҳисобига ишласа, у ҳолда $A_{\text{зам}} = E_{q1} = Q_1 \cdot \tau_{e1}$, демак,

$$\eta_{ex} = \frac{Q_2 \bar{\tau}_{e2}}{Q_1 \bar{\tau}_{e1}} \quad (11.68)$$

(11.67) формулада $Q_2/L = \varphi$, демак $\eta_{ex} = \varphi \cdot \tau_{e2}$ ёки

$$\varphi = \frac{\eta_{ex}}{\tau_{e2}} \quad (11.69)$$

Иссиқлик юриткичи бўлган ҳолда иссиқлик насосининг иссиқлик коэффициенти $\varphi' = Q_2/Q_1$. Бу ҳолда (11.68) формула қуйидаги кўринишга келади:

$$\eta_{ex} = \varphi' \frac{\bar{\tau}_{e2}}{\bar{\tau}_{e1}}$$

ёки

$$\varphi' = \eta \frac{\bar{\tau}_{e1}}{\bar{\tau}_{e2}} \quad (11.70)$$

11.9. ЭКТС умумий кўрсаткич ва элементларнинг характеристикалари орасидаги боғлиқлик

Элементлар характеристикалари орасидаги боғлиқлик ЭКТСларни термодинамик таҳлил қилишда муҳим аҳамиятга эга. Агар x_e – ЭКТС унумдорлиги билан (D , η_{ex} , E) боғлиқ эксергетик характеристика бўлса, x_{ei} – системанинг i – элементи учун худди шундай характеристика бўлса, у ҳолда қуйидаги катталиқ:

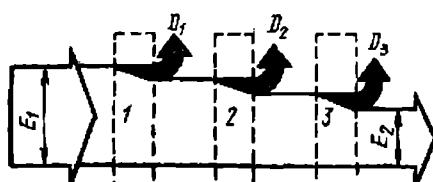
$$Z_i = \left(\frac{\partial x_e}{\partial x_{e,i}} \right)_{y=idem} \quad (11.71)$$

i – элементдаги характеристика ўзгаришининг ЭКТС характеристикасига таъсирини кўрсатади; бу ерда y – ЭКТСнинг бошқа элементларининг параметрлари. $y=idem$ – $x_{e,i}$ таъсири вақтида $x_{e,i}$ билан боғлиқ бўлмаган бошқа катталиқлар ўзгармаслигини билдиради. Z_i катталиқ қанчалик катта бўлса, i – элемент характеристикасининг ўзгариши ЭКТС кўрсаткичига шунчалик кўп таъсир этишини билдиради. Демак, ЭКТСни оптималлаштириш вақтида асо-

сий эътибор катта қийматли Z_i элементларга қаратилиши зарур. Шундай қилиб, Z_i коэффициент системанинг ички боғлиқлигини характерлайди ва у система тузилишига боғлиқ. Агар ЭКТС кетма-кет жойлашган элементлардан иборат бўлиб, улардаги жараёнлар ташқаридан эксергия олмасдан ва бермасдан борса, у ҳолда $\eta_{ex}^{ЭКТС}$ ва η_{ex}^i орасидаги боғлиқлик жуда содда бўлади: бу ҳолда i – элементдан чиқишдаги эксергия E_i'' ($1+i$) элементга киришдаги эксергияга доимо тенг. Шунинг учун ЭКТСнинг эксергетик фойдали иш коэффициенти унинг барча элементлари фойдали иш коэффициенти кўпайтмасига тенг бўлади, яъни

$$\eta_{ex}^{ЭКТС} = \prod_{i=1}^{i=n} \eta_{ex,i} \quad (11.72)$$

Бу система мисолида ЭКТС турли элементларидаги эксергия йўқотилишларининг ўзига хос томонларини яққол кўрсатиш мумкин. Учта элсментдан иборат системада (11.4-расм) $D_1=D_2=D_3=D$ бўлсин. Биринчи элементдан учинчи элемент йўналишида эксергия камайиб боради.



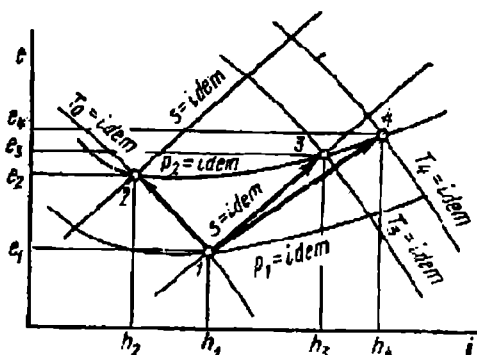
11.4-расм. Эксергия йўқотилишининг ЭКТС даги ўзига хос томони.

$\eta_{ex,i}=(E_i - D)/E_i$ бўлгани учун $\eta_{ex,i}$ ҳам камайиб боради. Демак, йўқотилишларни камайтириш, технологик жараённинг охириги босқичларида айниқса катта аҳамиятга эга. Буни ЭКТС ларни оптималлаш ва такомиллаштиришда назарда тутиш керак.

11.10. Кимёвий технология жараёнларининг эксергетик таҳлили

Газ ва суюқликларни сиқиш. Ҳақиқий сиқиш жараёнларининг эксергетик баланс тенгламаси қуйидагича:

$$l_{mex}^{\Pi} = \Delta e + e_q + \sum d = \Delta e + q\bar{t}_i + \sum d \quad (11.73)$$



11.5-расм. $e-i$ координаталарда сиқиш жараёнининг тасвири.

11.5-расмда сиқиш жараёни $e-i$ диаграммада тасвирланган, жараён $T \geq T_0$ учун ўринли, яъни $t_1 > 0$. 1-2 кесмада жараён – $T_0 = const$ чизик бўйича борувчи изотермик сиқишни характерлайди. Демак, $l_q = q(1 - T_0/T) = 0$, яъни газдан атроф муҳитга тарқалаётган иссиқлик оқимининг эксергияси нолга тенг. Бу ҳолда қайтмас жараён учун (11.73) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$l_{mex,uz}^{\Pi} = \Delta e_{2-1} + \sum d \quad (11.74)$$

қайтар жараён учун:

$$l_{\text{мех.уз}} = \Delta e_{2-1} \quad (11.75)$$

Совутилиувчи (изотермик) компрессорнинг ҳақиқий иши $e_{\text{мех.уз}}^{\text{Д}}$ тажриба ёки ҳисоб натижаларидан маълум бўлганда унинг η_{ex} га тенг бўлган изотермик фойдали иш коэффициентини ҳисоблаш мумкин:

$$\eta_{\text{уз}} = \eta_{\text{ex}} = \frac{\Delta e_{2-1}}{e_{\text{мех.уз}}^{\text{Д}}} \quad (11.76)$$

эксергетик йўқотилишлар эса:

$$\sum d = e_{\text{мех.уз}}^{\text{Д}} - \Delta e_{2-1} \quad (11.77)$$

Кесма 1-3 жараён ($S = \text{const}$) чизиги бўйича кечадиган адиабатик сиқиш жараёнидир. (11.73) тенгламага кўра совутилмайдиган компрессорнинг ҳақиқий техник иши қуйидаги кўринишга эга:

$$l_{\text{мех.ао}}^{\text{Д}} = \Delta e_{3-1} + \sum d = \Delta i_{3-1} + \sum d \quad (11.78)$$

($q_{\tau_c} = 0$ бўлгани учун) ва назарий иш:

$$l_{\text{мех.ао}} = \Delta l_{3-1} = \Delta i_{3-1} \quad (11.79)$$

$e-i$ диаграммадан кўриниб турибдики $\Delta l_{3-1} > \Delta l_{2-1}$: адиабатик компрессорнинг назарий техник иши изотермик компрессорнинг техник ишидан Δl_{2-1} га каттадир. Ҳақиқий адиабатик сиқиш жараёнида компрессор ишининг бир қисми ишқаланишни енгилшга сарфланади. Шунинг учун газ эксергияси жараён охирида ортади (нуқта 4): ҳақиқий сиқиш жараёни 1-4 чизик бўйича боради. Совутилмайдиган (адиабатик) компрессорнинг ҳақиқий иши $l_{\text{мех.уз}}^{\text{Д}} = \Delta i_{4-1} \cdot \Delta l_{4-1}$ параметрдан катта, чунки сиқиш жараёнининг қайтмаслиги ишқаланишдаги иссиқлик ҳисобига энталпияни қўшимча ортишига олиб келади. Бунда $d = l_{\text{мех.уз}}^{\text{Д}} - \Delta e_{4-1}$ ва совутилмайдиган компрессор эксергетик фойдали иш коэффициенти:

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\Delta e_{4-1}}{l_{\text{мех.уз}}^{\text{Д}}} = \frac{\Delta i_{4-1}}{\Delta i_{4-1}} \quad (11.80)$$

Кўп босқичли совутилмайдиган компрессорнинг умумий эксергетик фойдали иш коэффициенти қуйидагича:

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i l_{\text{мех.уз}}^{\text{Д}}} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_i \Delta i_i} \quad (11.81)$$

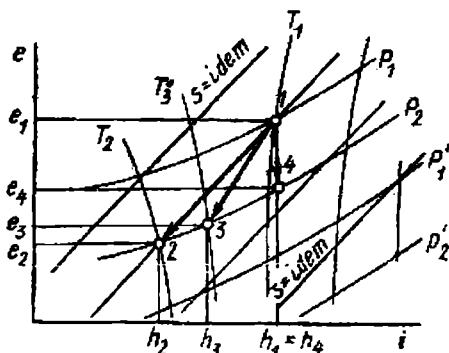
совутиладиган компрессорники эса:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_i \Delta l_i}{\sum_{mex.uz} l_{mex.uz}^D} \quad (11.82)$$

бу ерда $i = 1, 2, 3, \dots$, - босқичлар сони.

Юқорида айтилган газнинг сиқилиш қонуниятлари суюқликларни сиқишга ҳам тегишлидир.

Газ ва суюқликларни кенгайиши $e-i$ диаграммада (11.6-расм) ишчи жисмнинг турлича кенгайишлари кўрсатилган. 1-2 жараён — техник иши $l_{mex\ 1-2} = i_1 - i_2 = e_1 - e_2$ бўлган идеал иссиқлик машинасида борувчи қайтар адиабатик жараён. 1-3 — техник иши $l_{mex\ 1-3} = i_1 - i_3 < l_{mex\ 1-2}$ бўлган ҳақиқий иссиқлик машинасида борувчи қайтмас адиабатик жараён. 1-4 жараён $\Delta i_{1-4} = 0$, демак $l_{mex\ 1-4} = 0$ бўлган дросселланиш жараёни. Бу учта жараёндаги эксергетик йўқотилишлар биринчисидан учунчисига қараб ошиб боради:



11.6-расм. $e-i$ координаталарда кенгайиш жараёнининг тасвири.

$$d_{1-2} = (e_1 - e_2) - (i_1 - i_2) = 0 < d_{1-3} = (e_1 - e_3) - (i_1 - i_3) < d_{1-4} = (e_1 - e_4) - (i_1 - i_4) = T_0 \Delta S$$

Бу жараёнларнинг эксергетик фойдали иш коэффиценти ҳам шу тартибда камаяди:

$$\eta_{ex}^{1-2} = \frac{l_{mex1-2}}{e_1 - e_2} = \frac{i_1 - i_2}{e_1 - e_2} = 1 > \eta_{ex}^{1-3} = \frac{l_{mex1-3}}{e_1 - e_3} > \eta_{ex}^{1-4} = \frac{l_{mex1-4}}{e_1 - e_4} = 0$$

Иссиқлик машинасидаги ҳақиқий жараён унумдорлигини ҳисоблаш усулларини адиабатик кенгайиши жараёнининг эксергетик ва термик фойдали иш коэффиценти ёрдамида солиштирамиз. Адиабатик термик фойдали иш коэффиценти энтальпия ҳақиқий фарқининг назарий (қайтар) фарқи нисбатига тенг, яъни

$$\eta_{ad} = \Delta i_{1-3} / \Delta i_{1-2} = l_{mex1-3}^D / l_{mex1-2}^D = l_{mex1-3}^D / (e_1 - e_2),$$

эксергетик фойдали иш коэффиценти эса

$$\eta_{ex} = l_{mex1-3}^D / (e_1 - e_3).$$

Қуйидаги шарт ўринли бўлгани учун $(e_1 - e_2) < (e_1 - e_3)$ ушбу муносабат тўғридир $\eta_{ex} > \eta_{ad}$.

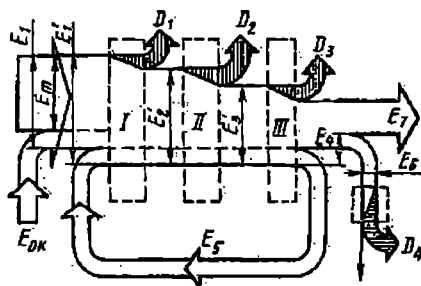
Иссиқлик алмашиниш. Олдинги параграфларда айтиб ўтилганидек, иссиқлик алмашиниш қурилмаларида уч хил йўқотилишларни аниқлаш лозим: D_m , D_p ва D_{oc} . Лойиҳаланаётган қурилманинг турли вариантлари учун йўқотилишларни ташкил этувчилари алоҳида-алоҳида ҳисобланиб, бу йўқотилишларнинг минимум ва умумий йўқотилишдаги D улушини аниқлаш

мумкин. Агар $D_p \gg D_m$ ва $D_{oc} \ll D_m$ бўлса, иссиқлик алмашиниш қурилмасининг η_{ex} фойдали иш коэффициентини қуйидагича аниқланади:

$$\eta_{ex} = \frac{E_q^A}{E_q^B} = \left| \frac{Q \bar{\tau}_e^A}{Q \bar{\tau}_e^B} \right| = \left| \frac{\bar{\tau}_e^A}{\bar{\tau}_e^B} \right| = \frac{\Delta E_A}{\Delta E_B} \quad (11.83)$$

Бундай фойдали иш коэффициентини қурилма унумдорлигини ифодаловчи асосий кўрсаткич бўлиб, яъни B оқимдан A оқимга эксергия ўтишини сифат жиҳатдан характерлайди.

Ёқилгининг ёниш жараёни. 11.7-расмда ёқилгини ёниш жараёнида энергия ўзгариши схемаси ва ёнишдан ҳосил бўлган маҳсулотлардан фойдаланиш эксергия оқимлари диаграммаси кўринишида тасвирланган. Одатда, киришдаги умумий эксергия E_1 ёқилғи ва оксидловчи модда эксергиялари йиғиндисига тенг. Ёқилғи ва оксидловчи модда ёниш олдида иситкич I да ёниш маҳсулотлари эксергиянинг бир қисми E_5 ҳисобига қиздирилганда, улар эксергияси $E'_1 > E_1$ катталиқкача ортади. Иситкич I да қиздириш жараёни D_1 эксергия йўқотилишлари билан боради. Сўнгра $E'_2 > E'_1$ эксергияли қиздирилган ёқилғи ва оксидловчи модда II ёниш камерасига юборилади. У ерда ёқилғи ва оксидловчи модда эксергиялари E_2 юқори температурали ёниш маҳсулотларига айланади. Ёқилгининг ёниш камераси II да ёниш жараёни D_2 эксергия йўқотилишлари билан боради. $E'_3 = E'_2$ эксергияли ёниш маҳсулотлари ЭКТС нинг III элементини ташкил этувчи буғ ёки иссиқлик генератори ёки газ турбинасига боради. III элементда ёниш маҳсулотлари эксергиясидан фойдаланиш жараёни табиати III элемент турига боғлиқ эксергетик йўқотилишлар билан боради. Масалан, буғ ва иссиқлик генераторларида D_2 йўқотилиш ёниш маҳсулотлари ва иссиқлик элткичлар орасидаги катта температуралар фарқида борувчи иссиқлик узатиш сабабли пайдо бўлади. E_4 қолдиқ эксергия қисман ёқилгини ва оксидловчи моддани иситкичда қиздиришда (E_5) ёки иссиқликда ишловчи бошқа қурилмаларда ишлатилиши мумкин. Ёниш маҳсулотларининг атмосферага чиқариб юборувчи эксергияси $E_6 = D_4$ (иситкич ўрнатилмаганида, ишлатилмаганида) термомеханик ва ноль эксергиялардан ташкил топади. Эксергиянинг бошқа қисми E_7 элемент III дан сўнг кейинги жараёнларда ишлатиш учун фойдаланилади.



11.7-расм. Ёқилғи ёниш жараёни учун Гроссман – Шаргут диаграммаси.

Ёқилгини ёниши — кимёвий, оксидланиш реакциясидир. ЭКТС ни эксергетик таҳлил қилишда, одатда нисбий эксергия қийматлари жадваллардан олинади.

Ёқилғи ва оксидловчи модда эксергиясини e_1 , ҳамда ёниш маҳсулотлари эксергиясини ёниш маҳсулоти эксергиясини $e_{n.c}$ аниқлаб, ёқилгининг кимёвий эксергиясини ёниш маҳсулоти эксергиясига ўтиши билан боғлиқ эксергетик йўқотилишларни топамиз $d_1 = e_1 - e_{n.c}$. Ёниш маҳсулотлари эксергияси e қуйидагича аниқланади:

$$e_{n.c} = c_{pn.c} (T_{теор} - T_0) - T_0 \left[c_{pn.c} \ln \left(\frac{T_{теор}}{T_0} \right) - R_{n.c} \ln \left(\frac{p_{n.c}}{p_0} \right) - \sum R_i \ln \left(\frac{1}{r_i} \right) \right] =$$

$$= I_{теор} - T_0 \left[c_{pn.c} \ln \left(\frac{T_{теор}}{T_0} \right) - R_{n.c} \ln \left(\frac{p_{n.c}}{p_0} \right) - \sum R_i \ln \left(\frac{1}{r_i} \right) \right]$$

бу ерда $I_{теор}$ - ёниш маҳсулотларининг назарий энтальпияси, кЖ/кг; $T_{теор}$ - назарий ёниш температураси, К; $c_{pn.c}$ - ёниш маҳсулотларининг ўртача иссиқлик сифими; $R_{n.c}$ - ёниш маҳсулотларининг газ доимийси; R_i ва r_i - ёниш маҳсулотлар компонентларининг мос равишда газ доимийси ва ҳажмий улуши.

Ёниш жараёнининг эксергетик фойдали иш коэффициенти қуйидагича:

$$\eta_{ex}^r = \frac{e_{n.c}}{e_1} = \frac{e_1 - d_1}{e_1} \quad (11.84)$$

атмосфера босимида η_{ex}^r нинг қиймати 0,45 дан (саноат қозонлари ва ўтхоналари учун) 0,7 гача (замонавий буғ генераторлар учун) ўзгаради. Ёниш жараёнининг босими ортганда η_{ex}^r катталиқ ҳам ортади, масалан, газ турбиналари учун $\eta_{ex}^r = 0,55 \dots 0,6$

Ёқилғи ўтхона ва иссиқлик, буғ генераторларида ёнганда иссиқлик оқими ёниш маҳсулотларидан иситилаётган жисмга ўтади. Бу жараённинг унумдорлиги нафақат ёниш маҳсулотлари эксергияси камайишига $\Delta E_{n.c}$, балки иситилаётган жисм эксергиясининг $\Delta E_{n.c}$ ортишига ҳам боғлиқ. Шунинг учун бу жараённинг эксергетик фойдали иш коэффициенти қуйидагича:

$$\eta_{ex}^{TP} = \frac{\Delta E_{n.m}}{\Delta E_{n.c}} = \frac{E_{qn.m}}{E_{qn.c}} = \frac{E_{qn.c} - D}{E_{qn.c}} \quad (11.85)$$

ва

$$\eta_{ex}^{TP} = \frac{e_{qn.c} - d}{e_{qn.c}} \quad (11.86)$$

унинг қиймати температура ўсиши билан ортиб, замонавий буғ генераторлари учун 0,8...0,85 га етади.

1 кг ёқилғи ёнишида олинган ёниш маҳсулоти иссиқлик оқимининг эксергияси:

$$e_{qn.c} = I_T \left(\frac{1 - T_0'}{T_T} \right) \quad (11.87)$$

бу ерда $I_T = Q_n^p \eta_i + Q_B + Q_T$ назарий энтальпия, кЖ/кг; $T_T = [I_T / (\sum v_i c_{pTi})] + 273$ - ёнишнинг назарий температураси, К; η_i - ёниш камерасининг фойдали иш коэффициенти; Q_B ва Q_T - ёниш камерасига ҳаво ва ёқилғи билан кираётган иссиқлик, кЖ/кг.

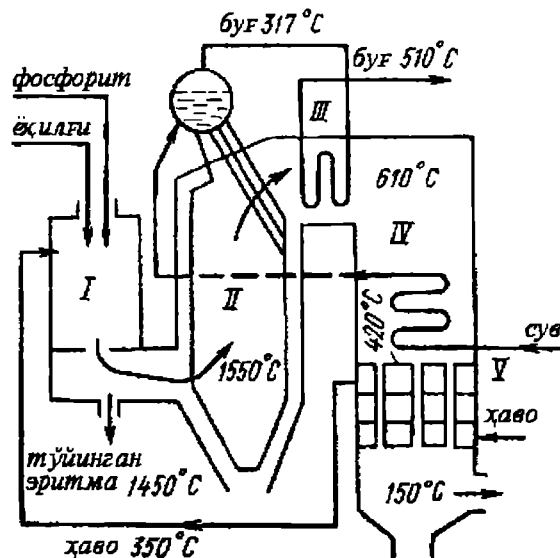
Бу формулалардан кўриниб турибдики, ҳаво кўпроқ қизиши билан (Q_B) $e_{qn.c}$ ортади, чунки I_T ва T_T ҳам кўпаяди.

Ҳавони кислород билан тўйинтириш ёниш маҳсулотлари миқдорини камайтиради (ундаги азот миқдори камаяди) ва демак, T_T ортади. Ёқилғи ёнишидаги α ҳаво ортиқчалик коэффицентининг камайиши T_T ни ортишига олиб келади, чунки бунда ёниш маҳсулотларининг миқдори камаяди. (11.87) формулага биноан, бу иккита тадбир $e_{qn.c}$ ни ортишига олиб келади ва демак, иссиқликни ёниш маҳсулотларидан қиздирилатган жисмга узатилишида эксергетик йўқотилишлар d ни камайтиради. Лекин, ҳавони кислород билан тўйинтириш қўшимча энергия сарфини талаб этади, бу эса ЭКТСни эксергетик таҳлилида эътиборга олинмайди. Ҳавони дастлабки қиздириш ва уни кислород билан тўйинтириш афзаллиги техник-иқтисодий ҳисоблардан маълум бўлади.

11.11. ЭКТС таҳлили ва термодинамик оптималлаш

ЭКТС ни эксергетик таҳлилинини суюқ фосфат олиш циклон қурилмаси мисолида кўрайлик [61].

11.8-расмда фторсиз суюқ фосфат ва энергетик буғ олиш циклонли энерготехнологик қурилмасининг схемаси, 11.9-расмда эса шу қурилманинг эксергетик баланс оқимлари диаграммаси берилган. Қурилманинг асосий маҳсулот бўйича (1723К температурали фторсиз фосфат) унумдорлиги — 10 т/соат; ёрдамчи маҳсулот бўйича (10,6 МПа босимли ва 783К температурали қизиган сув буғи) унумдорлиги 15 т/соат.



11.8-расм. Фторсиз фосфат олиш ЭКТС схемаси

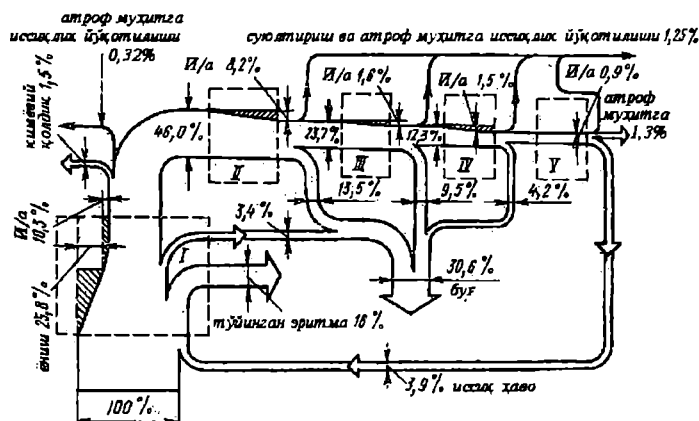
I-циклон; II-радиацион камера; III-буғ иситкич;
IV-экономайзер; V-ҳаво иситкич.

Узатилувчи сув температураси 488К, ёқилғи — табиий газ $Q_p = 35,8 \text{ МДЖ} / \text{м}^3$; ҳавони иситиш температураси 623К; ишлатиб бўлинган газ температураси 323К.

Эксергетик баланс ҳисоби ёниш маҳсулотларининг ноль эксергиясини эътиборга олмасдан бажарилди, натижада олинган қийматлар аниқлиги 97% ни ташкил этди.

11.9-расмдан, бутун қурилма учун

$$\eta_{ex}^p = 16,6 + 30,6 = 47,2\%$$



11.9-расм. Фторсиз фосфат олиш ЭКТС эксергетик баланс оқимларининг диаграммаси.

Ўша параметрли фосфат ва буғ алоҳида-алоҳида ишлаб чиқарилганида қурилманинг умумий фойдали иш коэффициенти 36% бўлади. Фойдали иш коэффициенти камайишига сабаб, кўрсатилган маҳсулотлар биргаликда ишлаб чиқарилганида асосий эксергетик йўқотилишлар (иссиқлик алмашинишдаги қайтмаслик туфайли) анчагина камаяди. Чунки технологик занжирнинг бошида юқори температурали технологик жараён — циклонда фосфат олиш жойлашади; бунга циклоннинг бошқа элементларга нисбатан энг кичик эксергетик фойдали иш коэффициентига (37,8%) эгаллиги таъсир этмайди; циклонда термодинамик жиҳатдан энг мукаммал бўлмаган жараён — ёқилғи ёниши амалга ошади.

Энергетик баланс бўйича қурилманинг фойдали иш коэффициенти $\eta_i^y = 27,4 + 63,5 = 90,9\%$. Энергетик баланс бўйича юқори унумдорли қурилма ҳақида тасаввур ҳосил бўлади, бу эса ҳақиқатдан йироқ. Эксергетик ва энергетик баланслардан олинган натижаларни таққослашдан маълум бўлдики, энергетик баланс ЭКТС даги энергия ўзгариш сабабларини ёритмайди ва қурилма, ҳамда унинг элементларини тўғри баҳолаш имконини бермайди.

11.12. Жараён ва қурилмалар эксергиясини ҳисоблаш

11.1-миisol. Икки босқичли компрессорда фреон — 12 типдаги совуқлик элткич $p_f=0,15$ МПа босимгача сиқиялпти. Биринчи босқичдан сўнг, фреон оралик совуткичга юборилмоқда; ажратилиб олинадиган иссиқликдан фойдаланилмайди. Компрессорнинг иккала босқичининг адиабатик фойдали иш коэффициенти $\eta_{ad}=0,8$. Биринчи босқичга киришдан аввалги фреоннинг параметрлари:

$$p_f'=0,15 \text{ МПа}, T_f'=263\text{К}, i_f=569,4 \text{ кЖ/кг}, e_f'=-23 \text{ кЖ/кг}.$$

Биринчи босқичдан сўнг $p'_1=0,7\text{МПа}$, $T'_1=331\text{К}$, $h'_1=506,0\text{ кЖ/кг}$, $i'_1=6,62\text{ кЖ/кг}$, $e'_1=-23\text{ кЖ/кг}$. Иккинчи босқичга киришдаги параметрлари эса: $p'_2=0,6\text{МПа}$, $T'_2=298\text{К}$, $i'_2=586,1\text{ кЖ/кг}$, $e'_2=2,3\text{ кЖ/кг}$. Иккинчи босқичдан кейинги параметрлар қуйидагича: $p''_2=1,2\text{МПа}$, $T''_2=343\text{К}$, $i''_2=608,1\text{кЖ/кг}$, $e''_2=16,1\text{ кЖ/кг}$.

1 кг совуқ элткични сиқишга сарфланган иш:

$$l = (i''_1 - i'_1) + (i''_2 - i'_2) = (606 - 569,4) + (608,1 - 586,1) = 58,6\text{ кЖ/кг}.$$

Эксергетик баланс тенгламаси:

$$e''_2 - e'_1 + d = l$$

юқоридаги тенгламадан тўлиқ эксергетик йўқотилишларни аниқлаймиз:

$$d = l - \Delta e = 58,6 - (16,1 + 23) = 19,5\text{ кЖ / кг}$$

Бу йўқотилиш ички ва ташқи йўқотилишлардан иборат. Ташқи йўқотилишларга оралик совуткичда иссиқлик тарқалиш билан боғлиқ эксергетик йўқотилишлар киради, яъни $d_e = e''_2 - e'_2 = 6,62 - 2,3 = 4,32\text{ кЖ/кг}$

Ички йўқотилишлар $d_i = d - d_e = 19,5 - 4,32 = 15,18\text{ кЖ/кг}$ га тенг айирма билан аниқланади.

Ички йўқотилишларни таҳлил қилиш ва техник d_T ҳамда шахсий d_c йўқотилишларни аниқлаш учун сиқиш жараёни $S=\text{const}$ чизиқ бўйича амалга ошадиган ва оралик совуткичда босим йўқотилиши бўлмаган, икки босқичли компрессор қурилмасини кўриб чиқамиз. Бундай шароитда фреон-12 нинг биринчи босқичдан кейинги параметрлари: $p''_1=0,7\text{МПа}$, $i''_1=598,3\text{ кЖ/кг}$, $e''_1=5,9\text{ кЖ/кг}$; иккинчи босқичга киришда $p'_2=0,7\text{ МПа}$, $T'_2=303\text{К}$, $i'_2=588,2\text{ кЖ/кг}$, $e'_2=5,2\text{ кЖ/кг}$ ва иккинчи босқичдан сўнг $p''_2=1,2\text{ МПа}$, $i''_2=597,6\text{ кЖ/кг}$, $e''_2=14,6\text{ кЖ/кг}$.

Сиқишга сарфланган иш:

$$l_{\text{ис}} = i''_2 - i'_1 + i''_1 - i'_2 = 598,3 - 569,4 + 597,6 - 588,2 = 38,3\text{ кЖ / кг}$$

Эксергияни қурилмада ортиши:

$$\Delta i = 14,6 - (-23) = 37,6\text{ кЖ / кг}$$

Эксергия йўқотилиши:

$$d = l_{\text{ис}} - \Delta i = 0,7\text{ кЖ / кг}$$

Оралик совуткичдан олинаётган эксергия:

$$\Delta e_{\text{отв}} = e'_2 - e'_1 = 5,9 - 5,2 = 0,7\text{ кЖ / кг}$$

Шундай қилиб, ташқи эксергия йўқотилиши $d_e=0,7\text{ кЖ/кг}$. Идеал қурилма таҳлил қилинаётгани учун, техник эксергия йўқотилишлари йўқ. Шунинг учун $d_e = d_c$ ҳақиқий қурилманинг ички йўқотилишларини d_i идеал қурилманинг шахсий йўқотилишлари d_c билан солиштириб, бир меъёрда сиқмаслик ва гидравлик қаршилиқлар туфайли пайдо бўлаётган умумий техник йўқотилишларни аниқлаш мумкин:

$$d_T = d_i - d_c = 15,18 - 0,7 = 14,48\text{ кЖ / кг}.$$

11.2-мисол. Фреон – 13 да ишловчи совитиш қурилмасининг детандери-да ишчи элткич $p_1 = 0,098 \text{ МПа}$ босимдан $p_2 = 0,0331 \text{ МПа}$ босимгача кенгаймоқда. Бунда температура $T_1 = 0$ дан $T_2 = -20^\circ\text{C}$ гача ўзгармоқда. Фреон – 13 нинг $e-i$ диаграммасидан [55] $i_1 = 530,9 \text{ кЖ/кг}$, $i_1 = 71,17 \text{ кЖ/кг}$, $i_2 = 519,2 \text{ кЖ/кг}$, $i_2 = 97,1 \text{ кЖ/кг}$.

Детандерда бажарилган иш $l = 530,9 - 519,2 = 11,7 \text{ кЖ/кг}$.

Совуқлик элткичи эксергиясининг ортиши $\Delta l = i_1 - i_2 = 71,17 + 97,1 - 11,7 = 14,23 \text{ кЖ/кг}$ тенг.

Детандердаги жараён идеал бўлганда ($S = \text{const}$ да кенгайиш) фреон-13 энтальпияси ва эксергияси чиқишда мос ҳолда $i_{2ad} = 504,5 \text{ кЖ/кг}$, $i_{2ad} = 100,5 \text{ кЖ/кг}$. У ҳолда детандернинг эксергетик қуввати:

$$N_{ead} = 530,9 - 504,5 + 100,5 - 71,17 = 55,73 \text{ кЖ / кг}$$

Эксергия йўқотилиши

$$d = -71,17 + 100,5 - 26,4 = 2,93 \text{ кЖ/кг}.$$

Бу ерда эксергетик йўқотилишлар ички йўқотилишлардан иборат ва ҳақиқий детандер ишлаганда техник $d_m = 14,23 + 2,93 = 11,3 \text{ кЖ/кг}$ ва шахсий $d_c = 2,93 \text{ кЖ/кг}$ йўқотилишларга бўлиниши мумкин. Фреон-13 нинг хусусиятлари билан боғлиқ минимал эксергия йўқотилиши шахсий йўқотилишлардан d_c кам бўлиши мумкин эмас.

11.3-мисол. Совитиш қурилмасининг буғлаткичига атроф муҳит температурасидан анча паст температурали совитиш элткичи кирмоқда. Атроф-муҳитдан иссиқлик келиши ҳисобида у буғланади. Совитиш камерасида атроф муҳит температурасидан анча паст миқдордаги температура сақланади. Бу камеранинг эксергетик баланси:

$$E' - E'' = Q_0 \bar{\tau}_e + \sum D$$

бу ерда E' ва E'' - камерага кириш ва ундан чиқишдаги совутувчи элткичнинг эксергиялари; Q_0 - узатилаётган иссиқлик; $\bar{\tau}_e$ - эксергетик температура функцияси.

Фараз қилайлик, совитиш учун фреон-12 ишлатилаётган бўлсин. Буғлаткичга киришдаги унинг параметрлари:

$$T_{0,c} = 293\text{K}, i' = 529,08 \text{ кЖ/кг}, s = 1,245 \text{ кЖ/(кг} \cdot \text{K)}, e' = 199,58 \text{ кЖ/кг}.$$

Фреоннинг қайнаш температураси 243K, совитиш камерасида 248K температура ҳосил қилинмоқда.

Буғлаткичдан чиқишдаги фреоннинг параметрлари

$$p'' = 0,1013 \text{ МПа}, T'' = 243\text{K}, i'' = 541,81 \text{ кЖ/кг}, s'' = 1,5882 \text{ кЖ/(кг} \cdot \text{K)}, e'' = 176,47 \text{ кЖ/кг}.$$

1 кг фреон – 12 дан олинаётган иссиқлик миқдори $Q_0 = 112,73 \text{ кЖ}$. Тўлиқ эксергия йўқотилиши:

$$\sum D = (199,58 - 176,47) - 112,73 \cdot \left(\frac{293}{248} - 1 \right) = 2,65 \text{ кЖ / кг}$$

Бу йўқотилиш қайнаётган фреон ва совитиш камерасидаги температуралар фарқи туфайли пайдо бўлаётган *шахсий эксергетик** йўқотилишдан иборат.

11.4-мисол. Температура $t_1=1000^{\circ}\text{C}$ бўлганда $Q=750$ кЖ иссиқликнинг эксергияси ва температураси $t_2=600^{\circ}\text{C}$ ли жараёнидаги эксергетик йўқотилишларини аниқланг. Атроф муҳит температураси $t_0=17^{\circ}\text{C}$.

Эксергия миқдори ва унинг йўқотилишлари T - S диаграммада схематик равишда тасвирланг.

Ечиш: Иссиқлик эксергияси

$$E_{xo} = Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) = 750 \cdot \left(1 - \frac{290}{1273}\right) = 518 \text{ кЖ}$$

Иссиқликнинг юқори температурали жисмдан температураси паст жисмга қайтмас ўтиши натижасида эксергетик йўқотилишлар қуйидаги топилади:

$$\begin{aligned} \Pi &= T_0 \Delta S_c = T_0 (\Delta S_1 + \Delta S_2) = T_0 \cdot \left(-\frac{Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2}\right) = \\ &= 290 \cdot \left(-\frac{750}{1273} + \frac{750}{873}\right) = 58,8 \text{ кЖ} \end{aligned}$$

T - S диаграммадаги 1-2-5-6-1 юза $t_1=1000^{\circ}\text{C}$ (1273 К) даги иссиқликнинг эксергиясини ифодалайди.

6-7-9-8-6 юза эса температураси $t_2=600^{\circ}\text{C}$ бўлган жисмга иссиқликнинг ўтиши билан боғлиқ эксергетик йўқотилишлар.

11.5-мисол. Массавий сарфи $M=24$ кг/с бўлган саноат иситкичида температураси $t_1=45^{\circ}\text{C}$ ли сув $t_2=72^{\circ}\text{C}$ гача абсолют босими $p=0,07$ МПа ли иситувчи буғ ёрдамида қиздирилмоқда. Лекин, корхонада ушбу босимли буғ бўлмагани учун юқори босимли, яъни $p^*=0,3$ МПа буғ ишлатилмоқда. Иситкичнинг лойиҳа ва ҳақиқий буғ босимлари учун термодинамик характеристикаларини аниқланг. Атроф муҳитга иссиқликнинг йўқотилиши инobatга олинмасин.

Ечиш: Иситкичнинг энергетик баланси иккала режим учун иссиқлик юқламани характерлайди:

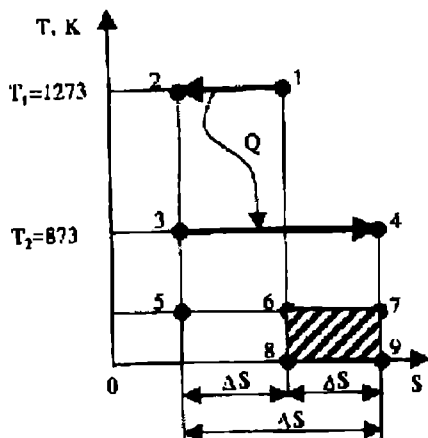
$$Q = \Delta H = mc_p (t_2 - t_1) = 24 \cdot 4,19 \cdot (72 - 45) = 2700 \text{ кВт}$$

Иситувчи буғнинг секундли сарфи

$$D = \frac{Q}{h_n - h_k}$$

бу ерда h_n ва h_k — иситувчи буғ ва конденсатларнинг солиштира энтальпиялари.

* шахсий эксергетик йўқотишлар d_c - фақат ҳақиқий қурилма ва машиналарда рўй беради.



Иситувчи буғни қуруқ, тўйинган ва конденсатни тўйиниш температу-
расидан 20°C га қўпроқ совутилган деб ҳисоблаб, қуйидагиларни топамиз:
лойиҳаланаётган режимда ($p=0,07$ МПа)

$$D = \frac{2700}{2666 - 376} = 1,18 \text{ кг/с}$$

ҳақиқий режимда ($p'=0,3$ МПа)

$$D' = \frac{2700}{2726 - 562} = 1,25 \text{ кг/с}$$

Иситкичнинг эксергетик балансини ташкил этувчилар.
иситилаётган сув эксергиясининг ўсиши

$$\Delta Ex_b = \Delta H_b - T_0 \Delta S_b = 24 \cdot (113 - 288 \cdot 0,343) = 340 \text{ кВт}$$

лойиҳа режимида иситувчи буғ эксергиясининг камайиши

$$\Delta Ex_{\Pi} = 1,18 \cdot (2290 - 288 \cdot 6,3) = 560 \text{ кВт}$$

ҳақиқий режимда

$$\Delta Ex'_{\Pi} = 1,25 \cdot (2180 - 288 \cdot 5,3) = 800 \text{ кВт}$$

тегишли эксергетик йўқотилишлар

$$\Pi = 560 - 340 = 220 \text{ кВт}; \quad \Pi' = 800 - 340 = 460 \text{ кВт}$$

Иситкич ф.и.к.

$$\eta = \frac{340}{560} = 0,61; \quad \eta' = \frac{340}{800} = 0,43$$

яъни, лойиҳа режимидан четга чиқилса, иситкичнинг эксергетик
ф.и.к. тахминан 30% га камаяди.

Лойиҳа режимидан четга чиқилганда эксергетик йўқотилишлар ўсиши
қуйидагига тенг:

$$\Delta \Pi = \Pi' - \Pi = 460 - 220 = 240 \text{ кВт}$$

Ёқилғининг ортиқча сарфи

$$\Delta B = \frac{\Delta \Pi}{Q_H^p}$$

бу ерда $Q_H^p = 29300$ кЖ - шартли ёқилғининг ёниш иссиқлиги.

Шартли ёқилғининг бир суткадаги ортиқча сарфи:

$$\Delta B = \frac{240 \cdot 3600 \cdot 24}{29300} \approx 700 \text{ кг}$$

И Л О В А Л А Р

И1. Физик катталиклар ўлчов бирликлар системаси

Бутун дунёда XX асрнинг ўртасигача бир нечта ўлчов системаси мавжуд эди: МКГСС — метр, килограмм — куч ва секундага асосланган техник система; СГС — сантиметр, грамм ва секундага асосланган метрик система; МТС — метр, тонна, секунда, ҳамда турли системасиз бирликларга асосланган система.

Ўлчов бирлик системаларининг кўплиги жуда катта ноқулайликлар, фан, техника ва ишлаб чиқаришнинг турли соҳаларида халқаро муносабатларни қийинлаштирган.

1960 йили ўлчов ва тарозилар XI бош конференциясида Халқаро бирлик системаси (СИ) қабул қилинди. Ушбу системага ўтиш механик, электрик, иссиқлик ва бошқа физик катталикларни ўлчашнинг бир хиллигини таъминлайди, уларнинг аниқлигини оширади ва ҳисоблаш формулаларини соддалаштиради.

Халқаро системаси (СИ)да, асосий ўлчов бирликлари қуйидагилар:

Узунлик	- метр (м);
Масса	- килограмм (кг);
Вақт	- секунда (с);
Электр токи кучи	- Ампер (А);
Температура	Кельвин (К);
Ёруғлик кучи	Кандела (кд);
Модда миқдори	моль

Ундан ташқари, стандартда яна иккита қўшимча бирлик назарда тутилган:

Ясси бурчак	- радиан (рад);
Фазовий бурчак	- стерadian (ср);

Катталиклар орасидаги боғлиқликни ифодаловчи ҳосилавий бирликлар ўлчамлари физика тенгламалари ёрдамида аниқланади. Куйида келтирилган И-1 жадвалда Халқаро бирликлар системасининг асосий, қўшимча ва кўп ишлатиладиган ҳосилавий, ҳамда бошқа системадаги бирликларнинг СИ бирликларига ўтказиш коэффициентлари келтирилган.

Юқорида келтирилган нисбатлардан ташқари қуйидаги бирликлар тез-тез учраб туради: узунлик — $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$; Ангстрем $\overset{o}{A} = 10^{-10} \text{ м} = 10^{-8} \text{ см} = 0,1 \text{ Нм}$; масса — $1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$, $1 \text{ центнер} = 100 \text{ кг}$; температура — Фаренгейт градуси $1^{\circ}\text{F} = [5/9(t-32)+273,15]\text{K}$; $t^{\circ}\text{C} = (t+273,15)\text{K}$; частота $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$; $1 \text{ айл/с} = 1 \text{ Гц}$.

Ундан ташқари қуйидаги бирликлар ҳам қўлланади: 1 миля (қадимги рус) = 7,468 км; 1 миля (денгиз) = 1,852 км; 1 миля (қуруқлик) = 1,609 км; 1 дюйм = 2,54 см; 1 саржин = 3 аршин = 7 фут = 2,1336 м; 1 аршин = 71,12 см; 1 фут = 12 дюйм = 0,3048 м; 1 фунт = 0,4536 кг; 1 фунт-куч = 4,448 Ньютон.

И-1 жадвал

Т/р	Катталик	Бирликлар системаси	Бирлик номи	СИ системасига ўтказиш коэффициенти
1.	Узунлик	СИ, МКГСС СГС	Метр (м) Сантиметр (см)	10^{-2}

2.	Масса	СИ МКГСС СГС Системадан ташқари бирлик	Килограмм (кг) Массанинг техник бирлиги (кгк·с ² /м) Грамм (г) Центнер (ц) Тонна (т) Карат (кар) Фунт	9,81 10 ⁻³ 100 10 ³ 2·10 ⁻⁴ 0,454
3.	Куч	СИ МКГСС СГС	Ньютон (Н) Килограмм-куч (кгк) Дина (дин)	9,81 10 ⁻⁵
4.	Босим	СИ МКГСС СГС Системадан ташқари бирлик	Паскаль (Па) Ньютон квадрат метрга (Н/м ²) Килограмм куч квадрат метрга (кгк/м ²) Дина квадрат сантиметрга (дин/см ²) Бар (бар) Техник атмосфера (атм.) Миллиметр сув устуни (мм.сув.уст.) Миллиметр симоб устуни (мм.сим.уст)	9,81 10 ⁻¹ 10 ⁵ 9,81 10 ⁴ 9,81 133,3
5.	Динамик қовушоқлик	СИ МКГСС СГС	Паскаль – секунд (Па·с) Ньютон – секунд квадрат метрга (Н·с/м ²) Килограмм-куч-секунд квадрат метрга (кгк·с/м ²) Дина-секунд квадрат метрга (дина·с/м ²) Пуаз (П) Сантипүаз (сП)	9,81 10 ⁻¹ 10 ⁻¹ 10 ⁻³
6.	Кинематик қовушоқлик	СИ МКГСС СГС	Квадрат метр секундга (м ² /с) Квадрат метр соатга (м ² /соат) Стокс (Ст) Сантистокс (сСт)	2,78·10 ⁻⁴ 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁶
7.	Сиртий таранглик	СИ СГС	Ньютон метрга (Н/м) Жоуль квадрат метрга (Ж/м ²) Дина сантиметрга (дин/см) Эрг сантиметрга (эрг/см)	10 ⁻³ 10 ⁻³

8.	Иссиқлик сизим	СИ Системадан ташқари бирлик	Жоуль килограмм- градусга (Ж/кг·град) Килокалория килограмм-градусга [ккал/(кг·град)]	4190
9.	Иссиқлик ўтказувчанлик	СИ Системадан ташқари бирлик	Жоуль-метр-соат- градусга [Ж/(м·соат·град)] Ватт метр-градусга [Вт/(м·град)] Килокалория метр- соат-градусга [ккал/(м·соат·град)]	1,163
10.	Иш энергия	СИ МКГСС СГС Системадан ташқари бирлик	Жоуль (Ж) Килограмм-куч-метр (кгк·м) Эрг (эрг) Киловатт-соат (кВт·соат) от куч·соат(о.к.·соат)	9,81 10^{-7} $3,6 \cdot 10^6$ $2,65 \cdot 10^6$
11.	Қувват	СИ МКГСС СГС	Ватт (Вт) Килограмм-куч-метр секундга (кгк·м/с) Эрг секундга (эрг/с) от кучи (о.к.) Килокалория соатга (ккал/соат)	9,81 10^{-7} 736 1,16
12.	Иссиқлик миқдори	СИ Системадан ташқари бирлик	Жоуль (Ж) Килокалория (ккал)	4190
13.	Иссиқлик бериш, ўтказиш	СИ Системадан ташқари бирлик	Ватт метр квадрат- градусга [Вт/(м ² ·град)] Килокалория квадрат метр-соат-градусга [ккал/(м ² ·соат·град)]	1,163
14.	Вақт	СИ Системадан ташқари бирлик	Секунда (с) Соат Сутка Йил	3600 86400 $3,16 \cdot 10^6$
15.	Тезлик	СИ Системадан ташқари бирлик	Метр секундга (м/с) Километр соатга (км/соат)	0,278
16.	Айланиш частотаси	СИ Системадан ташқари бирлик	Айланиш секундага (1/с) Айланиш минутга (айл/мин)	1/60

И2. Асосий конструкцион материаллар ва уларнинг хоссалари

Кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларнинг қурилмаларини лойиҳалаш жараёнида пайдо бўладиган қурилмани таркибий қисмлари учун лойиқ ва мос материалларни танлаш энг асосий ва ўта масъулиятли масалалардан биридир [28,131].

Материалларни танлашда уларнинг қуйидаги асосий хусусиятлари ҳисобга олиниши керак [132]:

- мустаҳкамлиги;
- иссиқликка бардошлилиги;
- емирилишга қарши кимёвий чидамлилиги;
- физик хоссалари;
- технологик характеристикалари, таркиби ва тузилиши;
- нархи ва уни ишлаб чиқариш мумкинлиги.

Материалнинг хоссалари қўлланилиш соҳасига, яъни ундаги муҳитларга чамбарчас ва қаттиқ боғлиқдир. Агарда, муҳитнинг температураси ўзгариши билан материалнинг ҳамма механик хоссалари коррозияга чидамлилиги, қайта ишланишга мойиллиги кескин ўзгаради. Шунинг учун материални танлашда коррозияга чидамлилигига алоҳида эътибор бериши керак, чунки бу кўрсаткичга унинг узок муддат давомида ишлатилиши узвий боғлиқдир. Ундан ташқари, коррозия натижасида емирилган материал олинаётган маҳсулот сифатини пасайтиради, рангини ва таъмини ёмонлаштиради. Яна шуни назарда тутиш керакки, қурилманинг материали қўшимча реакциялар учун катализатор ҳам бўлиб қолиши мумкин.

Кимёвий чидамлилиги жиҳатдан материалнинг яроқлигини баҳолаш мезонлари қуйидаги I-2 жадвалда келтирилган:

I-2 жадвал

Материалнинг коррозияга чидамlilik шкаласи

Чидамlilik гуруҳи	Коррозияга чидамlilik балли	Коррозия тезлиги, мм/йил
Жуда чидамли	1	< 0,001
Ўта чидамли	2	0,001 - 0,005
	3	0,005 - 0,01
Чидамли	4	0,01 - 0,05
	5	0,05 - 0,1
Чидамлилиги паст	6	0,1 - 0,5
	7	0,5 - 1,0
Чидамлилиги жуда паст	8	1,0 - 5,0
	9	5,0 - 10
Чидамсиз	10	> 10

Одатда, асосий талабларга мос ва лойиқ материаллар бир нечта бўлади. Бундай ҳолларда, қўшимча шарт ва талаблар эътиборга олиниб, қурилма учун материал танланади.

Шунинг учун, қурилмаларни ясаш учун асосий материалларни танлашни лойиҳачи нуқтаи назаридан кўриб чиқамиз.

Конструкцион материал сифатида темир (*Fe*) техник тоза ҳолда умуман қўлланилмайди, чунки қиммат туради ва қайишқоқлиги юқори. Айрим ҳолларда уни юқори босимли қурилмаларда қистирма сифатида ҳам ишлатилади [37].

Лекин, темирнинг утлерод билан қотишмалари, яъни чўян ва пўлатлар кимё ва бошқа саноат қурилмаларини тайёрлашда жуда кўп ишлатилади. Маълумки, кимё саноатида 85-90% қурилмалар чўян ёки пўлатдан ясалган.

ЧҶҲН. Темирнинг углерод ва кремний, фосфор, марганец ва олтин-гугурт билан кўп компонентли қотишмаси кул ранг чўян бўлади.

Чўян таркибидаги углерод миқдори 2,8-3,7% бўлади. Бошқа компонентларнинг миқдори эса қуйидагича: $C=3,0-3,6\%$; $Si=1,6-2,4\%$; $Mn=0,5-1,0\%$; $P<0,8\%$; $S<0,12\%$.

Чўянларнинг физик хоссалари қуйидаги маълумотлар билан характерланади:

- зичлиги $\rho = 6600 \dots 7700 \text{ кг/м}^3$
- эриш температураси $t_{\text{эп}} = 1050 \dots 1573 \text{ К};$
- иссиқлик ўтказувчанлиги $\lambda = 25 \dots 59 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$
- солиштира иссиқлик сифими $c_p = 0,5 \dots 4,5 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{К};$
- чизикли кенгайиш коэффициенти $\chi = (16,7 \dots 17,6) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}.$

Чўянлар нархи паст ва ўртача механик хоссаларга эга бўлгани учун техниканинг турли соҳаларида кенг қўлланишига олиб келди.

ПЎЛАТ. Бу материалсиз техника ҳозирги кундаги юқори мавқеига эришмаган бўларди. Бунга сабаб, пўлатнинг мустаҳкамлиги, динамик юкламаларга бардошлиги, қуйилиш, болғаланиш, штамплаш ва пайвандланиш қobiliятига эгаллиги, станокларда қайта ишланишга мойиллиги, арзонлиги ва мўлтигидир.

Пўлатларда углерод миқдори 1,5% гача бўлса, конструкцион пўлатларда эса 0,7% дан ортмайди. Саноатда ст. 3, ст. 5, ст. 10, ст. 20, ст. 25, ст. 30, ст. 35, ст. 40, ст. 45 пўлат маркалари ишлатилади.

Пўлатларнинг физик хоссалари қуйидагича:

- зичлиги $\rho = 7790 \dots 7900 \text{ кг/м}^3;$
- эриш температураси $t_{\text{эп}} = 1400 \dots 1500 \text{ К};$
- иссиқлик ўтказувчанлиги $\lambda = 46,5 \dots 58,2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$
- солиштира иссиқлик сифими $c_p = 0,454 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{К};$
- чизикли кенгайиш коэффициенти $\chi = (11,7 \dots 12,3) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}.$

Легирловчи қўшимчалар таъсири. Муҳим легирловчи элементларга қуйидагилар кирази: хром, никель, молибден, марганец, кремний, титан, ниобий, вольфрам, ванадий. Айрим ҳолларда алюминий ва мислар ҳам қўшимча сифатида пўлатларга қўшилади.

Кимёвий таркибига кўра, пўлатлар углеродли ва легирланган турларга бўлинади. Бу элементлар пўлат сифатини яхшилади ва махсус хоссали қилади.

Легирланган пўлатнинг кимёвий таркиби учун ягона шартли белгилар (ҳарф ва рақамлар) қабул қилинган.

Дастлабки икки рақам углероднинг ўртача миқдорини (конструкцион пўлат учун фоизнинг юздан бир улуши миқдорида, асбобсозлик ва зангламайдиган пўлатлар учун фоизнинг ўндан бир улуши миқдорида); ҳарфлар легирловчи элементларни (жадвалга қаранг); ҳарфларнинг ўнг томонидаги рақамлар эса элементларнинг ўртача миқдорини кўрсатади.

1-3 жадвал

Пўлат компонентларининг шартли белгилари

Номи	Шартли белгилари	Номи	Шартли белгилари
Алюминий	Ю	Мис	Д
Бор	Р	Молибден	М
Ванадий	Ф	Никель	Н
Вольфрам	В	Ниобий	Б
Кобальт	К	Титан	Т
Кремний	С	Углерод	У*
Марганец	Г	Хром	Х

У* - углеродли асбобсозлик пўлатлар маркаларида.

Масалан, X18H12M2T маркали пўлатда 18% хром, 12% никель, 2% молибден ва 1% га яқин титан борлигини кўрсатади.

ЮҚОРИ ЛЕГИРЛАНГАН ПЎЛАТ. Таркибида 18-20% хром ва 8-10% никель бўлган пўлатлар юқори легирланган пўлатлар деб юритилади. Улар коррозия ва иссиқликка бардошлиги, мустаҳкамлилиги учун турли саноатларда кенг қўлланилмоқда.

Хозирги кунда мамлакатимиз корхоналарида қурилмаларни ясашда қуйидаги кам легирланган 16ГС, 09Г2С, 12МХ, юқори легирланган ОХ13, 1Х13, 2Х13, 1ХВЛ, 2Х13Л ва коррозия, иссиқликка бардош юқори легирланган: Х17, Х25ТЛ, Х28, Х28АН, Х28Н4, 1Х17Н2, 1Х21Н5Т, ОХ21Н6М2Т, ОХ17Н5Г9АБ, Х14Г14Н3Т, ОХ23П28М2Т, ОХ23Н28М3Д3Т, 1Х18Н9Т, 1Х18Н11Б, Х16Н25М6, ХН35ВТ, Х22Н26, 1Х18Н12М2Т, 1Х18Н12М3Т, Х18Н9Т пўлатлар ишлатилади.

Юқорида қайд этилган пўлатларнинг физик хоссалари:

- зичлиги	$\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси	$t_{\text{эп}} = 1400^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги	$\lambda = 14 \dots 18 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$;
- иссиқлик сифими	$c_p = 0,475 \dots 0,650 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}$;
- чизикли кенгайиш коэффициенти	$\chi = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

РАНГЛИ МЕТАЛЛАР. Кимё саноатида рангли металллардан алюминий, мис, никель, кўрғошин, титан, танталлар қурилмалар ясашда қўлланилади. Рангли металллардан ясалган қурилма деворларининг температураси қуйидагидан ошмаслиги керак: Алюминий учун 200°C ; Мис ва унинг қотишмалари учун - 250°C ; Никель учун - 500°C ; Кўрғошин учун - 140°C ; Тантал учун - 1200°C .

АЛЮМИНИЙ кумушсимон, оқ, енгил ва болғаланувчан, коррозияга бардошли металдир. Кимёвий қурилмаларни ясашда АОО(99,7%), АО(99,7%), А1(99,5%), А2(99,0%), ҳамда унинг АД1, АД2 қотишмалари ишлатилади.

Алюминийнинг турли маркалари қуйидаги физик хоссаларга эга:

- зичлиги	$\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси	$t_{\text{эп}} = 675 \dots 950^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги	$\lambda = 206 \dots 218 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$;
- солиштирма иссиқлик сифими	$c_p = 0,913 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}$;
- чизикли кенгайиш коэффициенти	$\chi = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

Агрессив муҳитлар таъсирига алюминий жуда чидамли, шу жумладан концентрланган азот, фосфор ва сирка кислоталар, қуруқ хлор ва водород хлоридлар, олтингугурт буғларига ҳам узоқ муддат давомида бардош бера олади.

МИС - пушти-қизил рангли металл. Энг қиммат, конструкцион материаллардан бири бўлиб, техник тоза ҳолда 5 хил маркада ишлаб чиқарилади. Кимёвий қурилмаларда, асосан М2 (99,7%) ва М3 (99,5%) маркалари кенг миқёсда ишлатилади.

Миснинг хоссалари қуйидаги маълумотлар билан характерланади:

- зичлиги	$\rho = 8980 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси	$t_{\text{эп}} = 1083^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги	$\lambda = 1596 \dots 2233 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- солиштирма иссиқлик сифими	$c_p = 0,44 \dots 0,62 \text{ кЖ/(кг}\cdot\text{К)}$;
- чизикли кенгайиш коэффициенти	$\chi = 16,7 \dots 22,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

Мис алюминийга ўхшаб ҳимоя қилувчи оксид қоплама ҳосил қилмайди. Шунинг учун, кислота ва тузларга нисбатан коррозия чидамликка эга эмас. Лекин, паст ва криоген температураларда мустаҳкамлиги ортиб боради. Масалан, -196°C да миснинг мустаҳкамлик чегараси 20 дан 38 кг/мм^2 гача ортади.

Ўта паст температураларда ишлайдиган қурилмалар учун мис каби конструкцион материални ҳеч қандай материал ўрнини боса олмайди.

ҚЎРҒОШИН — кўкимтир, кул ранг, болғаланувчан металл. Бир пайтлар, бу материал қурилмалар қуришда катта ва муҳим аҳамиятга эга бўлган. Бунга сабаб, унда туз ва сульфат кислотага нисбатан чидамли ҳимоя қопламасининг ҳосил бўлишидир. Лекин унинг жуда юмшоқлиги, осон ва паст температурада эриши, катта зичлиги ва қимматлиги борган сари камроқ қўлланишига сабаб бўлмоқда.

Ҳозирги кунда унинг ўрнига замонавий темир қотишмалар ишлатилмоқда. Саноатда қўрғошиннинг 6 хили СВ, СО, С1, С2, С3, С4, С5 маркалари кенг қўлланилади. Улар таркибидаги қўрғошин миқдори 99, 90...99, 95%. Қўрғошин қуйидаги физик хоссаларга эга:

- зичлиги	$\rho = 10130...11350 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси	$t_{\text{эп}} = 327^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги	$\lambda = 14,9...34,9 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- солиштирма иссиқлик сифими	$c_p = 0,13 \text{ кЖ/(кг}\cdot\text{К)}$;
- чизикли кенгайиш коэффиценти	$\chi = (12,3...14,9) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

Қўрғошинни саноатда қўллашда шуни назарда тутиш керакки, унинг мустаҳкамлиги жуда пастдир.

НИКЕЛЬ кумушсимон, оқ металл, қийин эрийди ва ҳавода ўзгармайди. Кимё саноатининг қурилмалари учун (Н0 маркали 99,99%) никель ишлатилади. У жуда мустаҳкам, иссиқлик ва коррозияга чидамли ва яхши технологик хоссали бўлгани сабабли машинасозликда кўп ишлатилади. Никелнинг физик хоссалари қуйидагича:

- зичлиги	$\rho = 8830...8850 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температура	$t_{\text{эп}} = 1452^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги	$\lambda = 55,0...56,0 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- солиштирма иссиқлик сифими	$c_p = 0,575...0,586 \text{ кЖ/(кг}\cdot\text{К)}$;
- чизикли кенгайиш коэффиценти	$\chi = (18,2...18,3) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

ТИТАН кумуш ранг, енгил, қийин эрувчан металл. Зичлиги пўлатникидан 2 марта кам бўлишига қарамасдан, унинг мустаҳкамлиги пўлатникига тенгдир. Титан, азот, фосфор, хром ва сирка кислоталарига, нитрит, нитрат, хлорид ва сульфидларга нисбатан кимёвий чидамли. 200°C температурада газларни ютиш қобилиятига эга. Титан 40%-ли H_2SO_4 кислотасида қаттиқ коррозияга учрайди. Лекин, шуни унутмаслик керакки, титандан ясалган қурилма, пўлатдан ясалганга нисбатан 8-10 баробар қимматдир. Титан қуйидаги физик хоссаларга эга:

- зичлиги	$\rho = 4320...4500 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси	$t_{\text{эп}} = 1710...1750^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги	$\lambda = 15,1...19,4 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- солиштирма иссиқлик сифими	$c_p = 0,543...0,635 \text{ кЖ/(кг}\cdot\text{К)}$;
- чизикли кенгайиш коэффиценти	$\chi = (8,0...8,4) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

ТАНТАЛ кул ранг оқ металл. Ўта мустаҳкамлиги ва қийин суюлувчанлиги билан бошқа металлардан ажралиб туради. Ундан ташқари, юқори температураларда, титанга нисбатан кўпроқ газларни ютиш қобилиятига эга. Тантал яхши болғаланувчан, штамплашга мойил, ички ишқаланиш коэффиценти жуда катта бўлган металлдир. У сульфат, азот, фосфор, водород хлорид кислоталарига, ҳамда нитратларга чидамли металлдир. Аммо, натрий ва калий ишқорлари таъсирига яхши бардош беролмайди.

Тантал жуда ҳам қиммат металл ва у таҳминан хром-никелли пўлатдан 100 марта қимматдир. Албатта, уни фақат ўта агрессив муҳитли қурилмаларда,

яъни бошқа металллар кимёвий бардош бсролмаган ҳолларда қўллаш мақсадга мувофиқдир. Тантал куйидаги физик хоссаларга эга:

- зичлиги $\rho = 16440...16600 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси $t_{\text{эп}} = 3000^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги $\lambda = 48,0...100 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- солиштирма иссиқлик сифими $c_p = 0,136...0,2 \text{ кЖ/(кг}\cdot\text{К)}$;
- чизикли кенгайиш коэффициенти $\chi = (5...99) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

ЛАТУНЬ мис ва руҳдан иборат қотишма. Қўп компонентли латунь таркибига мис ва руҳдан ташқари, алюминий, кремний, қўрғошин, никель, темир, марганец ва қалайлар кириши мумкин.

Латунь босим остида яхши ишлов бериладиган, анча мустаҳкам, қайишқоқлиги (пластиклиги) юқори ва коррозияга чидамли қотишма. Ундан ташқари, латуннинг электр ўтказувчанлиги жуда юқори. Температура пасайиши билан латуннинг хоссалари яхши томонга ўзгаради. Кимё саноатида, қурилмалар ясашда Л60, Л62 ва Л68 маркали латунлар кенг қўлланилади.

Латунлар куйидаги физик хоссаларга эга:

- зичлиги $\rho = 8500 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси $t_{\text{эп}} = 940^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги $\lambda = 105...116,3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- солиштирма иссиқлик сифими $c_p = 0,385 \text{ кЖ/(кг}\cdot\text{К)}$;
- чизикли кенгайиш коэффициенти $\chi = 20 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

БРОНЗА - мис ва қалайлардан иборат қотишма. Ушбу кимёвий элементлардан ташқари, унинг таркибига кремний, алюминий, бериллийлар ҳам кириши мумкин.

Бронза мустаҳкамлиги, қайишқоқлиги, коррозияга бардошлиги, антифрикцион хоссалари билан ажралиб туради.

Бу материал ушбу физик хоссалари билан характерланади:

- зичлиги $\rho = 935...1140 \text{ кг/м}^3$;
- эриш температураси $t_{\text{эп}} = 935...1140^\circ\text{C}$;
- иссиқлик ўтказувчанлиги $\lambda = 32,0...105 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- солиштирма иссиқлик сифими $c_p = 0,385 \text{ кЖ/(кг}\cdot\text{К)}$;
- чизикли кенгайиш коэффициенти $\chi = (1,5...1,95) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$.

ПЛАСТМАССАЛАР юқори коррозия бардошликка ва мустаҳкамликка эга янги конструкцион материалдир. Пластмассаларни ишлаб чиқариш жараёнида мустаҳкамлигини, қайишқоқлигини, рангини, юмшаш температурасини, иссиқлик ўтказувчанлигини яхшилаш ва арзонлаштириш мақсадида унга пластификатор, тўлдирувчи, ранг берувчи моддалар қўшилади.

Ҳамма пластмассалар 2 гуруҳга бўлинади: 1) термопластлар; 2) реактопластлар.

Термопластлар иситилганда юмшаш, совитилганда қотиш хоссасига эга ва бу жараёни бир неча марта қайтарса бўлади. Реактопластлар эса, иситилганда эрийди ва маълум бир температурагача қиздирилса қотиб қолади ва қайта юмшамайди, эримайди.

ШИША ПЛАСТИКЛАР полиэфир смолалар ва шиша толаларидан ташкил қилинган сунъий материал. Ундан йирик, ўлчамлари катта дистилляция колонналар, скрубберлар, омборлар, диаметри 4,5 м ва баландлиги 6 м ли идишлар ясаш мумкин. Шиша пластиклар 20°C ёки ундан озгина юқори температурада қиздирилса, полимеризация бўлади.

ФТОРОПЛАСТ-4. Қайишқоқлиги юқори, электр токни ўтказмайдиган, иссиқликка чидамли, $-200...+500^\circ\text{C}$ температурада ишлатилиши мумкин. Кимёвий муҳитларга ўта чидамлилиги, унинг яхши хоссаларидан биридир. Бу

кўрсаткич бўйича пластмассалар, *Аи*, *Рт*, эмаль, махсус қотишма ва бошқа материаллардан устундир.

Фторопласт-4 дан ҳар хил қалинликдаги листлар, трубалар, юпка деворли цилиндрик идишлар, мембраналар, сиффонлар ва бошқа турли маҳсулотлар тайёрлаш мумкин. Курилмалар учун қистирма сифатида фойдаланишда унга тенг келадиган материал йўқдир.

Тўлдирувчисиз пластмассаларнинг чидамлилиги қуйидаги хоссалар билан характерланади:

1. Пенопластлар кислота, ишқор ва органик эритмаларга нисбатан чидамли. Аммо, H_2SO_4 , олеум, HNO_3 ва концентранган ишқорларга бардош бера олмайди;

2. Шиша пластиклар бензин, метанол, бутанол, этилацетат, 10% ли азот, фосфор ва водород хлорид кислоталарга нисбатан чидамли;

3. Фторопластлар ҳамма кислота ва ишқорларга нисбатан паст ва юқори температураларга чидамли. Оксидловчи кислота ва "царская водка" лар қайнаш жараёнида ҳам фторопласт ўз хоссаларини йўқотмайди. Шу кунгача унинг эритувчиси топилмаган.

Аммо, натрий ёки калий, фтор ва учламчи фтор хлоридлар таъсирида емирилади.

Пластмассаларни металллар билан таққослаш шуни кўрсатадики, пластмассалар бир неча афзалликларга эга: а) солиштира оғирлиги кичик; б) солиштира мустаҳкамлиги юқори; в) технологик хоссалари яхши; г) коррозия бардошлиги юқори.

I-4 жадвал

Курилмалар ва труба қувурларининг қўзғалмас, йиғма бирикмаларини зичлаш учун тавсия этиладиган металмас қистирма материаллар

Қистирма материалининг номи	Зичлиги ρ , кг/м ³	Сортамент, мм	
		Қалинлиги	Лист ўлчамлари
Картон, сув ўтказмайдиган	900...1000	1; 1,5; 2; 2,5; 3	750x1500; 950x1500; 1000x1000; 1000x1500
Картон, А маркали	800...850	0,5; 0,8; 1; 1,5	750x1500; 950x1500; 1000x1000; 1000x1500
Картон, асбестли	1,0...1,3	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6	900x900; 900x1000; 1000x1000
Паронит	1500...2000	1; 1,5; 2; 3; 4	500x500; 600x600; 700x1200; 1000x1200; 1000x1500; 1200x1500; 1200x1700
Паронит УВ-10		0,4÷2,5	550x550
Резина, кислота - ишқорбардош Резина, мой-бензин-бардош		0,5÷10	эни 200÷1750 узуниги 500÷10000
Пластикат поли-хлорвинили	1300...1500	1÷5	эни ≥ 600 узуниги ≥ 1000
Фторопласт-4	2100...2300	1,5; 2; 3; 4; 5	195x195; 240x240
Текстолит МА	1300...1600	0,5÷3,5	250x250
Фибра ФТ	1100	0,6÷2,5	эни 550x700; 1100÷1400 узуниги 850x1500; 1700÷2300
Чарм техник	1100...1500	2,5÷5	-

Ундан ташқари, қуйидаги материаллар ҳам қистирма сифатида ишлатилади: мис (куйдирилган), алюминий (юмшоқ), зангламайдиган пўлат, никель, монель, қўроғшин.

ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР

A

Абсолют

- оқ жисм 209
- температура 17, 183
- шаффоф 209
- қора жисм 209

Абсорбент 329

Абсорберлар 335-344

- насадкали 337
- оқимчали 343
- пурковчи 343
- сиртий 335
- тарелкали 340
- юпқа қатламли 336
- қалпоқчали тарелка 342
- ҳисоби 344-349

Абсорбтив 329

Абсорбция жараёни 302, 329

Аддитивлик тенгламаси 319

Адиабата 24

- кўрсаткичи 21

Адсорбтив 404

Адсорбент 302, 404, 406

- табий, тупроқсимон 406
- тўйиниши 404
- тупроқлар 406

Адсорберлар 412-418

- мавҳум қайнаш қатламли 414
- реактор типдаги 414
- қўзғалмас қатламли 413, 416
- ҳалқасимон қатламли 413
- ҳаракатчан қатламли 414
- ҳисоби 419-420

Адсорбция 404-425

- жараёни 302
- изотермаси 407
- иссиқлиги 404
- кимёвий 404
- кинетикаси 408
- моддий баланс 331
- статикаси 408
- физик 404

Азеотроп аралашма 353

Аксиал-куракчали уюрмалантиргич 265

Айланиш даражаси 538, 542

- сони 177, 180
- тезлиги 533
- частотаси 170, 176, 169

Айланма тезлик 170, 174

Алюминий 620, 623

Аммиак 557

Анионит 421-425

Аралаштиргич турлари 168-177

барабанли 172

винтсимон 172

дискли 177, 179

диффузорли 168

зарбали 172

икки, уч парракли 169, 179

лентали 171

парракли 169, 179

пропеллерли 169, 179

ромли 177, 179

турбинали 169, 177, 179

шнекли 171

якорли 177, 179

Аралаштириш 166-180, 540

Аррениус қондаси 466

барботер ёрдамида 166

интенсивлиги 166

механик 169

пластмассаларни 171

пневматик 166

самарадорлиги 177

сиқилган ҳаво ёрдамида 167

сочилувчан материалларни 172

статик 168

суюқликларни 166

циркуляцияли 168

энергия сарфи 175-177

эритмаларни 166-170

Артиш машинаси 438, 506

Асбест 623

Ажратиш жараёни 106-149

аралашмаларни 106, 109

коэффициенти 115

моддий баланс 107-108

турли жинсли системаларни

106-113, 115-149

фактори 138

Арралаш 499

Аралашма

азеотроп 353

бинар 350

идеал 350

полидисперс 497

Адиабатик жараён 92

Адсорбцион

боғланган намлик 432

совитиш машиналари 561-565

Аэрозол 107

B

Бабо қондаси 271

Бактофуга 120

Баланс

иссиқлик 33, 228, 275, 278, 279,
442-445, 461, 463, 480
моддий 32, 108, 194, 274, 305
358, 442, 479
эксергетик 592-613
энергия 209

Барабанли

галвир 502, 514
гранулятор-қуриткич 527

Барботаж

143
механизми 339-341
режимлари 338-339

Баромембран жараён

183-184
Барометрик конденсатор 256, 257
труба 273

Бинар аралашма

351
Бир поғонали экстракция 374
Бернулли тенгламаси 45-47, 49, 60

Блазиус тенгламаси

61

Бойитиш коэффициенти

325

Бронза

622
Буг
кучсиз 232
органик суюқлик 231
тўйинган 232
экстра 270
ўткир 232

Бугланиш

186, 269

Буглатиш

230, 269
иссиқлик баланс 275
моддий баланс 274
усуллари 272
юзаси 275-276
қурилмаси 280-287

Буглаткич

273-287
бир корпусли 273
инжектор иссиқлик насосли
278
ички иситувчи камера ва марка-
зий циркуляцион трубали 280
кўп корпусли 277
мажбурий циркуляцияли 284
осма эркин циркуляцияли 280
ротор, юпқа қатламли 286
турбокомпрессорли 278
эритма эркин циркуляцияли
282

Бурама труба

265, 266

Бурчак

табiiй қиялик 498
фазовий 211

Бернулли тенгламаси

45, 46, 47, 49

Бойитиш коэффициенти

325

Болғали майдалагич

504

Бонд тенгламаси

501

Босим

йўқотилиши 63, 73
ортиқча 39

Биоқимёвий жараён

482-495

Био критерийси

312, 395, 410

Биомасса

483, 484

Брикетлаш

517-518

В**Вакуум-насос**

103, 104
оқимчали 104
поршенли 103
сув ҳалқали 104

Вакуум-фильтр

130, 131

Вант-Гофф изобар тенгламаси

184, 536,
537

Вентилятор

100, 102

Вентури трубаси

51

скруббери

142

Г**Газлар**

барботаж 143, 338-341
дросселлаш 557
иситиш 230-233
иссиқлик сифими 21
иссиқлик ўтказувчанлиги 23,
24
кенгайтириш 559
сарфи 167
сиқиш ва сийраклаш 90-92,
561, 562
совитиш 235-237, 554-585
солиштира оғирлик 18
тозалаш 135-149
тутун 233

Газ доимийси (ўзгармас)

184

ўтказувчанлик

186

Газлифт

167

Газодувка

99

ротор

99

сўриш патрубаси

99

қобиқ

99

ҳайдаш патрубаси

99

Гесс қонуни

544

Гидравлика

35-39

Гидродинамика

40-180

Гидродинамик режимлар

кўпикли 341

осилиб туриш 338

оқимчали 341

пүфакчали 341

учиб чиқиш 339

эмульгацион 338

юпқа қатламли 338

Гидростатика

35-39

Гидромеханика

14, 106

Гидромеханик жараёнлар

ҳаракатга келтирувчи куч 14

Гидравлик радиус 41

Гидравлик пресс 39, 519-521

Гидравлик қаршилиқ
ишқаланиш 58, 61, 153
коэффициенти 61, 347, 263, 153-
154
маҳаллий 58, 61
Гистерезис ҳалқаси 156, 433
Гейландт цикли 576
Гранула 523
Грануллаш 517-532
мойиллик 530- 531
Гранулятор
барабанли 524
мавҳум қайнаш қатламли 526,
527
тарелкали 525
турбопарракли 528
фавворасимон қатламли 526
ҳисоби 531, 532
Горячкин формуласи 501
Гофриланган 252
Гребенюк формуласи 518
Гроссман-Шаргут диаграммаси 607
Ғушт майдалагич 511

Д

Дальтон қонуни 330, 351, 428
Даража
газларни сиқиш 90, 92
газларни тозалаш 136
майдалаш 496
реакция 538
- қориштириш 166
Дарси-Вейсбах тенгламаси 79, 344, 31
Дезинтегратор 502, 505
Депрессия 270-272
гидравлик 271
гидростатик 271
температура 270, 271
Десорбция 302, 411, 412
Детандер 558, 574, 578
Дефлегматор 355
Диаграмма
Гроссман-Шаргут 607
индикатор 95
Рамзин 427, 429-431, 446
учбурчак 370-372
фаза мувозанати 303
фазавий 303
 $p - i$ 562
 $T - S$ 558, 561, 565, 574
Диализ 187
Диаметр 41, 50, 56, 70, 111, 138, 241, 336,
420, 497, 498
Дисмембратор 505
Дистиллят 350, 354
Дисперс, дисперсион 106, 373, 421, 497
система 497
фаза 106, 373, 379
Дифференциал дроссель эффекти 558

Диффузион жараёнлар 302-495
қаршилиқ 304
қатлам 320
Диффузия
конвектив 314
коэффициенти 307
молекуляр 306, 307, 308
тезлиги 304
турбулент 307
Донадор-толали
гидравлик қаршилиги 159-161
материал 159
туқилиги 160
Донадор қатлам 151-165
гидравлик қаршилиги 156, 158
мавҳум қайнаши 154-165
қўзғалмас қатлам 150-154
ғовақчилиги 151, 152, 158, 164
Дражже 530
Дрейцер Г.А., Дзюбенко Б.В
интенсивлаш усули 265
Дроссель эффекти
дифференциал 558
изотермик 558
интеграл 558
Дубинин М.М. назарияси 408
Дитнерский Ю.И. модели 184
Дюринг қойдаси 271

Е

Ейилиш 499
Енгил учувчан 350

Ё

Ёниш 606, 607
Ёриш 499
Ёқилги 606, 607

Ж

Жоуль-Томсон эффекти 557
Жараён ишчи қизиги 305, 358
Жараёнлар
адиабатик 91
баромембран 183
биокимёвий 482-495
гидромеханик 106-195
диффузион-мембранали 185-
187
изотермик 91
иссиқлик алмашилиши 196-301
кимёвий 533-553
масса алмашилиши 302-481
механик 496-516
политроп 91
совитиш 554-585
ҳисоби 32-34
Жағли майдалагич 503, 504
Жували тегирмон 507

“Зарарли” бўшлиқ 95, 97

Зарба

сиқиқ 499
эркин 499

Заррача

шакли 69, 70
ўлчами 69, 70

Зичлик

аралашмалар 16, 498
газлар 17
нисбий 16
суюқликлар 18, 25
“тўкма” заррачалар қатлами
18, 498
қаттиқ жисмлар 18, 25, 619-623

И

Идеал суюқлик 35

аралашма 327, 329
изобара 560-564

Изотерма 372, 431

кимёвий реакция 534-537

Изотермик дроссель эффекти 558

Инжектор 278

Инжекция коэффиценти 279

Индикатор диаграмма 95

Инверсион температура 558

Интеграл дроссель эффекти 558

Ион алмашилиш 421-425

анионит 421
ионит 421
кинетикаси 423
механизми 422

Ионизация 144

Иситиш

иссиқ сув б-н 231
тутун газлари б-н 233
тўйинган сув буғ б-н 232
электр токи б-н 233
юзаси 276

Иссиқлик

алмашилиш 196, 212-229
баланс 198, 258-260
бериш 212-222
нурланиши 208-211
миқдори 197-260
сиғими 21, 197, 198, 272
элткичлар 197, 230-238
ўтказиш 223-229
ўтказувчанлик 199-208

Иссиқлик алмашилиш 196, 212-229

интенсивлиги 260, 267
конвектив 212
элткичлар орасида 255, 256,
257
ҳаракатта келтирувчи куч 14,
226-229

Иссиқлик алмашилиш трубалари

бурама 265
бурама лентали 266
диафрагма турбулизаторли 266
диск турбулизаторли 266
конфузор-диффузор 266
кўндаланг “накатка”ли 266
спирал “накатка”ли 266
спирал турбулизаторли 266
шнekli, лентали 266
шнексимон уюрмалантиргич-
ли 266

Иссиқлик алмашилиш қурилмалари

239, 244-257, 265
бир йўлли 239
блок-графитли 253
бурилиш камераси 248
змеевикли 249
икки йўлли 244, 245
линза-компенсаторли 245
пластинали 251, 252
спиралсимон 250, 288
“труба ичида труба” 247, 248
шнekli 254
ювилиб турувчи 249
қиррали 252, 289
қўшалоқ трубали 246
қобиқ трубали 239, 244-246
филофли 253
U-симон трубали 245

Иссиқлик алмашилиш қурилма таркиби

иситувчи труба 244-254
сегмент тўсиқ 244-254
тақсимлаш камераси 248
таянч 244-254
тешикли панжара 244-254
фланец 244-254
штуцер 244-254
қистирма 244-254
қобиқ 244-254
қопкоқ 244-254
ҳаракатчан қалпоқчали 246

Иссиқлик бериш

дисперс системаларда 218
конвектив 212, 213, 218
коэффиценти 213, 220, 222,
286

Иссиқлик элткичлар 197, 230-238

азот, кислород, ҳаво 197
аммиак, олтингутурт углерод
диоксиди 197
газлардан электр разряди ўтка-
зилганда ҳосил булган газлар
197
гелий 197
қалай ва сурманинг қўрғо-
шинли қотишмалари 197
метан 197
органик суюқликлар 197
силиконлар 197

сув 197
сув буғи 197
тутун газлари 197
шамот, алунд ва ҳ. 197
этан, этилен, фреонлар 197
этиленгликоль 197
Иссиқлик элткич ҳаракати
аралаш 227
кесишиб ўтган 227
параллел 227
қарама-қарши 227
Иссиқлик ўтказиш
интенсивлаш усуллари 266
конвектив 223, 225
коэффициенти 14, 223-225
текис, цилиндрик, сферик
деворлардан 223, 225
Иссиқлик ўтказувчанлик
газ ва суюқликлар 23-25, 200
дифференциал тенгламаси 200
коэффициенти 23-25, 200
мураккаб жисмлар 207
текис девор 202-203
цилиндрик 204-205
шарсимон 205-206
эффектив 24
қаттиқ жисмлар 23, 200
Ионизация 144-147
Ионит 421-425
Ишқаланиш қаршилиги 61, 62
Ишқорланиш 393
Иссиқлик насоси 287, 602

К

Каді ва Вильямс формуласи 310
Калорифер ҳисоби 469
Картон 623
Капица цикли 576, 577
Карно цикли 237, 555-556
Касаткин формуласи 339
Кимёвий жараён 533-553
иссиқлик баланс 544
моддий баланс 543
тезлиги 537, 538
ҳаракатга келтирувчи куч 539
Кинетик тенглама 14
энергия 47
Киреев қондаси 271
Классификациялаш 512-515
Клод цикли 575
Коллоид тегирмон 502
Конвекция
конденсат 273-287
мажбурий 212
эркин 212
Конденсациялаш 234, 235
Конструкция материаллар 618-623
Компрессорлар 89-105
- винтли 102

пластинали 99
ротацион 99
сув ҳалқали 99
унумдорлик 96
Коррозион чидамлилиқ 618
Коррозия тезлиги 618
Кристаллизатор 475-479
барабанли 478
лента аралаштиргичли 477
мавҳум қайнаш қатламли 478
осма, вакуум 476
узлуксиз 477
ҳисоби 480-481
Кристалланиш 471-481
жараёни 303
изогидрик 475
изотермик 474
иссиқлик баланси 480-481
кинетикаси 472
моддий баланси 479-480
статикаси 471
тезлиги 474
Кристаллогидрат 471
Кристалл 474
Критериал тенглама 29
Критерийлар
Архимед 110
Био 312, 395, 410, 411, 438
Вебер 349
Галилей 30, 220
гомохронлик 30, 57
Грасгофф 216
Гухман 314, 440
Нуссельт 215, 315, 316
Ньютон 28
Пекле 216, 315
Прандтл 216, 316
Рейнольдс 28, 52, 57
Стантон 216, 317
Струхаль 30
тез юрарлик 87
Фруд 57, 438
Фурье 216, 312, 315, 438
Эйлер 30, 57
Қўндаланг тўсиқлар 243
Қўпиклар 106
Қўп компонентли аралашма 106
Криоген техника 554
Криогидрат нўқта 566
Кул ранг жисм 209
Куттер 511
Кик-Кирпичев назарияси 501
Куб қолдиғи 350
Контактли қуриштиш 426
Конвектив қуриштиш 426
кинетикаси 435
Конусли майдалагич 504
Капилляр боғланган намлик 432
Кимёвий
боғланган намлик 432

реакция тезлиги 537
 реакция тезлиги константаси 538
 эксергия 593
 Кулон кучи 147
 Куч
 гидродинамик босим 155
 инерция 57
 ишқаланиш 109
 кўтарувчи 109
 марказдан қочма 114
 оғирлик 57, 109
 электр майдони 135
 Кўндаланг тўсиқлар
 дискли 243
 икки томонлама сегментли 243
 сегментли 243

Л

Ламинар режим 51, 52, 69, 70, 410
 Линзали компенсатор 245
 Ленгмюр изотермалари 407
 Ле-Шателье принципи 408
 Линде цикли 571, 572
 Латунь 622
 Левенсон формуласи 508

М

Манфий эффект 557
 Масса 16, 302
 миқдори 304, 309
 ўтказувчанлик 310
 Масса сақланиш қонуни 44
 Массавий улуш 17, 498
 Монодисперс қатлам 150
 Массалар таъсир қонуни 523
 Майдалаш
 даражаси 496, 497, 529, 498
 иши 501
 йирик 497
 назарияси 500, 501
 ўрта 497
 Майдалаш усуллари
 арралаш 499
 ейилиш 499
 ёриш 499
 сиқик зарба 499
 эзиш 499
 қирқиш 499
 Майдалагич
 болғали 504
 дискли 506
 жағли 502
 жували 507-508
 иш унумдорлиги 500, 501, 504
 конусли 504
 Майер формуласи 21
 Масса алмашиниш
 - критерийлари 315-316

механизми 317
 моддий баланслари 305
 моделлари 319-321
 қаттиқ жисм иштирокида 310
 қурilmаси 336-479
 ҳаракатга келтирувчи куч 15,
 321-325

Маҳаллий қаршилиқ 59, 60, 65
 Мусбат эффект 557
 Менделеев-Клапейрон тенгламаси 427
 Механик жараёнлар 496-532
 Молекуляр диффузия 306
 Моддий баланс 32, 108, 194, 274, 305,
 479

Моделлар

Данквертс 321
 Дитнерский 184
 Диффузион чегаравий қат-
 ламли 320
 Кишиневский 321
 Льюис ва Уитмен 319

Мўртлик 499

Мембрана 182

юзани ҳисоблаш 195
 Масса бериш 303, 308, 313-319, 333,
 378, 424

Масса ўтказиш 15, 303, 306, 328, 333,
 373, 409

асосий тенгламаси 306
 жараёнлар классификацияси
 14, 15
 кинетикаси 303, 304
 коэффициенти 306, 313, 409
 моддий баланси 32, 33, 305
 ўртача ҳаракатга келтирувчи
 куч 321-325
 қаттиқ фаза иштирокисиз 303-
 310
 қаттиқ фаза иштирокида 310-
 314

Мембранали жараён

ишчи юза 195
 масса ўтказиш коэффициенти
 195
 моддий баланс 194

Мембраналарни тозалаш усуллари

гидродинамик 188
 кимёвий 188
 механик 188
 физик 188

Мембранали қурilmалар

ичи бўш, бир даста толали 192
 ичи бўш, толали 191
 ичи бўш, U-симон толали 193
 цилиндрлик филътр элементли
 189
 цилиндрлик юза элементли 190
 ясса юза элементли 189
 ўрамли филътр элементли 191
 ҳисоби 193-195

Массавий сарф 40
 Маҳаллий қаршилик 60, 64
 Масса ўтказувчанлик 310, 395
 Микроковаклар ҳажми 405
 Микрофилтрлаш 185
 Мис 620
 Мувозанат 303
 Мувозанат константаси 534
 Мувозанат диаграммаси 351
 Моделлаштириш 12
 Модификацияланган критерийлар
 Рейнольдс 175, 176
 Эйлер 176
 Мавҳум қайнаш 154
 оқимчали 161-164
 сони 156
 Мавҳум қайнаш қатлами
 баландлиги 156
 биринчи критик тезлик 157
 гидравлик қаршилик 158
 иккинчи критик тезлик 157
 Мажбурий конвекция 212
 Мононасос 86
 ротор 86
 статор 86
 Мослама 14, 264
 Моор шкаласи 499

Н

“Накатка” ли труба 262
 Нанофилтрлаш 185
 Нам сақлаш
 материалнинг 427
 ҳавонинг 427
 Намлик
 абсолют 427
 адсорбцион боғланган 432
 гигроскопик 433, 434
 капилляр боғланган 432
 кимёвий боғланган 432
 материал 426
 мувозанат 431
 нисбий 427
 осмотик боғланган 432
 физик-механик боғланган 432
 физик-кимёвий боғланган 432
 ҳавонинг 427
 Нам ҳаво
 I-x диаграмма 427
 Насадкалар
 Берл эгари 338
 ички 64
 кенгаювчи 64
 коноидал 64
 Рашиг 338
 ташқи 64
 тораювчи 64
 тури 64, 65
 - фасонли 338

хордали 338
 ўлчами 337

Насослар

кетма-кет улаш 79
 маркадан қочма 74
 напори 73
 оқимчали 88
 параллел улаш 79
 плунжерли 81
 поршенли 81
 ростлаш 79-80
 тармоқдаги иш 79
 триплекс 81
 унумдорлиги 71
 универсал характеристика 78
 шестерняли 87
 ўқидаги қувват 72

Никель 621

Нисбий

зичлик 16
 ғадир-будурлик 56

Нутч-филтр 127

Нуқта

инверсия 558
 криогидрат 566
 учиб чиқиш 157, 158, 161
 шудринг 430

Напор

геометрик 46, 47
 гидродинамик 46, 47
 гидростатик 46, 47
 динамик 46, 47
 йўқотилиши 63
 насос 71-74

Нурланиш энергияси 208-211

Нурланиш тури

инфрақизил тўлқин 208
 космик 208
 γ-нурланиш 208
 радио тўлқин 208
 рентген 208
 ультрабинафша 208

Ньютон қонуни 53

О

Олтингургурт ангидриди 181

Осмос 181

Осмотик босим 183

Оралик

иссиқлик элткич 230
 совуқлик элткич 565-566

Оқим

иссиқлик 197-225
 нотурғун 41
 турғун 41

Оқим турбулентлиги 52-57

Оқимчали насос 104

П

Паскаль қонуни 37, 38
 Парциал босим 352, 427, 430
 Паронит 623
 Пахта чигити 22-24, 208
 Пельтье эффекти 561
 Пермеат 181, 185-186
 Перколятор 397
 Пневмометрик труба 50
 Плановский А.Н. назарияси 347, 438, 539
 Пластини компрессор 99
 Пластмасса 622
 Пластикат хлорвинилли 623
 Пропорционаллик қонуни 80
 Полидисперс қатлам 150
 Политропик жараён 91
 Политропа кўрсаткичи 91, 97
 Поршенли насос 80, 84
 зичловчи ҳалқа 80, 94
 кривошип-шатун механизми 80, 94
 поршен 80, 94
 сўриш клапани 80, 94
 цилиндр 80, 94
 ҳайдаш патрубкиси 80, 94
 Потенциал энергия 47
 Полиморфизм 471
 "Портлатиш" усули 516
 Потенциал энергия 47-48
 Поғоналар сони 327
 Плунжерли насос
 плунжер 81
 сўриш клапани 81
 цилиндр 81
 ҳайдаш патрубкиси 81
 Пресс
 бир шнекли 522
 вертикал шнекли 521
 дискли 521
 икки шнекли 522
 ротацион 521
 қия шнекли 520
 Пуазейл тенгламаси 55
 Пуркаб грануллаш 527-528
 Пуркаш 527
 Пуркагичлар
 вибрацион 528
 марказдан қочма 528
 пневматик 528
 сопло 256
 Пўлат 619

Р

Радиацион қуритиш 426
 Рафинат 369, 417
 Реакторлар 546-550
 аралашмиш 548
 - даврий 546

сиқиб чиқариш 548
 узлуксиз 546
 ярим узлукли 547
 ҳисоби 551-553

Реакция даражаси 538
 Реакция тезлиги
 константаси 538
 Ребиндер тенгламаси 433
 Регенератив иссиқлик алмашилиши 254
 Резина 623
 Рейнольдс критерийси 28; 52, 57
 Ректификация 350-368
 жараёни 302
 иссиқлик баланс 358, 360
 моддий баланс 358-359
 флегма сони 359, 362
 Ректификацион колонна
 колонна 364, 365
 дефлегматор 364-365
 иситкич 364, 365
 совуткич 364-365
 узлуксиз ишлайдиган 364
 ҳисоби 365-368
 Ретант 181, 185, 186
 Риттингер тенгламаси 500
 Ричаг қондаси 371
 Розин-Роммлер формуласи 498
 Ромли кесгич 510, 511
 Роторли компрессор 98, 99

С

Самарадор труба 262, 264-267, 268, 288-290
 Сарф коэффициенти 66
 Селектив ўтказувчанлик 184
 Сепаратор
 марказдан қочма 119-121
 тарелкали 120
 Силикагел 406
 Симплекс 28
 Сиртий конденсация 234
 Сиртий таранглик 21, 363
 Сиқиб жараёни 89-93
 иши 91
 истеъмол қуввати 92
 - температураси 92
 Скрубберлар
 Вентури 143
 ичи бўш 142
 насадкали 142
 кўпикли 142
 Совитиш 234-238, 554-585
 коэффициенти 556, 563
 муз билан 236, 554
 сув билан 235, 554
 ҳаво билан 236, 554
 Совитиш машиналари
 абсорбцион 568

инжекторли 570
 сув-аммиакли 569
 Совитиш усуллари
 газларни кенгайтириб 557
 суюқликларни буғлатиб 557
 Совуқлик иш унумдорлиги 236, 237
 Совуқлик элткичлар 230
 аммиак 557
 олтингутурт ангидрид 566
 оралик 230, 480
 углерод диоксили 566
 фреонлар 566
 хлорли метил 566
 Солиштирма оғирлик 18
 иссиқлик сиғим 21-23
 Сорбция 431-434
 изотермалари 431-434
 Стефан-Больцман қонуни 209-210
 Стокс қонуни 111
 Сув буғи
 бирламчи 272-273
 иккиламчи 273-274
 иситувчи 272-273
 Сувсизлантириш 517-518
 Суспензия 113
 Суюқлик
 зичлиги 18
 идеал 35
 иссиқлик сиғими 21-23
 иссиқлик ўтказувчанлиги 21-23, 200-205
 насадкадан оқиб чиқиши 66
 оғирлиги ва ҳажми 16-18
 пуркагич 524-526
 сарфи 40, 166, 231-233, 279, 381
 сиртий таранглиги 21
 сиқиш 89-105
 совитиш ва иситиш 230-268
 тезлиги 40, 49-50, 336
 томчили 63-64
 узлуксизлиги 42-43
 узатиш 71-88
 қайнаши 273-274
 қовушоқлиги 18-20
 ҳақиқий 35
 Суюқлик билан ювиб эритиш 393-397
 Сўриш баландлиги 72-74

Т

Тантал 621
 Тарелка
 капсулалар қалпоқча 342
 клапанли 342
 оқимчали 343
 сони 326-327
 элаксимон 341
 қалпоқчали 342
 - ҳақиқий сони 326

Тарқалиш коэффициент 304
 Тебранма тегирмон 510
 Тебранма элак 513
 Тегирмон
 жували 507
 коллоид 510
 тебранма 510
 шарли 509
 югурувчи 508
 Тегирмонлар 502-510
 Тезкор гранулятор 528-530
 Тезлик 40, 48-57, 110, 157-161, 256-300, 508
 Текстолит 623
 Температура
 аниқловчи 217-218
 градиенти 198-199
 депрессияси 270-272
 майдони 198-199
 напори 15, 292, 294, 297
 фарқи 226-229, 260, 271, 292, 220
 ўтказувчанлик 216
 ўртача 226-229, 259, 276, 294
 қайнаш 273
 қуруқ термометр 430-431
 ҳўл термометр 431
 Температура ўтказувчанлик 216
 Температуравий коэффициент 543
 Тенглама
 Бернулли 45-47, 49-51
 Бертло-Нернст 370
 Блазиус 61
 Бонд 501
 Боуман 229
 критериал 217-222, 315-316
 масса бериш 309
 масса ўтказиш 317-319
 Нурмухамедов 22-24, 160-161, 164
 Тищенко 271
 гидродинамика дифференциал 44-45
 гидростатика асосий 37-39
 Дарси-Вейсбах 30, 344
 Дубинин 408
 иссиқлик ўтказиш 222-229
 иссиқлик ўтказувчанлик 23-25, 199-208
 Касаткин А.Г. 339
 конвектив иссиқлик алмаши-ниш 212-223
 Ленгмюр 407
 Майер 21
 масса ўтказиш 303-308, 310-312, 314-319
 Менделеев-Клапейрон 427
 Навье-Стокс 48
 оқимнинг узлуксизлиги 42-44
 Планк 210

Плановский 347, 438
 Плановский ва Рудобашта 438
 Пуазейл 55
 Ребиндер 434
 Саламаха 349
 сарфнинг ўзгармаслиги 43
 Тодес 157-158, 160-161, 532
 филтрлаш 124-126
 Фурье 437
 Фурье-Кирхгоф 199, 214
 Шукравев 396
 Эйлер 75
 Теорема
 Бекингем, Федерман ва
 Афанасьева-Эренфест 29
 Кирпичев ва Гухман 29
 Термик қаршилик 224-225
 Термомембран жараён 187
 Тескари осмос 181-183
 Технология 13
 Тиндиргич
 кўп қаватли 117
 эмулсия ажратгич 117
 эшкак аралаштиргичли 116
 Титан 621
 Тищенко формуласи 271
 Тозалаш даражаси
 газларни 106
 суюқликларни 106, 109-134
 турли жинсли системаларни
 106
 Томчи ушлагич 280
 Триплекс-насос 81
 Туман 106-107
 Турбогазодувка 101
 Турбодетандер 577
 Турбокомпрессор 577
 Турбоқориштиргич 173
 дефлектор 173
 ротор 173
 сегмент 173
 филтр 173
 электр юриткич 173
 қопқоқ 173
 Турбулент ҳаракат 52, 55, 69, 70
 диффузия 307
 Турбулизатор 265-267
 Турли жинсли система 106-121
 Турғун ва нотурғун оқимлар 41, 42, 58
 Туташган идишлар 38-39
 Тутун 106
 Труба ва газ қувурлари
 бурама 265-266
 диаметрини ҳисоблаш 63, 64
 силлиқ 56
 узунлиги 241
 гадир-будур 56
 “Труба ичида труба” 247-248
 Трубалар бўшлиғи 242
 Трубалараро бўшлиқ 243

Трубаларни жойлаштириш усуллари
 квадрат томон ва чўққиларида
 240-241
 концентрик айланалар бўйлаб
 240-241
 тўғри олтибурчак қирра ва
 чўққиларида 240-241
 Трубали ва пластинали электр филтр
 электрод 144-147
 силкитувчи мослама 146
 тешикли панжара 146
 “тож” ҳосил қилувчи электрод
 144
 трубали электрод-анод 146
 чанг йиғитчи 146
 Трубаларни тешикли панжарага зичлаш
 елимлаш 240
 кавшарлаш 240
 развальцовка 240
 пайвандлаш 240
 “портлатиб” зичлаш 240
 сальник билан зичлаш 240
 “Түкма” зичлик 18, 498

У

Углерод диоксида 197
 Узлуксизлик тенгламаси 42-44
 Ультратаст температура техникаси 554
 Ультрафилтрлаш 185
 Унумдорлик 72, 93, 97, 100, 119
 Ускуна 14
 Усуллар
 энтропия 587
 эксергия 587, 590-591
 Уч босқичли насос 81
 Учбурчак диаграмма 370-372
 Уюрмавий
 эффект 560
 кувур 560

Ф

Фавворасимон қатламли
 гранулятор 526
 Фаза
 бир фазали оқим 40-41
 дисперс 106, 371
 дисперсион 106, 371, 497-498
 икки фазали оқим 154-165
 қоидаси 303
 Фазавий мувозанат 300
 Фазалар қоидаси 303, 329
 Фаолланган қўмирлар 405
 Фермент 482
 Ферментатор 488-489
 Ферментация 485-489
 Флегма 359-362
 Флегма сони 359
 Фибра 623

Физик-кимёвий боғланган намлик 432

Фикнинг 1, 2-қонунлари 306, 308

Фильтр тўсиқ 123, 126-132

газлама 123

картон 123

кварц қум 141

керамика, ғовакли 123

кокс 141

металлокерамика 123

пластмасса, ғовакли 123

сочилувчан материал 123

тўр парда 123

шағал 123

шлак 141

қум 123

ғовакли полимер 123

Фильтрат 122-125, 183

Фильтрлар 126-132

барабанли 129

вакуумли 129

дискли 130

енгли 140

лентали 130-131

нутч-фильтр 127-128

патронли 141

узлуксиз 132

фильтр-пресс 128-129

центрифуга 132

қумли 127

ҳисоби 133-134

Фильтрлаш 122-134

вақти 125-126

интенсивлаш 132-133

кинетик тенглама 124

константаси 126

Фильтрлаш турлари

ковакни тўлдириш 123

оралик 123

чўкма ҳосил қилиб 123

Фойдали иш коэффициенти 71, 72, 82,

138, 327, 556

адиабатик 91

гидравлик 72, 77

изотермик 91

механик 72, 80

насос 72

узатиш 72, 80

эксергетик 579-581, 585

эффектив 588

Фойдали қувват 72

Фосфогипс 531

Фракцияли ҳайдаш 354

Фрейдлих изотермалари 407

Фреонлар 560, 566

Фторопласт 623

Фторопласт трубаи иссиқлик

алмашилиш қурилмаси 291

Фугат 114

Фурыё қонуни 199

Х

Хемосорбция 329, 404

Хлорли метил 566

Хом-ашё 16-25

Ц

Центрифуга 114-121

горизонтал 119

фильтрловчи 118

чўктирувчи 118

ўта самарали 121

Центрифугалаш 114

унумдорлиги 119

Цеолитлар 406

Цикллар

Гейландт 576

идеал машина 554-555

Капица 576-577

Карно 228, 555

каскадли 567

Клод 575

Линде 571, 572

ҳақиқий машина 562

Циклонлар 137-139

батареяли 138

НИИОГаз 138-139

Циркуляцион труба 282-284

Ч

Чанг 107

Чарм 623

Чегаравий қатлам 49, 52, 56-57

назарияси 396

Чигит туклилиги 160

Чукиш

сиқик 111

тезлиги 113

эркин 109

Чўкма 112, 117-123

Чўктириш 108-115

қаттиқ заррачаларни 108-109

турли жинсли системаларни

112-113

Чўктиргич

иш унумдорлиги 115

кўп қаватли 117

узлукли 116

узлуксиз ишлайдиган 118

ярим узлукли ишлайдиган 116

Чўктириш камераси 136-137

Чуқур совитиш техникаси 554, 577-578

Чўян 619

Ш

Шакл коэффициенти 70, 110, 159, 152-152

Шакллантириш 519
 Шарли тегирмон 509
 Шарсимон девор 206
 Шартлар
 бошланғич 27
 чегаравий 27
 Шаффоф жисм 209
 Шервуд-Ликов усули 440
 Шестерняли насос 87
 Шилов И.А. модели 409
 Шиша пластиклар 622
 Штамм 482
 Шудринг нуктаси 430
 Шукарев формуласи 396

Э

Эзиш 499
 Эйлер дифференциал тенгламаси 35-36, 45, 74-75
 Эквивалент диаметр 40, 41, 56, 151, 337, 498
 Эксергетик
 йўқотилишлар турлари 596-597
 қувват 600-601
 таҳлил 603-604
 унумдорлик 600-601
 Эксергия 34, 591-608
 кимёвий 593
 нурланиш 594
 ф.и.к. 501, 511, 514, 515, 516, 598, 599, 601-604
 термомеханик 592
 Экстра-буғ 270
 Экстрагент 369
 Экстракт 369-373
 Экстракторлар 377-383, 397-400
 аралаштиргичли 381
 вибрация тарелкали 382
 колоннали 323
 аралаштириб-тиндирувчи 378
 пульсацияли 382
 пурковчи 380
 перколятор 397
 икки шнекли 398
 ротор-дискли 380
 тарелкали 379
 трубали 383
 ҳисоби 327, 341
 Экстракциялаш 302, 369-403
 бир поғонали 374
 жараён ҳисоби 384-392
 жараён моҳияти 373
 кўп поғонали 375
 “суюқлик-суюқлик” систе-
 масида 369-383
 “қаттиқ жисм-суюқлик”
 системасида 393-403
 Экструзия 519

Экструдат 519
 Экструдер 522
 Элаклар 512-515
 Элакли таҳлил 513
 Элаш 512-514
 Электр майдон потенциали 146
 Электр фильтрлар
 пластинали 147
 трубали 146
 электр юриткич қуввати 180
 ҳисоби 147-148
 Электрод 144-147
 Электродиализ 181
 Электролит 184, 421-425
 Электрод
 пластинали 145, 147
 трубали 145-146
 “тожли” 144
 Электромагнит барабанли ғалвир 513-514
 Эмульсия 106, 168
 Энергетик баланс 47
 Энергия 47-48, 586-587
 Энерготехнология 586
 Энтальпия 197-198, 428, 442-447
 Энтропия 587
 Эритма

 иссиқлик сифими 272
 концентрланган 280-287
 тўйинган 471
 ўта тўйинган 471-472
 Эритиш 393, 471
 Эритиш иссиқлиги 272
 жараёни 393-396
 Эриткич
 икки колоннали 398
 лентали 399
 мавҳум қайнаш қатламли 400
 трубали 400
 ҳисоби 401-403
 Эритувчи 393
 Эркин
 зарба 499
 конвекция 212, 217-218
 Эрувчанлик 393
 Эффект
 магнит калорик 561
 манфий 557
 мусбат 557
 Пельтье 561
 термоэлектрик 561
 уюрмавий 560
 Эффекция 456

Ю

Югирувчи тегирмон 508
 Юза
 иссиқлик алмашилиниш 207, 223-224, 235, 259, 292, 295, 297

самарадор труба 253, 262, 264-266
 солиштира 405
 филтрлаш 141
 Юза назарияси 500
 Юмалатиб грануллаш 523-524
 Юпқа қатлам қалинлиги 336
 Юқори легирланган пўлат 619-620
 Юқори частотали қуриткич 458-459

Я

Янчиш 497, 505, 507, 509
 майда 497
 майин 497

Ў

Ўлчов
 бирликлар 30-31
 диафрагмасы 50
 соплоси 51
 Ўртача
 диаметр 496-497
 концентрация 14, 323, 373, 439
 парциал босим 439
 тезлик 40, 55, 174, 336
 температура 14, 219, 229, 259
 Ўта тўйинган эритма 471-472
 қиздирилган сув 231
 Ўтиш режими 70
 Ўтказиш бирлигининг сони 324, 328
 Ўтказиш бирлигининг баландлиги 324
 Ўтказувчанлик
 иссиқлик 23-25, 200-205
 масса 310
 селектив 184
 температура 216
 Ўхшаш 26
 Ўхшашлик 25-30
 бирхиллик шартлари 27
 вақт 27
 геометрик 26
 гидромеханик 26
 инвариант 27
 критерийлари 28-30
 назарияси 26
 теоремалари 29
 физик 27
 Ўқдаги қувват 71, 93, 101
 Ўқли насос, компрессор 102

Қ

Қаршилик
 гидравлик 58, 61, 62, 153-154
 ишқаланиш 58, 61, 153
 - маҳаллий 58, 61, 153

Қатлам

мавҳум қайнаш 154-165
 қўзғалмас 150-154
 ғовак 151, 157-158, 310
 ҳаракатчан 154-165

Қаттиқ жисм

йирик ковакли 310
 ультра-микроковакли 310
 ўртача 310

Қаттиқлик

Қийин учувчан

Қиррали иссиқлик алмашилиш юзалари
 бўйлама қиррали 252
 гофриланган қиррали 267
 кўндаланг қиррали 289
 спиралсимон қиррали 289
 трапецидал шаклли қирра 267
 тўғри тўртбурчак шаклли 252
 учбурчак шаклли 267

Қиррали труба

Қирқиш

Қобиқ-трубали иситкич

Қовушоқлик

газ 20
 динамик 19
 кинематик 19-20
 ноньютон суюқликлар 19
 Ньютон суюқликлар 20
 суюқлик 19-20

Қоида

Бабо 271
 Вревский 353
 Дюринг 271
 Киреев 271
 ричаг 316
 фазалар 329

Қонунлар

Архимед 69
 Вревский 353
 Генри 329, 330, 488
 Кирхгоф 210
 Коновалов 352, 353
 Ламберт 211
 Ньютон 28, 53, 70, 180
 Ньютон-Петров 109
 Паскаль 38
 пропорционалник 80
 Рауль 350, 353
 сақланиш (энергия) 47
 Стефан-Больцман 209-210
 Стокс 111
 Фик 306, 309, 396
 Фурье 216, 312, 315, 438

Қувват

Қувватнинг захира коэффициенти

Қурилма

биокимёвий 488-489
 диаметри 325
 гидравлик 38-39
 иссиқлик алмашилиш 238-260

кимёвий 546-550
 масса алмашилиниш 335-344, 354-357, 364-365, 377-383, 397-400, 413-418, 424-425, 449-459, 475-497
 механик 501-515
 совитиш 568-570
 Куритиш 426-470
 давомийлиги 436, 439
 диэлектрик 426
 жараёни 303
 жараён ишчи чизиги 445-446
 иссиқлик баланси 442-444
 кинетикаси 435-441
 конвектив 426
 контактли 426
 моддий баланс 442
 потенциали 431
 радиацион 426
 статикаси 431
 сублимацияли 426
 тезлиги 435-436
 Куритиш соҳаси 432
 Куритиш тезлигининг эгри чизиги 435-436
 Куритиш эгри чизиги 435
 Куриткич насадкалари тури
 ағдарувчи, ёпиқ ячейкали 454, 460
 ағдарувчи, секторли 454
 қўтарувчи-парракли 454, 460
 парракли 454
 тақсимловчи 454, 460
 Куриткичлар
 барабанли 452-454
 жували 455
 камерали 450
 лентали 450
 мавҳум қайнаш қатламли 454
 пурковчи 456
 сиртмоқли 452
 сублимацияли 457
 тебранма, мавҳум қайнаш 453
 терморрадиацион 458
 туннелли 450
 шахталли 451
 юқори частотали 458
 ҳисоби 459-470
 Куритувчи элткичлар
 тутун газлари 233
 ўта қизиган буғ 232
 ҳаво 444
 Қуюқлашган эритма 272-287
 Қўрғошин 621
 Қўшалоқ-трубали 246

F

Фадир-будур 56
 Фалвир
 - барабанли 502, 514

электромагнит барабанли 513-514
 Филофли иситкич 253
 Фоваклилик 18, 151, 157, 498
 жисм 18, 310, 311
 қатлам 18, 151, 158
 Фоваксимон жисм тузилиши 311

Ҳ

Ҳаво
 ажратиш 107, 135-148
 сарфи 40, 136
 Ҳаволи конденсатор 257, 565
 Ҳажмий
 сарф 41, 469
 назарияси 500
 Ҳайдаш 350-368
 дефлегмация билан 355
 жараёни 302
 моддий баланс 355
 молекуляр 356-357
 оддий 354
 сув буғи билан 355-356
 фракцияли 354
 Ҳаракат
 ламинар 51-53
 турбулент 52-53, 55-57
 ўтиш 52
 Ҳаракат йўналишлари
 аралаш 226-227
 кесишиб ўтган 226-227
 параллел 226-227
 қарама-қарши 226-227
 Ҳаракатта келтирувчи куч 33
 гидромеханик жараёнлар 14, 124, 181
 иссиқлик алмашилиниш жараёнлар 14, 226-228
 кимёвий жараёнлар 15, 533
 масса алмашилиниш жараёнлар 15, 321-323
 механик жараёнлар 15
 Ҳақиқий суюқлик 35, 45, 46, 47
 Ҳақиқий флегма сони 362
 Ҳимояловчи таъсир вақти 409
 Ҳисоб
 гидравлик 296-298
 иссиқлик 291-295
 механик 299-301
 эксергетик 298-299
 Ҳўл термометр температураси 431
 Ҳўлланган периметр 41, 151

АДАБИЁТЛАР

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973. - 752 с.
2. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. - М.: Химия, 1987. - 496 с.
3. Гельперин Н.И. Основные процессы аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1995. - т. 1-2. - 768 с.
4. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. - М.: Агропромиздат, 1985. - 503 с.
5. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Зокиров С.Г., Исмагуллаев П.Р., Маннонов У.В. Кимё ва озиқ-овқат саноатларининг асосий жараён ва қурилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш. - Т.: Жаҳон, 2000. - 231 б.
6. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Исмагуллаев П.Р. Кимё ва озиқ-овқат саноатларининг жараён ва қурилмалари фанидан ҳисоблар ва мисоллар. - Тошкент: Nisim, 1999. - 351 с.
7. Ризаев Н.У., Юсупбеков Н.Р., Юсипов М.М. Основы оптимизации экстракционной и ионообменной технологии. - Т., Ўқитувчи, 1975. - 247 с.
8. Левш И.П., Убайдуллаев А.К. Тарельчатые абсорберы и скрубберы с псевдооживленным слоем орошаемой насадки. - Т., Узбекистан, 1981. - 236 с.
9. Салимов З., Тўйчиев И.С. Химиявий технология процесслари ва аппаратлари. - Тошкент: Ўқитувчи, 1987. - 408 б.
10. Бродянский В.М., Фратшер В.Ф., Михалек К. Эксергетический метод и его применение. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 288 с.
11. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. - М.: Энергия, 1968. - 279 с.
12. Соколов Р.С. Химическая технология. - М.: Владос, 2000. - т. 1-2. - 814 с.
13. Нурмухамедов Х.С. Научные основы создания процессов и аппаратов для сушки и гранулирования зернисто-волоконистых материалов. - Дисс.... докт. тех. наук, Ташкент, ТашХТИ, 1993. - 440 с.
14. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтесхимии. - М.: Недра, 2000. - 677 с.
15. Бродянский В. М. , Фраттер В.Ф., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 288 с.
16. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1995. - т. 1-2. - 768 с.
17. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М., Курочкина М. И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии. - С-Пб.: Химия, 1993. - 496 с.
18. Абросимов А.А. Экологические аспекты производства и применения нефтепродуктов. - М.: Барс, 1999. - 732 с.
19. Машины и аппараты химических производств: Учеб. пособие для вузов / Доманский И.В., Исаков В.П., Островский Г.М. и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова - 2-е изд., перераб. и доп. - С.-Пб.: Политехника, 1992. - 327с.
20. Николаев В.В., Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа. - М.: ОАО «Недра», 1998. - 184 с.

21. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 1999. - 551 с.
22. Владимиров А.И., Щелкунов В.А., Круглов С.А. Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки (краткий справочник). - М.: Нефть и газ, 1996. - 155 с.
23. Поникаров И.И., Перелыгин О.А., Доронин В.Н., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств: - М.: Машиностроение, 1989. - 368 с.
24. Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1983. - 351 с.
25. Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. - 368 с.
26. Гухман А.А. Введение в теории подобия. - М.: Высшая школа, 1973. - 295 с.
27. Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические свойства картофеля, овощей и плодов. - М.: Агропромиздат, 1987. - 272 с.
28. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. - Л.: Машиностроение, 1970. - 752 с.
29. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. - Л.: Машиностроение, 1976. - 214 с.
30. Бувеч Ю.А., Минаев Г.А. Струйное псевдооживление. - М.: Химия, 1984. - 136 с.
31. Баскаков А.П., Фролов В.Ф., Сажин Б.С. и др. Расчеты аппаратов кипящего слоя. Справочник. - М.: Химия, 1986. - 352 с.
32. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии - М.: Химия, 1971. - 496 с.
33. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. - М.: Химия, 1982. - 288 с.
34. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1978. - 736 с.
35. Жужиков В.А. Фильтрование. - М.: Химия, 1984. - 336 с.
36. Псевдооживление /под редакцией Айнштейна А.Г., Баскакова А.П. - М.: Химия, 1991. - 400 с.
37. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.
38. Роев Г.А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1993. - 281 с.
39. Фильтры для жидкостей. Каталог НПО «НИИхиммаш». Фильтры периодического действия. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. - ч.2. - кн.1. 44 с.
40. Электрогидраты. Трехфазные сепараторы. Электроразделители. Каталог ВНИИнефтемаш. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. - 7 с.
41. Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П. Теория и практика химической энерготехнологии. - М.: Химия, 1988. - 280 с.
42. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. - М.: Химия, 1981. - 616 с.
43. Центробежные горизонтальные и вертикальные химические насосы с проточной частью из металла: Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1981. - 92 с.
44. Островский Г.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности. - Л.: Химия, 1984. - 116 с.

45. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. — Л.: Химия, 1975. — 384 с.
46. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
47. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. — М.: Машиностроение, 1981. — 205 с.
48. Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А., Ашмантас Л.-В.А. Нестационарный теплообмен в пучках витых труб. — М.: Машиностроение, 1988. — 240 с.
49. Шукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. — М.: Машиностроение, 1982. — 200 с.
50. Юдаев Б.Н. Теплопередача. — М.: Высшая школа, 1981. — 319 с.
51. Кошкин В.К., Калинин Э.К. Теплообменные аппараты и теплоносители. — М.: Машиностроение, 1971. — 200 с.
52. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. — М.: Высшая школа, 2000. — 261 с.
53. Бажан П.И., Каневск Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. — М.: Машиностроение, 1989. — 366 с.
54. Таубман Е.И. Выпаривание. — М.: Химия, 1982. — 328 с.
55. Эксергетические расчеты технических систем: Справочное пособие // Бродянский В.М., Верховкер Г.П. и другие: Киев: Наукова Думка, 1991. — 360 с.
56. Чечеткин А.В. Высокотемпературные теплоносители. — М.: Энергия, 1971. — 496 с.
57. Зокиров С.Г., Каримов К.Ф. Интенсификация теплообмена в каналах при течении вязких жидкостей // ЎЗР ФА маърузалари, 1997 №7 С. 32-35
58. Зокиров С.Г., Каримов К.Ф., Саттаров Т. Применение двухмерной шероховатости для увеличения теплоотдачи вязкой жидкости // Труды II Российской Национальной конференции по теплообмену. Интенсификация теплообмена. — М.: МЭИ, 1998. — т.8. С.114-117
59. Dreytser G.A., Gomon V.L., Krayev V.M., Zakirov S.G. Studies of fouling channels with turbulence promoters // Proceeding of the 3rd European Thermal Sciences Conference, Heidelberg, Germany, 10-13 September, 2000.
60. Каримов К.Ф., Умаров У.Э., Алиев Б.А. Выбор оптимального теплообменного аппарата по эксергетическому к.п.д. // Техникавий, иқтисодий ва фунда-ментал фанлар соҳасининг муҳим масалалари. Ташкент, 2000. - №3 С. 91-93
61. Чечеткин А.В., Занемовец Н.А. Теплотехника. - М.: Высшая школа, 1986. — 344 с.
62. Владимиров А.И., и др. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов. — М.: Изд. ГАНГ им. И.М. Губкина, 1997. — 58 с.
63. Головачев В.Л., Марголин Г.А., Пугач В.В. Справочник-каталог. Промышленная кожухотрубчатая теплообменная аппаратура. — М.: Изд. ИНТЭК ЛТД, 1992. — 265 с.
64. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения. Каталог ВНИИнефтемаш. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. — 106 с.
65. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер, В.Б. Кытыш и др.; Под общ. ред. В.Б. Кытыша. — СПб.: Недра, 1996. — 512 с.

66. Пластинчатые теплообменные аппараты. Каталог УкрНИИХиммаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1990. – 51 с.
67. Стальные спиральные теплообменники. Каталог УкрНИИХиммаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1976. – 22 с.
68. Теплообменные аппараты «труба в трубе». Каталог ВНИИнефтемаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. – 23 с.
69. Трубчатые печи. Каталог АООТ «ВНИИнефтемаш». – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1998. – 27 с.
70. Зайчик Ц.Р. Сборник задач по расчетам оборудования винодельческого производства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 200 с.
71. Обливин А.Н., Прокофьев Н.С., Воскресенский А.К. и др. Процессы и аппараты производства плит и пластиков. – М.: Экология, 1991. – 456 с.
72. Выпарные аппараты вертикальные, трубчатые общего назначения: Каталог УкрНИИХиммаша. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. – 38 с.
73. Плановский А.Н., Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности – М.: Химия, 1979. – 287 с.
74. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. – М.: Химия, 1999. – 470 с.
75. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система «твердое тело – жидкость». – Л.: Химия 1974. – 254 с.
76. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. – М.: Химия, 1977. – 272 с.
77. Пономаренко М.Г., Ткаченко К.П., Курлянд Ю.А. Кристаллизация в псевдооживленном слое – Киев Техника, 1972. – 132 с.
78. Гельперин Н.И., Носов Д.А. Основы техники фракционной кристаллизации. – М.: Химия, 1986. – 304 с.
79. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. – М.: Химия 1986. – 272 с.
80. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979. – 439 с.
81. Петлюк Ф.Б., Серафимов Л.А. Многокомпонентная ректификация. – М.: Химия 1983. – 304 с.
82. Шервуд Т., Пигфорд Р.Л., Уилки Ч. Массопередача. – М.: Химия 1982. – 696 с.
83. Колонные аппараты. Каталог ВНИИнефтемаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. – 26 с.
84. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997. – 448 с.
85. Сушильные аппараты и установки. Каталог НИИХиммаш. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. – 80 с.
86. Александров И.А. Массопередача при ректификации и абсорбции многокомпонентных смесей. – Л.: Химия, 1975. – 320 с.
87. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной технологии. – М.: Химия, 1984. – 591 с.
88. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
89. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. – М.: Химия, 1966. – 742 с.
90. Туменов С.Н., Корбатов А.Б., Косой В.Д. Обработка мясных продуктов давлением. – М.: Агропромиздат, 1991. – 271 с.
91. Рогов И.А., Забашта А.Г., Ибрагимов Р.М., Забашта Л.А. Производство мясных полуфабрикатов и быстрозамороженных блюд. – М.: Колос, 1998. – 335 с.

92. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. — М.: Колос, 1999. — 495 с.
93. Тихомиров В.Г. Технология пива и безалкогольных производств. — М.: Колос, 1998. — 448 с.
94. Бутковский В.А., Птушкин Г.Е. Технологическое оборудование мукомольных производств. — М.: Хлебопродукты, 1999. — 202 с.
95. Никулинко Т.Т., Лавриненко Ю.И. и др. Проектирование предприятий общественного питания. — М.: Колос, 2000. — 212 с.
96. Шольц Е.П., Понаморов В.Ф. Технология переработки винограда. — М.: Агропромиздат, 1990. — 447 с.
97. Медведев Г.М. Технология макаронного производства. М.: Колос, 1998. — 272 с.
98. Бредихин С.А., Бредихина О.В., Космодемьянская Ю.В., Никифоров Л.Л. Технологическое оборудование мясокомбинатов. М.: Колос, 1997. — 392 с.
99. Арутюнян Н.С., Янова Л.И., Аришева Е.А. и др. Технология переработки жиров. — Л.— М.: Агропромиздат, 1985. — 368 с.
100. Рудобашта С.П. Массоперенос в системе с твердой фазой. — М.: Химия, 1980. — 248 с.
101. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. — М.: Химия, 1976. — 432 с.
102. Муштаев В.И. и др. Сушка в условиях пневмотранспорта. — М.: Химия, 1984. — 230 с.
103. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. — М.: Химия 1982. — 272 с.
104. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основные процессы технологии минеральных удобрений. — М.: Химия 1990. — 304 с.
105. Генералов М.Б., Классен П.В., Степанова А.Р., Шомин П.В. Расчет оборудования для гранулирования минеральных удобрений. — М.: Машиностроение 1984. — 192 с.
106. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. — М.: Химия, 1991. — 240 с.
107. Казаков А.И., Классен П.В. // Химическая промышленность, 1986. — №6 — 357 с.
108. Гузь М.А. Разработка метода расчета высокоскоростного гранулятора окатывания для мелкодисперсных материалов; Дисс... канд.тех.наук. — М.: МИХМ 1982. — 206 с.
109. Казаков А.И., Классен П.В., Канн С.В. // Химическая промышленность, 1989. — №2. — 220-224 с.
110. А.с. № 1724349, МКИ⁴ F26B 1/04. Устройство для грануляции, изготовления гранул из вязкого материала. // Нурмухамедов Х.С., Агзамов Х.К., Классен П.В. — 4 с. — ил. 3.
111. А.с. №1782514, МКИ⁴ B02B 3/21. Способ приготовления корма из маслосодержащего хлопкового шрота // Нурмухамедов Х.С., Агзамов Х.К., Казаков А.И. — 5 с.
112. Патент РУз №1966. МКИ⁵ B02B 3/01. Способ шелушения хлопковых семян //Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджонов С.К., Зокиров С.Г., Туйчиев И.С., Зуфаров Р.Н. — 4 с.
113. Патент РУз №2062. МКИ⁵ F26B 3/084. Способ сушки хлопковых семян в циркуляционном псевдоожиженном слое // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Зокиров С.Г., Сагитов А.М., Хайридинов Х.А., Классен П.В. — 5 с.

114. Патент РУз №2466. МКИ⁵ A01C 1/00. Классификатор хлопковой рушанки // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Зокиров С.Г., Зуфаров Р.Н., Хайридинов Х.А. — 5 с. - ил 2.
115. Патент РУз №2493. МКИ⁵ A23L 1/00. Способ приготовления мяса // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Сагитов А.М. — 3 с.
116. Патент РУз №2539. МКИ⁵ B07B 4/00. Способ классификации хлопковой рушанки // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Туйчиев И.С., Закирова Н.С. — 4 с.
117. Патент РУз №2593. МКИ⁵ C11B 1/04. Способ подготовки хлопковой мятки к прессованию // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Абдуллаева В.Т., Сагитов А.М., Хаккулова Н.К. — 3 с.
118. Патент РУз №2905. МКИ⁵ A23N 15/00. Аппарат «взрывного» действия для очистки овощей и маслосодержащих материалов // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Нигмаджанов С.К., Туйчиев И.С., Абдуллаев А.Ш., Алиева К.К. и др. - 4 с. — ил. 3.
119. Патент РУз №3472. МКИ⁵ A23L 1/064. Способ получения овощного и фруктового пюре // Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Туйчиев И.С., Абдуллаева В.Т., Зуфаров Р.Н., Абдуллаев А.Ш. — 3 с.
120. Каталымов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. — Л.: Химия, 1990. — 240 с.
121. Объемные питатели и бункера. Каталог УкрНИИХиммаш. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. — 40 с.
122. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. — М.: Химия, 1977. — 368 с.
123. Орехов И.И., Обрезков В.Д. Холод в химической технологии. — М.: ЛГУ, 1980. — 256.
124. Григорьев В.А., Павлов Ю.М., Аметистов Е.В. Кипение криогенных жидкостей. - М.: Энергия, 1977. - 288 с.
125. Тонг Л. Теплопередача при кипении и двухфазное течение. — М.: Мир, 1969. — 344 с.
126. Фастовский В.Г., Петровский Ю.В., Ровинский А.Е. Криогенная техника. — М.: Энергия, 1974. — 495 с.
127. Курсовое проектирование по процессам и аппаратам химической технологии / Под ред. Г.С.Тарасовой. Т., ТашПИ, 1986. — 38 с.
128. Дипломное и курсовое проектирование по процессам и аппаратам химической технологии // Под ред. Ю.И.Дытнерского. - М.: Химия, 1983. — 272 с.
129. Справочник химика. — М.-Л.: Химия, 1966. — т.3. — 544 с.
130. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по процессам и аппаратам химической технологии. — М.: Химия, 1981. — 576 с.
131. Пинчук Л.С., Струк В.А., Мышкин Н.К., Свириденко А.И. Материаловедение и конструкционные материалы. Минск, Вышэйшая школа, 1989. — 461 с.
132. Чиркин В.С. Теплопроводность промышленных материалов. М.: Машиностроение, 1987. - 515 с.
133. Юсупбеков Н.Р., Бабаянц А.В., Лубенцов В.Ф. Управление процессами ферментации. - Ташкент: Фан, 1986. - 164 с.

14 900с

Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович
Нурмухамедов Ҳабибулла Саъдуллаевич
Зокиров Санат Гапурович

Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари

(Д а р с л и қ)

«Шарқ» нашриёт-матбаа
акциядорлик компанияси
Бош таҳририяти
Тошкент-2003

Муҳаррир:
Техник муҳаррир:
Мусахҳиҳлар:

Саҳифаловчи:
Расмлар муҳаррирлари:

К.А. Ахмеров
Ш.М. Фуломов
М.Р. Хайдарова
Ш.Н. Нуритдинов
Н.В. Валиханова
Ш.Ш. Алиева
Р.Ж. Шахабидинов

Теришга берилди 8.09.03. Босишга рухсат этилди 01.07.03
Бичими 70x108 $\frac{1}{16}$. Шартли босма табағи 56,5. Нашриёт - ҳисоб табағи 55.
Адади 500 нусха. Буюртма № 150. Баҳоси келишилган нарҳда.
Фан ва технологиялар марказининг босмахонасида чоп этилди.
700003, Тошкент, Олмазор қўн., 171.