

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

Т.А. ОТАҚЎЗИЕВ, Қ.М. АҲМЕРОВ, С.М. ТУРОБЖОНОВ

УМУМИЙ КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ

*Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги томонидан 5522400
кимёвий технология ишлаб чиқариш турлари бўйича бакалаврият
таълим йўналиши талабалари учун ўқув қўлланма сифатида
тавсия этилган*

ТОШКЕНТ
Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси
«Фан» нашриёти
2009

Мазкур ўқув қўлланмада кимёвий технология жараёнларининг умумий қонуниятлари, кимёвий реактор назарияси, ҳисоблари ва танлаш асослари ёритилган. Ишлаб чиқариш кимёвий технологик тизим сифатида қаралган бўлиб, унинг синтези ва таҳлилига эътибор берилган. Саноат микёсида олинувчи нефт маҳсулотлари, углеводородлар, полимерлар, ўғитлар, аммиак, кислоталар ва бошқа муҳим бирикмалар ишлаб чиқариш схемалари келтирилган. Китобхондикати кўпроқ энерготехнологик тизимлар ва мавжуд маҳаллий ресурслардан тўла фойдаланиш концепциялари, техника хавфсизлиги ҳамда диагностикасига йўналтирилган.

Мазкур ўқув қўлланма олий техника ўқув юртларининг кимё ва кимёвий технология йўналишларида билим олаётган талабалар учун мўлжалланган бўлиб, ундан магистрантлар, аспирант ва илмий ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Масъул муҳаррир:

ЎзРФА академиги *С. Тўхтаев*,

Тақризчи:

кимё фанлари доктори, профессор *Ҳ. Т. Шарипов*

Т. А. Отақўзиев, Қ. М. Ахмеров, С. М. Туробжонов

Умумий кимёвий технология. Ўқув қўлланма. – Т.: Ўзбекистон Республикаси ФА «Фан» нашриёти, 2009. – 432 б.

ISBN 978-9943-09-892-3

© Ўзбекистон Республикаси ФА«Фан» нашриёти, 2009 йил.

КИРИШ

Технология деганда бирор саноат тармоғининг усул ва воситаларини (ишлаб чиқаришни) баён этиш тушунилади. Масалан, металлга ишлов бериш усули ва воситаси, машина ва аппаратларни тайёрлаш усул ёки воситалари машинасозлик технологияси фани асосини ташкил этади. Механик технология жараёнда механик таъсир билан ишлов берилаётган модданинг ташқи кўриниши ёки физик хоссаларини ўзгартиради, аммо уларнинг кимёвий таркибига таъсир кўрсатмайди. Кимёвий технология жараёнлари табиатига кўра мураккаб кимёвий ва физикавий хоссаларига асосланган хом ашёнинг кимёвий қайта ишланишини ўз ичига олади.

Замонавий кимёвий технология табиий ва техника фанлари ютуқларидан фойдаланиб, физикавий ва кимёвий жараёнлар, машина ва аппаратлар, ушбу жараёнларнинг унумли усуллари амалга ошириш ва турли модда, маҳсулот, материал, буюмларни саноатда ишлаб чиқаришни бошқаришни ўрганади.

Кимёвий технология авваламбор физик-кимё, кимёвий термодинамика ва кимёвий кинетика фанларига асосланади, шу билан бир каторда, ушбу фанларни йирик саноат жараёнларида қайтаради ва ривожлантиради. Шу боис кимёвий технологияни иқтисод, физика, математика, кибернетика, амалий механика ва бошқа техника фанлари билан жуда яқин боғлиқлигисиз тасаввур қилиб бўлмайди. Фан ва саноатнинг ривожланиши кимё саноати корхоналари сонининг кўпайишига олиб келди. Мисол тариқасида ҳозирги кунда нефт асосида 80 мингдан ортиқ турли маҳсулотлар ишлаб чиқарилаётганини айтиш мумкин. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг ўсиши бир тарафдан кимё ва техника фанларининг ривожланиши, иккинчи тарафдан кимёвий технологик жараёнларнинг асосини

ишлашга имкон бсрди. Изланишлар оркасида чикндисиз технология ҳам яратилди.

Кимё саноати – халқ хўжалигининг стакчи тармоқларидан бири бўлиб, илмий-техник тараққиётни тезлаштиришга, ишлаб чиқариш самарадорлигининг ортишига, халқнинг моддий-маънавий таъминот даражасининг ортишига хал қилувчи таъсир кўрсатади.

Бугунги кунга кслиб кимёвий маҳсулотлар ишлаб чиқаришнинг ортиши ва халқ хўжалигининг турли соҳаларида уларнинг ишлатилиши, срдан фойдаланишни жадаллаштириш, оғир саноатда илмий-техник тараққиётни тезлаштириш, қурилишда индустриал усулларни ривожлантириш, снгил саноатда хом ашё базасини кенгайтириш ва халқ истеъмол молларини ишлаб чиқаришда катта аҳамият касб этмоқда.

Халқ хўжалигини кимёлаштириш ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишда асосий омиллардан бири ҳисобланади. Кимёвий материалларни ишлаб чиқаришда табиий хом ашёлардан олинadиганига қараганда мсхнат ва энергетик сарфлар 2–3 мартагача камаяди.

Кимёвий технология жараёнларида ишлаб чиқаришни таъминловчи турли машина ва аппаратлар ишлатилади. Ушбу жараёнларда ишлатиладиган жиҳозлар сони 12 минг ном ва турли ўлчамлардан ошиб кетди. Бу суёқ бирхиллашмаган аралашмаларни ажратиш учун зарур бўлган аппарат ва қурилмалар (филтрлар, центрифуга, марказдан қочма сепараторлар, тиндиргич ва бошқалар), иссиқлик ва масса алмаштириш аппаратлари (иссиқлик алмаштиргичлар, буғлантиригичлар, кристаллагичлар), майдалаш, синфлаш ва материалларни улушлаш тузилмалари, аралаштиргичлар, полимерларни қайта ишлаш жиҳозлари, ҳавони ажратиш учун ишлатиладиган аппаратлар, совутгич қурилмалар, газ тозаловчи ва чанг ушлагич жиҳозлар, компрессорлар, насослар ва арматуралар ишлатилади. Этилсн ва пропилен ишлаб чиқаришда ишлатиладиган биргина қурилма 40 та турли колонна, 250 та иссиқлик алмаштиргич, 50 та сифимли аппаратлар, пиролиз псчи, турли коммуникациялар, назорат ўлчов асбоблари ва ягона технологик линия билан боғланган автоматлаштириш воситаларидан иборат эканлигини айтиб ўтиш жоиздир.

Сўнгги йилларда кимё ва нефт машинасозлиги тармоқ корхона-ларнда кўп миқдорда юқори унумли жихозлар ва технологик ли-ниялар, комплекс ва курилмалар яратилди. Машина кувватларини ошириш амалга оширилмоқда. Кимё, микробиология, целлюлоза, коғоз, нефт кимёси саноати тармоқлари, ёқилғи-энергетик, метал-лургик ва агросаноат комплекслари учун кўп тоннали линиялар барпо қилинмоқда.

Ривожланган мамлакатлар тажрибаси саноат ишлаб чиқариш-нинг умумий ҳажмида кимё маҳсулотлари улушининг ортиши ил-мий техникавий кўрсаткичларидан бири эканлигини исботлади. Бу шароитда биринчи галдаги вазифа танлашда кимёвий ишлаб чиқаришнинг экологик тозаллиги ҳисобланади. Кимёвий техноло-гик жараёнлар учун самарали машина ва аппаратлар ишламалари-ни ишлаб чиқаришга бағишланган муаммоларни ечишда асосий муаммолардир.

Кимёвий технологиянинг етакчи тенденцияларидан бири угле-водородлар ва сланецларни кимёвий қайта ишлаб, янги турдаги маҳсулотлар ҳамда кўп мақсадли хом ашёларни ишлаб чиқаришнинг йирик масштабли корхоналарини вужудга келтиришдан иборатдир. Бундай маҳсулотлар сирасига молекуляр водород, аммиак, гидра-зин, метанол, дефолиантлар, органик ўғитлар ва ўсимликларни химоя қилиш воситалари киради. Бу моддалар ичида алоҳида ўринни водород эгаллайди. Ўта тоза ва амалда тугамайдиган манба сув ҳисобланади. Сувдан водородни олиш ва техникада ундан кенг кўламда фойдаланиш стратегик аҳамиятга молик масалалардан ҳисобланади.

Аммиак ва метанол синтези, суюқ ва газсимон углеводород-лар синтези (сунъий суюқ ёқилғи, метан), каттик ёқилғиларни ги-дрогазификациялаш, қора ва рангли металлларни тўғридан-тўғри қайтариш, металл кукунларини қовуштириб пишириш, авиация, автомобиль ва ракета ёқилғиси, газ турбиналари ва магнитогидро-динамик генератор ёқилғиларидан, ўта перспектив технологик жа-раёнлардан фойдаланишни юқори погоналарга кўтариш ҳам аини шундай вазифалардандир.

Арзон водород мавжуд бўлганда углерод диоксидни тугалмас табиий захирали карбонат жинсларини гидрирлаш йўли билан ме-

танол, метан, углерод монооксиди, суюк углеводородлар, мочевиная айлантириш мумкин.

Дунёнинг ривожланган мамлакатларида водород ишлаб чиқаришнинг йирик масштаби тежамли усуллари ва водород технологиясини яратиш устида изланишлар олиб борилмоқда. Сувдан водород олишнинг радиацион-кимёвий усули, айниқса, юқори ҳароратли термолиз билан биргаликда мужассамлашган технологияси келажакда катта аҳамият касб этади.

Енгил транспортладиган ва энергия захирасини чексиз сақлайдиган водород ва метан хилидаги серэнергияли моддалар энергиясини аккумуляирловчи юқори самарали усуллари ишлаш мақсадида кимёвий энергетикага аҳамият кучайтирилмоқда. Водород технологиясидан фойдаланилганда экологик масалалар ва хом ашё муаммолари тўла бартараф этилади.

Кимёвий технология ва атом энергиясининг интеграцияси илмий-техникавий тараққиётнинг тезлашишига улкан таъсир кўрсатишига аминмиз.

Муҳим муаммолардан бири тикладиган манба бўлган хом ашё биомассадан кенг фойдаланиш ҳисобланади.

Биосферанинг 90 фоиз биомассасини ер юзидаги ўсимликлар ташкил қилади, қолган қисми эса сув ўсимликлари ва гетеротроф организмларга тўғри келади. Унинг умумий захираси Ер юзида 1836 млрд. тонна, яъни 27500 млрд. Гж энергиясига эга деб ҳисобланади, бу эса 640 млрд. т. нефтга эквивалентдир. Дарахтлар, қишлоқ хўжалик экинлари ва сув ўсимликлари биомасса учун дастлабки манба ҳисобланади. Биомасса ўзининг таркиби бўйича углеродли (ўсимлик материаллари, дарахт пўстлоги, дон, қоғоз, картон идишлар, ўраб маҳсулотни жойлаштирадиган қоғозлар) ёки шакарли (шакар лавлагиси, шакар қамиши, сорго) бўлиши мумкин. Биомасса йирик тикладиган энергия манбаи бўлиб, водород, газ-симон, суюк ва каттик ҳолдаги углеводородлар кимёвий хом ашё олиш учун ишлатилишини тақозо этади. Дунё ўрмонларининг ортиши факатгина 50 млрд. тоннани ташкил қилади, бир йиллик фотосинтез маҳсулоти 57–10 тонна углеродга етади, бу эса инсоният истеъмол қиладиган энергиядан бир нсча баробар ортиқдир. Сўнгги йилларда биомассанинг кимёвий ва биокимёвий ёқилғига

ва органик синтез маҳсулотларига трансформацияси бўйича асосий йўллар белгиланди.

Биосферадан самарали фойдаланиш ва уни зарарли техноген жараёнлардан химоя қилишнинг аҳамияти кундан-кунга ошиб бормоқда. Саноат ташламаларини зарарли аралашмалардан тозалашнинг такомиллашган ва янги самарали усулларини ишлашда кимёвий технологиянинг аҳамияти бскиёсдир. Замонавий технологиянинг муҳим масалаларидан бири атмосферага ва сув ҳавзаларига зарарли ташламаларни туширишни бартараф этувчи технологик жараёнларни ишлаб чиқишдир. Экологик муаммо масаласини ҳал қилишнинг бош йўналиши хом ашёдан комплекс фойдаланиш ва кам чиқитли технологик жараёнларни ҳамда чиқиндисиз ишлаб чиқаришларни тезлик билан жорий қилишдан иборат.

Ҳозирги вақтда муҳим фундаментал ва амалий тадқиқотлар сирасига қуйидаги йўналишлар киради, деб ҳисоблаймиз:

- янги конструктор ва функционал органик ва ноорганик материаллар (полимерли, композицион, керамик ва металл), эластомерлар, сунъий ва синтетик толалар, шунингдек, уларни коррозия ва ейилишдан сақлаш усуллари;

- кимёвий хавфсизлик ва атроф-муҳит ҳимояси;

- янги моддалар ва материаллар яратиш мақсадида нозик органик, ноорганик ва элементорганик синтез;

- янги юқори самарали кимёвий-технологик жараёнлар (шулар қаторида каталик, мембрана, металлургик, электркимёвий), шунингдек, юқори энергия ва кимёвий реакцияларни тезлаштирувчи физикавий усулларни қўллаш билан боғлиқ жараёнлар;

- минерал хом ашё, нефт, газ, каттик ёнувчи қазилмаларни чуқур ва комплекс кимёвий қайта ишлаш бўйича янги жараёнлар;

- кимёвий энергетика ва янги кимёвий ток манбалари ҳамда энергияга айлантириш тизимларини барпо этиш;

- кимёвий таҳлилнинг инструментал янги усуллари, кимёвий мониторинг ва кимёвий жараёнларнинг, материал ва буюмларнинг кимёвий диагностикаси;

- кимёвий информатсион технология.

Янги технологик ғоянинг асосий белгиси физик-кимёвий, физик-математик, муҳандис-техник, иқтисодий, экологик ва маиший то-

монлари, ишлаб чиқаришни бошқаришни ягона деб қарайдиган илмий тизимли ёндашиш ҳисобланади. Бундай тушуниш кам босқичли (идсалда бир босқичли), ишончли, хавфсиз, кам энергияли, юкори унумли ва тежовчи, мунтазам ишловчи хом ашё ва мўлжалланган маҳсулотни ишлаш бўйича осон қайта қуриладиган корхоналарни барпо этишга қаратилган бўлиши керак. Бундай ишлаб чиқаришни барпо этиш технологик схемаларнинг аппаратуравий жойлашувини ўзгартириш, муҳитни ажратишнинг ўта янги тамойиллари ишланмасини яратиш, иссиқ ва масса алмашинувини жадаллаштириш, шунингдек, моделлашни кенг миқёсда жорий қилиш ва технологик схеманинг реактор қисмини, шунингдек, бутунлай технологик схемани оптималлаштириш билан узвий боғланган.

Мамлакатимизда кимё саноати тинимсиз ривожланмоқда. Мубо-рак газ конденсат заводи, Шўртан газ комплекси, Қўнғирот сода заводи, Қизилқум фосфоритларини бойитиш фабрикаси, Қоровулбозор, Олтиариқ нефтни қайта ишлаш заводи, Қўкон, Янгийўл, Андижон спирт заводлари шулар жумласидандир. Ҳозирги кунда Ватанимиз кимё саноати янада кенгайиб, ривожланиб бормоқда, халқ хўжалиги ва турмуш учун зарур бўлган ўнлаб хил янги маҳсулотларни ишлаб чиқаришни йўлга қўймоқда.

1.1. КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ

Технология ибораси юнунча «Technos» санъат, хунар ва «logos» билим, фан маъносини билдириб, хом ашёни фойдали маҳсулотларга айлантиришни кўзда тутди. Дастлабки хом ашёларни қайта ишлаш ва олинган маҳсулотлардан фойдаланиш йўналишларига қараб металллар технологияси (уларнинг олиниши ва ишлов берилиши), машинасозлик технологияси (машиналарни ва аппаратларни тайёрлаш, озик-овқат тсхнологияси (озик маҳсулотлари олиш) ва бошқаларга бўлинади. Бундан технологиянинг синфланиши саноат соҳаларига боғлиқлиги кўринади, аммо бунда аниқ чегара қўйиш бироз қийинлашади.

Кимёвий технологияда моддаларнинг таркиби, хоссалари ва тузилиши бутунлай ўзгаришига олиб келинадиган кимёвий ва физик-кимёвий жараёнлар орқали қайта ишлаш амалга оширилади.

Кимёвий технология – техник, иктисодий ва ижтимоий жиҳатдан маъкул йўл билан кимёвий ишлаш орқали ишлаб чиқариш воситалари ҳамда зарур предметлар етказишнинг усуллари ва жараёнлари ҳақидаги табиий амалий фандир.

Фан сифатида кимёвий технология ўзининг ўрганиш предмети – кимёвий ишлаб чиқариш; ўрганиш мақсади – инсонга зарур маҳсулотларни ишлаб чиқаришнинг мақсадга мувофиқ усулини яратиш; тадқиқот усуллари – тажрибавий, моделлаштириш ва системали таҳлил йўлларига эгадир. Табиий жамиятшунослик фанларидан фарқли ўларок кимёвий технология моддий ходиса ва объектларни ўрганади, ишлаб чиқаришга суянади. Мазкур фан ўзида кимёвий ўзгаришлар, физик-кимёвий хосса ва ходисалар, физик кўчишлар, математика, механика, иктисодиёт ва бошқа фанлардан маълумотлар ҳамда алоҳида ходисалар ҳақидаги билимларни мужассамлаш-

тиради. Демак, кимёгар-технолог катор илмий соҳалардан хабардор бўлиши талаб қилинади. Бу ҳақда Д.И.Менделсеевнинг «Усуллар ҳақидаги...» фикрининг амалиётни билиш ҳодиса ва нарсаларнинг моҳиятини илмий тушунишда ёрдам бериши ҳақидаги сўзларини эслаб ўтиш мақсадга мувофиқдир.

Кимёвий технология усуллари саноатнинг металлургия, транспорт, электроника, энергетика, қурилиш, машинасозлик, авиасозлик каби ва бошқа қўллаб соҳаларда кенг тарқалганлиги маълум. Қишлоқ хўжалиги, медицина, фармацевтика соҳалари ҳам бундан мустасно эмас. Бундан кимёгар-технологнинг саноатнинг ноқимёвий соҳаларида ҳам роли ортаётганлиги кўринади.

Кимёвий технология нафакат фан соҳаси бўлибгина қолмай, балки маълум маъсулотни олиш усули ёки ишлаб чиқариш (сульфат кислота технологияси, аммиак технологияси, нефть ва газ технологияси ва ҳ.к.)ни ҳам кўзда тутди ёки ҳом ашё олиш ёки қайта ишлаш усули (мембрана технологияси – мембрана ёрдамида арашмаларни ажратиш, плазма технологияси – моддани плазма ёрдамида қайта ишлаш ёки ишлов бериш)ни амалга оширади.

Ҳозирги вақтда кимёвий технология йўналишлар бўйича қуйидагича синфланади:

А. Ноорганик кимёвий технология

1. Асосий анорганик синтез – кислоталар, ишқорлар, тузлар ва минерал маҳсулотлар ишлаб чиқариш;
2. Нозик органик синтез – ноорганик препаратлар, реактивлар, нодир элементлар, электроника материаллари, доривор препаратлар ва бопқалар;
3. Ядро-кимёвий технология;
4. Металлургия – қора ва рангли металллар ишлаб чиқариш;
5. Силикат саноати – боғловчи материаллар, керамик буюмлар, шиша ишлаб чиқариш.

Б. Органик кимёвий технология

1. Нефть ва газни қайта ишлаш – газсимон, суюқ ва қаттиқ табиий углеводородларни бирламчи қайта ишлаш (бирламчи ажратиш, тозалаш);
2. Нефткимёвий синтез – газсимон, суюқ ва қаттиқ углеводородларни қайта ишлаш асосидаги органик маҳсулотлар ва яриммаҳсулотлар;

3. Асосий органик синтез – углеводород хом ашёси асосидаги органик маҳсулотларни ишлаб чиқариш;
4. Биотехнология – озиқа ачитқиси, аминокислоталар, ферментлар, антибиотик ва бошқалар ишлаб чиқариш;
5. Нозик органик синтез – органик препаратлар, реактивлар, дори-дармонлар, ўсимликларни химоя қилиш воситалари ва бошқаларни ишлаб чиқариш;
6. Юқори молекуляр технология – юқори молекулали бирикмалар олиш (синтетик каучук, пластмассалар, кимёвий толалар, плёнка ҳосил қилувчи моддалар);
7. Ўсимлик ва жониворлар хом ашёсини қайта ишлаш технологияси.

Юқорида келтирилган кимёвий технологиянинг синфланиши технологиянинг умумий синфланиши сингари шартли эканлиги кўринади. Мазкур синфланишдаги хом ашёни маҳсулотга айлантириш жараёнида қатанашувчи моддаларнинг таркиби, хоссалари ва тузилиши бутунлай ўзгариб кетади – бунда кимёвий ёки физик-кимёвий айланиш (жараён) рўй беради, лёкин металлургия, силикатлар ишлаб чиқариш, биотехнология, ўсимлик ва жониворлар хом ашёсини қайта ишлаш «нокимёвий» саноат тармоқлари ҳисоблансада, унга ёндашувни эслатиб ўтиш зарур бўлади.

1.2. КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯНИНГ РИВОЖЛАНИШИ ҲАҚИДА ҚИСҚАЧА МАЪЛУМОТ

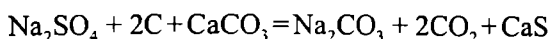
Табиат инъомларидан ҳисобланган сув, олов, минераллар, ўсимлик ва ҳайвон хом ашёси қадимий одамлар томонидан қайта ишланиб, ўз эҳтиёжларига зарур бўлган нарсаларга айлантириш ҳозирги кимё дёб аталувчи фан базаси бўлиб хизмат қилди. Наслдан-наслга ўтиб келган ҳунармандчилик сирлари вужудга келди, бу эса ўз навбатида технологиянинг яралишига олиб келди. Дастлабки технологиялар ҳунар-промысел саноат заңжирисида ташкилий шаклларда ривожланиб, асосий компонентлар сифатида хом ашё – энергия (иссиқлик) – ўзаро таъсир – ажратиш (тозалаш) бўлиб қолди. Мазкур заңжирларнинг сирли синалмаган қисми жараёни ўтказиш ҳамда ўзаро таъсир механизмини билиш (яъни, кимёвий реакция) бўлиб қолди.

Антик давр одамлари олтингугурт, сода, сирка, ёндирувчи ара-лашмалар, ўсимлик бўёқлари ва мойларидан фойдаланганликлари маълум. Қадимги Хитойда коғоз, бўёқлар, шакар олиш, финикия-ликлар пурпур, хиндулар шарбатларни буглатиб маҳсулотлар тай-ёрлашни билганлар. Қадимий хунармандлар бугун маълум бўлган гидравлик, механик, иссиқлик, диффузион, кимёвий ва биокимёвий жараёнлардан фойдаланарди. XIV асрда Европада порох ишланди.

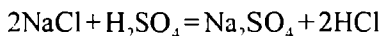
Миср, хитой, араб, европалик алкимёгарлар янги маҳсулотлар ҳисобланмиш сульфат кислота, нитрат кислота, арсенат кисло-та, сулема, новшадил спирт ва бошқалар олишни йўлга қўйишди. Улар кимматбаҳо металллар ва фармацевтик кимё йўналишларини вужудга келтиришга муваффақ бўлишди. Қадимий хунармандлар ишлари асосида синтезлар қилиш, буларни тартибга солиш, систе-малаштириш, вақти келиб, кимёнинг фан сифатида ривожланиши-га туртки берди. Араб алкимёгари Абу ар-Розий ўзининг «Сирлар китоби»да (X аср) турли кимёвий ускуналар ва жараёнларни тас-вирлади, моддаларнинг тупроқ минералли, ўсимлик ва ҳайвон хом ашёларига бўлинган классификациясини яратди, кальцинациялаш, эриш, қуюлтириш, филтрлаш, дистиллаш ва амальгамалаш жара-ёнларини тушунтириб берди.

Ўрта асрларда Ўрта Осиёда, жумладан, Ватанимизда ку-лолчилик, керамика, турли бўёқлар, сирка, шарбат, шароб, газ-мол ва бошқа маҳсулотларни ишлаб чиқариш йўлга қўйилган эди. Жобир ибн Хайём шогирдлари Самарқанд, Бухоро, Хива ва бошқа шаҳарларда тажрибалар ўтказиб, алкимёнинг ривожига ўз ҳиссаларини қўшганлари маълум. XIX асрда Тошкентда сув-ни таҳлил қилувчи лаборатория ташкил қилинганлиги маълум. Заргарларимиз турли тошлар, кимматбаҳо металллар ва бошқа хунармандчилик буюмларини дунё бозорига олиб чиққанларини тарихдан биламиз.

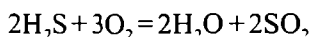
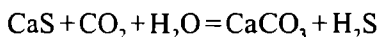
XIX асрда дунёнинг қатор мамлакатларида сифатли кимёвий маҳсулотлар ишлаб чиқарила бошланди. Бунда француз кимёгари Н.Леблан томонидан 1789 йили синтетик соданинг қуйидаги йўл билан олиниши катта аҳамиятга эга бўлди:



Мазкур реакция саноат учун стишмовчи натрий сульфатни ишлаб чиқаришга сарфланадиган сульфат кислота саноатининг кенгайиши ва ривожланишига туртки бўлди:



Ҳосил бўлувчи қўшимча маҳсулот – водород хлоридни ишга солиш орқасида хорид кислота ишлаб чиқариш саноати вужудга келди. Кейинроқ сода ишлаб чиқаришда ҳосил бўлувчи каттик ва газсимон чиқиндиларни саноат микёсида ишлатиш муаммоси ҳал қилинади:



Бунда ажралувчи SO_2 гази сульфат кислота олишга йўналтирилди. Ушбу жараён олтингуғурурт бўйича ёпиқ занжир ($\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{CaS} - \text{H}_2\text{S} - \text{SO}_2 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4$) ни ташкил этди ва чиқинди бўлган CO_2 ни ҳам ишга солди.

Ердан кишлоқ хўжалигида унумли фойдаланиш борасидаги уринишлар минерал ўғитлар технологиясининг вужудга келишига асос бўлди. Аввалига фосфатли, кейинроқ калийли ва охирида азотли ўғитларнинг қатор хиллари ишлаб чиқарила бошланди. Азот асосидаги ўғитлар захираси бехисоб бўлган ҳаво азотини ишга солишга олиб келди.

Аммиак (NH_3)ни Габср-Бош усули бўйича олиш технологиясининг яратилиши кимёвий технологиянинг ривожланишида янги босқич бўлди. Стехиометрик тенгламалар устидаги тадқиқотлар ривожлантирилиб, технологик жараёнларни саноатда қўллаш учун муҳим бўлган реакция тезликларини аниқлашнинг термодинамик ва кинетик ҳисобларини бажариш амалга оширилди. Ватанимизда кимёвий технология фани ва саноатини ривожлаантиришга Ўзбекистон Республикаси ФА академиги М.Н.Набиев катта ҳисса қўшди. Олим шогирдлари Ўзбекистонда хизмат кўрсатган фан ва техника арбоби, техника фанлари доктори, профессор Ф.М.Мирзасв, Ўзбекистон ФА академиклари Б.М. Беглов ва С.Т. Тўхтасвлар ёш технологларимизни тарбиялаб етиштиришда тинимсиз ишлаб келмоқдалар. Юқорида номлари зикр этилган олимларимиз ХХ асрда мамлакатимизда қурилган йирик кимё корхоналарида янги

технологияларнинг жорий этилиши, ўзлари яратган технологияларни амалиётга татбиқ этиш, технология фанини ривожлантириш ва такомиллаштиришга катта ҳисса қўшиб келмоқдалар. Улар ёзган янги дарслик, монография ва илмий мақолалар ёшларга янги технологик усулларни ўрганишда қўл келмоқда, маслаҳат ва фойдали йўлларни ўрганишга ундамоқда. Мазкур қўлланма ҳам шу йўлдаги уринишлардан биридир.

1.3. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Кимёвий технологиянинг тадқиқот объектлари бўлиб кимёвий ишлаб чиқариш хизмат қилади.

Кимёвий ишлаб чиқариш – машина ва ускуналар ёрдамида хом ашёни зарур маҳсулотларга айлантиришдаги жараён ва операциялар мажмуасидир.

Кимёвий ишлаб чиқаришга қуйидаги талаблар қўйилади:

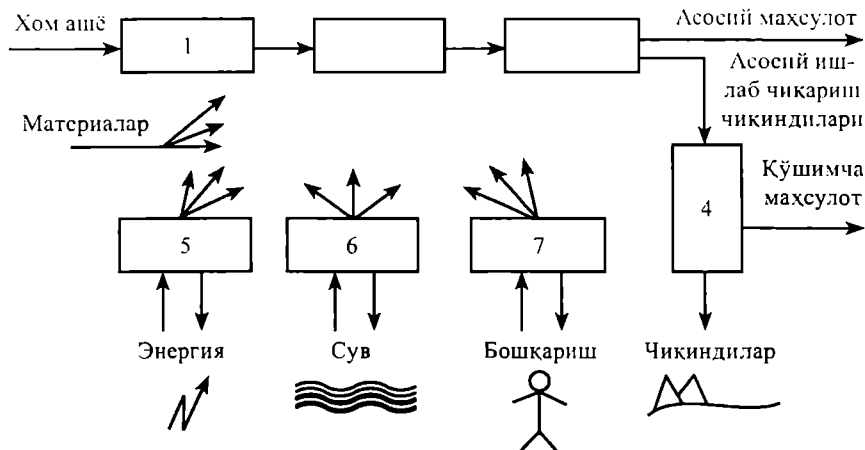
- ишлаб чиқаришда зарур маҳсулотларни олиш;
- экологик хавфсизлик;
- эксплуатация қилишдаги хавфсизлик ва мустаҳкамлик;
- хом ашё ва энергиядан максимал фойдаланиш;
- меҳнат унуми максимал бўлиши.

Кимёвий ишлаб чиқаришнинг асосий вазифаси маҳсулот олиш бўлиб, бунда кимёвий ишлаб чиқаришнинг кўп функционалиги ҳисобга олинади.

Кимёвий ишлаб чиқариш 1.1-расмда келтирилган функционал қисмларни ўз ичига олади:

1.1-расмдаги 1–3-позициялар – хом ашёни маҳсулотга айлантирувчи кимёвий ишлаб чиқаришнинг ўзи. Бу ердаги 1-позиция хом ашёни олдиндан тайёрлаш, яъни уни майдалаш, аралашмалардан тозалаш, компонентларни аралаштириш ва бошқаларни ўз ичига олади. Хом ашёни тайёрлаш унинг хили ва айлантириш шароитига боғлиқдир.

Тайёрланган хом ашё бир неча ўзгаришлардан ўтиб (2 позиция), ишлаб чиқаришнинг зарур маҳсулотига айланади. 3-позицияда табиий хом ашёлар таркибида мавжуд бўлган аралашмаларни асосий маҳсулотдан ажратиш ва улардан тозалаш кўзда тутилади. Хом



1.1-расм. Кимёвий ишлаб чиқариш структураси ва функционал элементлари:

1 – хом ашё тайёрлаш; 2 – хом ашёни қайта ишлаш; 3 – маҳсулотларни ажратиш; 4 – чиқиндининг санитар ишланиши ва утилизацияси; 5 – энергетик система; 6 – сув тайёрлаш ва ёрдамчи материалларни тайёрлаш; 7 – бошқариш тизими.

ашёдан ажратилган чиқинди ёки нокерак маҳсулотлар ўз навбатида зарарли, атмосферага чиқариб юборилганда уни бузувчи ёки фойдали моддаларни сақлаши мумкин, уларни ташлаб юбормаслик зарур бўлади. Шу боис кимёвий ишлаб чиқаришнинг муҳим хусусиятларидан бири санитар тозалаш ва ишлаб чиқариш чиқиндиларидан фойдаланиш ҳисобланади.

Санитар тозалаш ёки чиқиндиларни зарарсизлантириш орқали захарли таркибларни йўқотиш билан атмосферани бузмасликка эришиш амалга оширилади. Ишлаб чиқаришнинг чиқиндиларини ишлатиш ва йўқотишда корхона жойлашган ҳудуднинг ва умуман атроф-муҳитнинг экологик вазиятини ҳисобга олган ҳолда иш тутмоқ лозим бўлади. Ажралаётган чиқинди ва иккиламчи маҳсулотлардан мақсадли фойдаланиш энг рационал йўл ҳисобланадики, бу билан ташланаётган кимёвий моддалар миқдори камайтирилади, бу эса ҳар қандай корхона учун айти муддаодир. Хом ашёни тайёр маҳсулотга айлантиришда энг кўп энергияни кимё саноати ишлатади, бунда энергетик ресурсларнинг 15 фоизи сарфланади. Шу боисдан кимёвий ишлаб чиқаришда энергетик тизим муҳим ўринни эгаллайди (5-позицияга қаранг). Сарфланаётган

энергия тўғридан-тўғри маҳсулот олишга эмас, балки уни ишлаб чиқаришга сарфланади. Баъзи жараёнлар энсргия ажралиши билан боради (экзотсрмик реакцияларда), шунинг учун ҳам энсргияни ишлаб чиқариш босқичларига керагича таркатган ҳолда ундан хом ашёни ишлашда қайтадан ишлатишни ўйлаш керак. Энергия билан бир каторда кимёвий ишлаб чиқаришда ёрдамчи материаллар ҳам ишлатилади. Буларга маҳсулотларни ажратиш ва тозалашда зарур бўлган сорбентлар, реакция муҳитини юмшатовчи нейтрал реагентлар (интергазлар ва бошқалар) киради. Бундай моддалар ичида сув асосий ўринлардан бирини эгаллайди, чунки у технологик тизимлардаги окимни совутишда, буғ ишлаб чиқаришда, уларни эритиш ва суюлтиришда кўплаб қўлланади. Расмдаги 6-позициядан ёрдамчи материалларни ва айниқса ишлатилувчи сувни тайёрлаш кимёвий ишлаб чиқаришнинг муҳим ва мураккаб қисмларидан эканлиги кўринади. Мураккаб кимёвий ишлаб чиқаришни бошқариш ҳам зарурдир (расмнинг 7-позициясига назар солинг). Бунда ишлаб чиқаришни назоратда тутиш, жараёни кўзда тутилган шароитда ушлаб туриш, нохуш ҳодиса (авария)лардан асраш ва зарурат туғилганда мураккаб тизимни тўхтатиш амалга оширилади. Бу технологик жараёни бошқариш тизимини автоматлаштиришдир. Энди кимёвий ишлаб чиқаришнинг компонентларига тўхтаб ўтсак бўлади.

Ўзгарувчан компонентлар доимий ёки ишлаб чиқаришда ҳосил бўлади. Буларга: қайта ишлашга мўлжаллаган хом ашё; ёрдамчи материаллар; асосий ва қўшимча материаллар; ишлаб чиқариш чиқиндилари; ишлаб чиқариш ҳаракатини таъминловчи энергия киради.

Доимий компонентлар ишлаб чиқаришга доимий қилиб ўрнатилади (жиҳозлар, конструкциялар ва унинг ишида катнашувчи ишчи-хизматчиларни ўз ичига олади). Буларга яна қуйидагилар киради:

- ускуналар (машиналар, аппаратлар, идишлар, қувурлар, арма-тура);
- назорат ва бошқариш жиҳозлари;
- қурилиш конструкциялари (бинолар, иншоотлар);
- хизматчилар (ишчилар, аппаратчилар, муҳандислар ва ишлаб чиқаришнинг бошқа ишчилари).

Ишлаб чиқаришнинг ишдаги бирлигини таъминловчи **кимёвий корхона таркибини** кўриб чиқамиз. Буларга куйидагилар киради:

- кимёвий ишлаб чиқаришнинг ўзи;
- хом ашё захираси, тайёр маҳсулот ва бошқа материаллар омборхонаси;
- хом ашё, маҳсулотлар, оралик моддалар, чиқиндиларни транспортировка қилиш;
- ишлаб чиқариш бўлимлари хизматчилари;
- бошқариш, таъминот ва хавфсизлик таъминоти.

Омборхоналар мавжуд бўлиши заруратдир. Ишлаб чиқаришда узилишлар бўлмаслиги, корхонанинг узлуксиз ишлаб туриши омборхона захирасига боғлиқдир. Баъзан омбор ва омборхоналар мураккаб иншоотлар сифатида қурилишни талаб этади. Масалан: нитрат кислота саноатида хом ашё бўлган аммиак суюқ ҳолатда 1–2 МПа босимда сақланади (унинг газ ҳолдаги ҳажми етти-саккиз минг барабар юқоридир). Суюқ аммиакнинг буғланишини ҳам ҳисобга олишга тўғри келади, чунки у омборни ёриб юбориши ҳам мумкин. Шунингдек, омборхонада маълум ҳароратни сақлаган ҳолда буғланган аммиакни суюқликка айлантириб, ўз жойига қайтариб туриш такозо этилади. Ҳатто ўғитларни сақлашда ҳам маълум қоидаларга риоя қилиш керак.

Агар омборхоналар нам ёки талабларга жавоб бермайдиган ҳолатда бўлса, унда ўғитлар ёпишиб қолиши, ишдан чиқиши ёки босилиб кетса, нохуш ҳодисаларга олиб келиши мумкин. Ёнувчи ёки захарли маҳсулотларни эса махсус омборхоналарда сақлаш талаб этилади (масалан, ишқорий металллар, ишқорий-ер металлари ва ҳоказолар). Бундай омборхоналарга техника хавфсизлиги, механизациялаш ва жараёнларни автоматлаштириш бўйича катта ҳамда масъулиятли талаблар қўйилади.

Ишчи-хизматчилар хавфсизлиги маъмурият томонидан тасдиқланган норматив документлар асосида таъминланади.

1.4. КИМЁВИЙ-ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁН

Хом ашё ва материалларни маҳсулотга айлантириш жиҳатлари ҳамда жараёнлари йигиндиси технологик жараён асосини ташкил этади.

Кимёвий-технологик жараён – дастлабки ашёларни мақсадли равишда маҳсулотга кетма-кет равишда айлантириш жараёни бўлиб, кимёвий ва физик-кимёвий жараёнларнинг мужассамлашувидир.

Буни азот билан водороддан аммиак синтезида тушунтирамиз. Аммиак $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ реакцияси амалга ошиши натижасида ҳосил бўлади. Жараён 700-850 К ва 30 МПа босимда олиб борилади. Бунда физик-кимёвий босқич бўлган конденсация, яъни ҳосил бўлган аммиакни ажратиб олиш зарур бўлади. Реакцияга киришмай қолган азот билан водород реакторга қайтарилади. Босимни ошириш ва газлар циркуляцияси учун уларни сиқиш механик жараён ҳисобланади. Бунда амалга оширилувчи оқимни иситиш ва совутиш эса иссиқлик алмашилиш жараёнига киради. Азот билан водороддан кўрсатилган босқичларни кетма-кет амалга ошириш орқали аммиак олиш йиғиндиси аммиак синтезининг кимёвий-технологик жараёнидир.

Азот ва водород олиш учун, аввало, сув ва табиий газдан водородни синтез қилиш керак, азот эса ҳаводан олинади. Табиий газ, сув ва ҳавони аммиакка айлантиришдаги босқич ҳамда жараёнлар йиғиндиси табиий материаллардан аммиак ишлашнинг кимёвий-технологик жараёнидир. У ўзининг бир қисми сифатида аммиак синтезининг кимёвий-технологияси жараёнини бириктиради. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг функционал элементлари сифатида кимёвий-технологик жараёнларга 1–4 босқичларни киритиш мумкин, бунда асосан ҳам ашё маҳсулотга қайта ишланади.

Тўла ҳолдаги кимёвий-технологик жараённи асосий бажарилувчи ишга қараб туриб бир неча турга бўлиш қабул қилинган.

Механик ва гидромеханик жараёнлар – материалларни кўчириш, улар шаклини ва катта-кичиклигини ўзгартириш, қисиш ва кенгайтириш, оқимларни аралаштириш ва бўлишдан иборат. Булар ишланаётган материалнинг кимёвий ва фазавий таркиби ўзгармаган ҳолда амалга оширилади. Бунинг учун корхоналарда транспортёрлардан, тош майдалагич, диспергаторлар, қолиплар, компрессор, насос, аралаштиргич ва филтрлардан фойдаланилади.

Иссиқлик алмашинув жараёнларда – иситиш, совутиш ва фазовий ҳолатни ўзгартиришдир. Бунда «кимёвий ва фазавий таркиб ўзгармайди. Мазкур жараёнлар иссиқлик алмаштиргичлар,

кайнатгичлар, конденсатор, эритгич ва сублиматорларда амалга оширилади.

Масса алмашинув жараёнлари – контактлашувчи фазаларнинг компонент таркиби ўзгарган ҳолда кимёвий таркиб тубдан ўзгармай қоладиган фазалараро жараён. Булар эриш, кристалланиш, қуриштиш, дистиллаш, ректификация, абсорбция, экстракция, десорбциялаш жараёнлари бўлиб, тасвирича аппаратлар бўлган қуришгичлар, дистиллятор, ректификатор, адсорбер, экстрактор ва десорберларда олиб борилади.

Кимёвий жараёнлар – кимёвий реакторларда кимёвий таркибнинг тубдан ўзгариши.

Булардан ташқари кимёвий жараёнларда ишлатилувчи турбина, генератор ва моторлардаги **энергетик жараёнлар** (иссиқлик, механик, электр каби)да турли энергия турларининг бир-бирига айланиши ҳамда **бошқариш жараёнлари** (оқимлар ва моддалар ҳолати) буларнинг таркиби ўзгариши ҳақидаги ахборотни билиш ва узатиш ҳам муҳим аҳамият касб этади. Бошқариш жиҳозларига датчиклар, сигнал ва ахборот тизимлари, клапан, задвижкалар, вентиллар, автоматик бошқариш тизимлари ва ҳоказолар қиради.

Кимёвий-технологик жараённинг алоҳида жараёнлари ва буларнинг мажмуасини кузатиш корхона кимёгар-технологининг асосий касбий хизмат фаолияти ҳисобланади.

1.5. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ ВА КИМЁВИЙ-ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁН КЎРСАТКИЧЛАРИ

Корхонанинг техник кўрсаткичлари кимёвий-технологик жараён сифатини белгилайди. Ишлаб чиқаришнинг фойдали ва самарали эканлигини, технологик жараённинг замон талабидалигини аниқлаш учун зарур кўрсаткичлар бир неча гуруҳларга ажратилади.

Ишлаб чиқариш унуми (қуввати) – олинаётган маҳсулот ёки қайта ишланаётган хом ашёнинг вақт бирлигидаги миқдоридир:

$$Y = \frac{M}{t}$$

бу ерда Y – унум; M – олинаётган ёки қайта ишланаётган хом ашёнинг t вақтдаги миқдори.

Одатда унумни 1 соат ёки 1 суткада ишлаб чиқарилган маҳсулот микдори билан ифодаланади, бунда ишлаб чиқаришнинг тўхтамасдан ишлаш режимидаги максимал имконига қаралади. Узок вақт иш даври, масалан, йиллик унумда ишлаб чиқариш режа асосида тўхташлари ҳисобга олинади. Шуларни ҳисобга олиб, қимёвий ишлаб чиқариш учун йиллик унум соат ёки суткага боғлаб 8000 соат ёки 330 сутка қилиб белгиланади.

«У»нинг катталиги ҳар бир ишлаб чиқаришга боғлиқдир. Катта қорхона йилига ўнлаб ёки юзлаб тонна маҳсулот чиқаради. Масалан, сульфат кислота саноатида йилига ўртача 360–500 минг тонна (суткасига 1080–1500 тонна), аммиак саноатида 450 минг тоннагача (суткасига 1360 тонна) маҳсулот ишлаб чиқарилади. Нефтни бирламчи ишлаш ускунаси йилига 2 миллион тоннагача бўлган хом ашёни ишлатади. Кам тоннажли ишлаб чиқаришда эса (реактивлар, тарқоқ металллар, органик синтез маҳсулотлари) унум соатига килограмм ва ҳатто граммларда ўлчанади.

Сарфлаш коэффиценти маҳсулот бирлигини ишлаб чиқариш учун сарфланган хом ашё, материалар ёки энергияни англатади. Унинг катталиги [хом ашё килограмми/маҳсулот тоннада], [м^3 хом ашё/килограммдаги маҳсулот], [кал/т маҳсулот] ва ҳ.к.ларда аниқланилади. Сарфлаш коэффиценти маҳсулот ишлаб чиқаришга кетган харажат микдорини кўрсатади, аммо сарфланаётган компонентлар ишлатишининг самаралилигини ҳисобга олмайди. Бу қуйидаги кўрсаткич билан аниқланади.

Маҳсулот чиқиши – ишлатилган хом ашёдан олинган реал маҳсулот микдорининг мазкур хом ашёдан максимал микдорда назарий олиниши мумкин бўлган микдорига нисбатидир.

Масалан, бир тонна нитрат кислотаси **ИЧЮЗ** олиш учун реал шароитда 296 кг аммиак (HNO_3) сарфланади. Агар аммиак тўла равишда нитрат кислотасига айлантирилса, аммиакдан 270 килограмм старли бўларди. Маҳсулот чиқиши 91–93 фоиздир. Маҳсулотнинг тўла чиқмаслиги айланишнинг тўла эмаслиги, йўқотиш, аралашмалар борлигидандир.

Жараён интенсивлиги – аппарат ҳажм бирлигида қайта ишланган хом ашё ёки ҳосил бўлаётган маҳсулот микдоридир. Мазкур кўрсаткич технологик аппаратда жараён боришининг интенсивли-

гини характерлайди ва жараённинг такомиллашганлигини белгилайди.

Солиштирма капитал харажатлар – корхона жнҳози сарфининг унум бирлигидаги ҳисобидир. Корхонанинг «ишга туширишдан олдин бир вақтнинг ўзида аппаратлар, машиналар, қувурлар, иншоот ва бошқалар учун сарф-харажатлар қилинади, булар капитал харажатлар ҳисобланади. Унум бирлигига ҳисобланган солиштирма капитал харажатлар алоҳида аппаратлар ва бутун корхонада жараённинг самарали ташкил қилиниши ҳамда конструкциялардан фойдаланишнинг такомиллашганлигини белгилайди. Мазкур кўрсаткич табиий кўрсаткичларда, масалан, суткасига тонна металл/1000 т. маҳсулот ёки пул билан ифодаланади.

Маҳсулот сифати унинг талабгорлик хусусияти ва товар сифатидаги қиммати билан белгиланади. Ҳар бир маҳсулот ўзига хос кўрсаткичга эгадир. У аралашма миқдори (таркиби ва миқдори), физик ва қимёвий кўрсаткичлар, ташқи қўриниш ва катта-кичиклиги, ранги, ҳиди ва бошқаларни ўз ичига олади. Норматив документлар (ГОСТ – давлат соҳа стандарти, техник шароит, сифат сертификати) билан аниқланади.

Иқтисодий кўрсаткичлар корхонанинг иқтисодий самарадорлигини белгилайди. Маҳсулот таннархи – маҳсулот бирлиги учун сарфланган харажатлар. Таннарх ҳам ашё, энергия, қўшимча материаллар; жиҳозга кетган бир вақтдаги сарф-харажатлар, капитал харажатлар; ишчилар меҳнати учун тўланган сарфни ўз ичига олади. Таннархнинг умумий структураси Т тенг:

$$T = (\sum B_i M_{\text{и}} + k K_x + M_r) / M_m,$$

бу ерда, B_i ва $M_{\text{и}}$ – M_m миқдоридagi маҳсулот ишлаб чиқаришга сарфланган ҳам ашё, энергия ва материаллар баҳоси билан миқдори; K_x – капитал харажатлар; – капитал харажатларни коплаш коэффиценти (унинг улуши, маҳсулот миқдорининг (M_m) корхона мавжуд бўлиш вақтига боғлиқлиги); қимё корхонаси учун $k=0,15$ олинади (ўрта ҳисобда M_m нинг йиллик унумига қараб); M_r – меҳнат тўлови.

Таннарх пулда ифодаланади.

Меҳнат унуми – вақт бирлигида (одатда бир йилда) бир ишчига ҳисоб қилинганда маҳсулот миқдори бўлиб, корхона меҳнат сарфининг самаралилиги кўрсаткичидир.

Иктисодий кўрсаткичлар техник кўрсаткичлар асосида ҳисобланади. Булардан баъзилари (унум, сарф-харажатлар коэффициентлари, солиштирма капитал харажатлар) пул ҳисобида юритилиши мумкин. Булар ва иктисодий кўрсаткичлар техник-иктисодий кўрсаткичлар дсб юритилади.

Эксплуатацион кўрсаткичлар кимёвий-технологик жараёнларда ва корхонада уларни эксплуатация қилишда юзага келадиган (регламент шароитлари ва ҳолатдан фарқланувчи) ўзгаришларни ҳарактерлайди. Жараён кўрсаткичларини ўзгартиришга таъсир этиш ва жараёни бошқариш имкониятлари эксплуатацион кўрсаткичлар орқали аниқланади.

Ишончилилик маълум вақт ичида жиҳозлар ёки корхонанинг ўзида авариясиз ёки тўхтовларсиз ишнинг ўрта вақти билан ҳарактерланади. Мазкур кўрсаткич ишлатилаётган жиҳозлар сифати ва уларни тўғри эксплуатация қилишга боғлиқдир.

Ишлашдаги хавфсизлик – корхона ходимлари, жиҳозлар, атроф-муҳит ва халққа зарар етказиш эҳтимолидир.

Сезгирлик – эксплуатация шароитлари ва режимнинг бузилиши бўлиб, жараён кўрсаткичлари ўзларининг шуларга нисбати билан аниқланади.

Бошқарилиш ва йўлга солиш – жараён кўрсаткичларини зарур чегаларда ушлаб туриш, жараён шароитлари ўзгариш катталиги, бошқариш параметрлари ва уларнинг ўзаро таъсир доираларини аниқлашдир (бошқариш мураккаблиги).

Социал кўрсаткичлар мазкур корхона иш шароити ва унинг атроф-муҳитга таъсирини белгилайди.

Хизматнинг зарарсизлиги – ишлаётган кишиларнинг санитар-гигиеник шароитлари газланганлик, чангланганлик, шовқин даражаси борасида нормаларга ҳамоҳанглиги.

Автоматлаштириш ва механизациялаш даражаси корхонани эксплуатация қилишдаги қўл ва огир меҳнат улуши билан аниқланади.

Экологик хавфсизлик – корхонанинг атроф-муҳит ва региондаги экологик вазиятга таъсир даражасидир.

Кимёвий ишлаб чиқаришнинг асосий кўрсаткичларига назар ташлар эканмиз, унинг лойиҳаланиши, қурилиши ва ишлашига

бўлган талаб катта эканлигига яна бир бор амин бўламиз. Бундай талабларнинг жуда яхши ишлаб чиқилишига қарамай, айрим ҳолатларда уларнинг бир-бирига зид ёки бир-бирига ҳалакит бериши ҳам кузатилади. Демак, кенг қанровли ечимлардан фойдаланишимиз керак бўлади. Кўраёйсизки, технолог нафакат чуқур, кенг қанровли билимлар, балки юқори заковат, маданият ва меҳрибон қалб соҳиби бўлиши ҳам талаб этилади.

1.6. «УМУМИЙ КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ» ПРЕДМЕТИ

Технология умумий фанлар асосига таянади. Механик, иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини тадқиқ қилиш моддалар таркибидаги компонентларнинг тўла ўзгариши билан шуғулланмайди. Бу билимлар табиий-илмий ўқув фанларининг физик циклини ташкил этади. Кимёвий-технологик жараённи ўрганиш илгари ҳам айтиб ўтилганидек, кўпинча кимёвий ва физик-кимёвий билимларга таянади. Шуни ҳисобга олиб, «Умумий кимёвий технология» фани кимёвий фанлар циклига таянган ҳолда ўз ичига қуйидаги бўлимларни олади: реакцион жараёнлар (2-«кимёвий жараёнлар ва реакторлар»); кимёвий технологик жараёнлар (3-боб – «Кимёвий-технологик тизим»); кимёвий технологиянинг экологик муаммолари (4-боб – «Саноат экологияси асослари»).

Олий ўқув юрти йўналишларини ҳисобга олган ҳолда мазкур фан битта ёки бир неча курсга ажратиб ўқитилиши мумкин. Шу боис курс материали «Умумий кимёвий технология» предметининг мумкин бўлган вариантларини ўқитишга мослаб тузилган.

2.1. КИРИШ

2.1.1. Кимёвий реактор (умумий тушунча)

Кимёвий реактор – кимёвий ўзгаришлар (кимёвий реакциялар) амалга ошириладиган ускуна, аппаратдир. Ишлатилиши, амалиётдаги роли ёки ташқи кўринишига кўра кимёвий реакторлар турли номлар – реактор, колонна, минора, автоклав, камера, контакт аппарати, полимеризатор, гидрогенизатор, оксидловчи ва ҳ.к. деб аталади. Баъзиларининг умумий схемалари 2.1-расмда келтирилган.

Реактор 1 – ҳажмий. Реагентлар (кўпинча суюқлик, суспензия) иш циклидан олдин солинади. Аралаштиргич реагентларни аралаштириб туради. Температура режими иссиқлик алмаштиргичдаги ташигич ҳисобига ушлаб турилади. Реакция ўтказиб бўлинган маҳсулот олинади, реактор тозаланади ва цикл қайтарилади. Жараён даврий ҳисобланади.

Реактор 2 – ҳажмий, оқимли. Реагентлар (кўпинча газ, суюқлик, суспензия) узлуксиз реактордан ўтиб туради. Газ суюқлик орқали барботажланади.

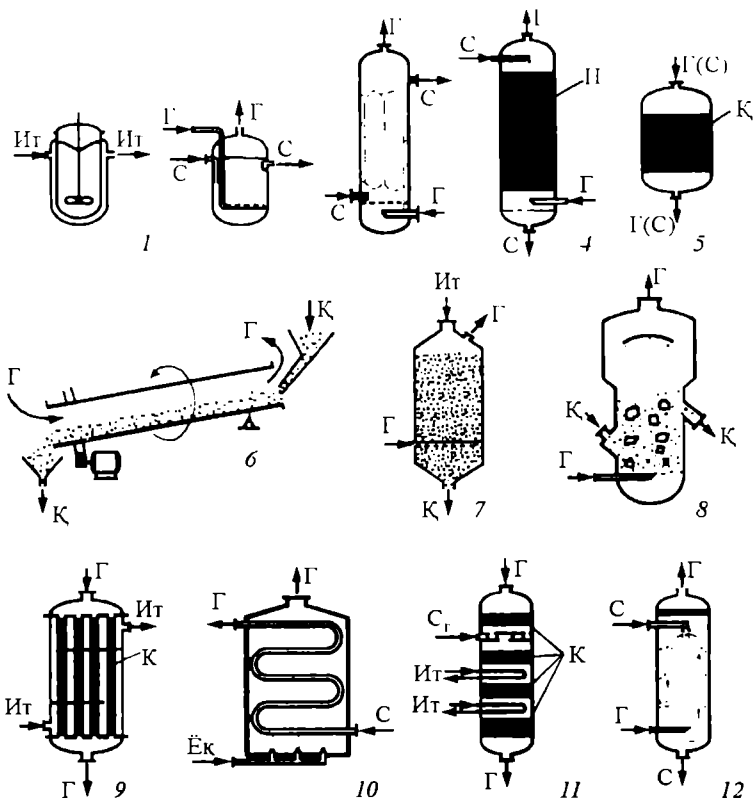
Реактор 3 – колоннали. Саноат колоннали реакторлари учун характерли бўлган баландликнинг диаметрига нисбати 4–6 атрофидадир (ҳажмий реакторларда бу нисбат 1 атрофида бўлади). Газ билан суюқликнинг таъсири реактор 2 даги кабидир.

Реактор 4 – насадкали. Газ билан суюқлик таъсирлашади. Газ насадка элементлари орасида ҳаракатланади.

Реактор 5–8 ларда асосан газнинг қаттиқ реагент билан таъсирлашуви амалга ошади.

Реактор 5 да қаттиқ реагент қимирламайди, газ ҳолдаги (ёки суюқ) реагент реактордан узлуксиз ўтиб туради. Жараён қаттиқ модда бўйича даврийдир.

Реактор 6–8 ларда жараён қаттиқ реагентлар бўйича узлуксиз. Қаттиқ реагент энгаштирилган ҳолда жойлашган айланувчи



2.1-расм. Кимёвий реакторлар схемалари: Г – газ, суюклик; ИГ – иссиқлик та-
шитгич; Н – насадка, К – каттик реагент; К – катализатор, С_г – совук газ.

думалок реактор 6 бўйлаб сурилади ёки реактор 7 орқали туши-
рилади (қум соатига ўхшаш). Реактор 8 да газ пастдан берилади,
газ оқими тезлиги юқорилиги ҳисобига каттик заррачалар муаллақ
ҳолатда бўлади. Бу псевдосуюлтирилган ёки «қайновчи» қават
бўлиб, суюкликнинг баъзи хоссаларини ўзида намоён қилади.

Аппарат орқали каттик материалнинг узлуксиз оқимини амалга
ошириш мумкин.

Реактор 5, 9 лар ҳам жараёни каттик катализаторларда олиб бо-
ришга мўлжалланган.

Реактор 9 – кувурсимон. Кўриниши бўйича кожухсимон иссиқлик алмаштиргични эслатади. 1-реакция бораётган кувур орқали газсимон ёки суюқ реагентлар ўтади. Кувурларга одатда катализатор солинади. Температура режими кувурлараро майдондаги иссиқлик ташитгич циркуляцияси ҳисобига ушлаб турилади.

Кувурсимон реактор 10 кўпинча юқори ҳароратли гомоген реакцияларни ўтказишда қўлланилади (шу жумладан, ёпишқоқ суюқликлардан фойдаланишда оғир углеводородлар пиролизида). Реакторларни кўпинча печлар дсб юритадилар.

Реактор 11 – реакцияга киришувчи аралашмаларни орада совитиш (иситиш)га мўлжалланган кўп қаватли реактор (бир неча қаватли, масалан катализатор учун). Расмда совитиш биринчи қаватдан кейин совуқ газ киритиш ва иситиш иккинчи ва учинчи қаватлардан кейин иссиқлик алмаштиргичлар ёрдамида олиб борилиши тасвирланган.

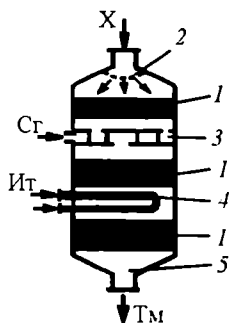
Реактор 12 газ-суюқлик жараёнлари учун кўп қаватли қилиб ишланган.

Саноатда реактор хиллари жуда кўплиги билан характерланади. Реакторлар хилма-хиллигини тадқиқ қилиш мақсадида, реакторлар конструкцияларини уларда ўтаётган жараёнларга қараб туриб тизимлаймиз.

2.2-расмда 2.1-расмда ифодаланган реактор 11 га ўхшаш реактор схемаси келтирилган. Барча реакторлар учун характерли бўлган тузилиш элементларини ажратамиз.

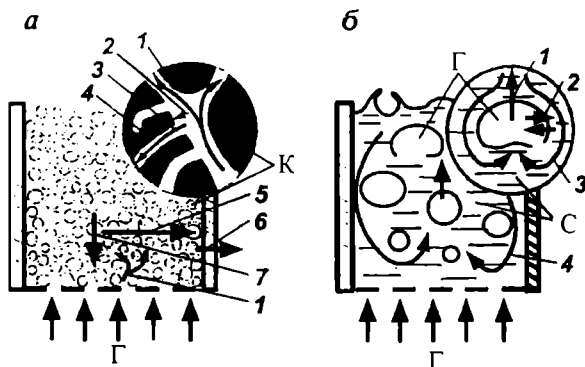
Реакция ўтаётган реакторга бир неча қават катализатор солинган. Бу реакция зона 1 бўлиб, барча реакторларда мавжуд. Реакцион

аралашма ҳам ашёси юқориги штуцер орқали киритилади. Реакцион зона орқали газнинг бир хил ўтишини таъминлаш учун оқимни таркатгич ўрнатилган. Бу **киритиш мослама**



2.2-расм. Реакторнинг структуравий элементлари:

1 – реакция зона; 2 – реакция аралашманинг кириш мосламаси; 3 – аралаштиргич; 4 – иссиқлик аралаштиргич; 5 – чиқиш мосламаси; Сг – совуқ газ; Ит – иссиқлик ташитгич; Х ва Тм – тегишлича ҳам ашё ва тайёр маҳсулотлар.



2.3-расм. Кимёвий реакторда амалга оширилувчи каталитик (а) ва газ – суюклик (б) жараёнлари структураси.

си 2 дир. 2.1-расмдаги реактор 2 да газ таксимлагич бўлиб барботёр хизмат килади. Аралаштиргичга реагентни бир хил контактни таъминлашдек алоҳида талаб қўйилади. Биринчи (юкоридан) ва иккинчи қаватлар орасидаги **аралаштиргич** 3 (2.2-расм)да иккита оқим аралашади – биринчи қаватдан кейин ва қўшилувчи совуқ газ, иккинчи қаватдан кейин **иссиқлик алмаштиргич** 4 жойлаштирилган. Маҳсулотлар **чиқиш мосламаси** 5 дан чиқарилади. Оқимларни ажратиш мосламаларидан ҳам фойдаланиш мумкин.

Кириш, чиқиш, аралаштириш, ажратиш, оқимларни бўлиш мосламаларида ва иссиқлик алмаштиргичларда физик жараёнлар амалга ошади. Шу боис кейинги тадқиқотлар объекти сифатида асосан кимёвий жараёнлар ўтадиган зоналар олинади. Реакцион зонада ўтадиган жараён кўпгина алоҳида жараёнлардан ташкил топади, булар 2.3-расмда икки – каталитик ва газ-суюклик жараёнлари учун кўрсатилган.

2.3 а-расмда кимирлама қаватли катализатор ва унда борувчи жараёнлар кўрсатилган бўлиб, бу умумий жараённинг таркибий қисмидир. Реагентлар умумий оқими 1 конвектив бўлиб, катализатор доналари орасидан ўтади. Оқимдан реагентлар доналар (2) юзасига ва катализатор ғовакларига ва катализатор ғоваклари (3) га киради, булар ички юзасида реакция (4) амалга ошади. Маҳсулотлар тескари йўл билан оқимга туширилади. Ажралувчи иссиқлик қават (5) бўйлаб ва кейин қаватдан девор орқали хладагент (6) га ўтади.

Реакция бориши натижасида юзага келувчи концентрация ва температура градиентлари модда ва иссиқлик (7) оқимини юзага келтиради, бу реагентларнинг асосий конвектив ҳаракатига қўшимча бўлади.

2.3-расм (б) да ичидан газ барботирловчи суюқлик қаватидаги жараён кўрсатилган. Газ (1) пуфак сифатида ўтади. Газ билан суюқлик орасида масса ташиш (2) амалга ошади. Суюқлик жим турмайди – унинг ҳаракатини пуфак (3) олдида ва қават (4) бўйлаб циркуляциясида аниқлаш мумкин. Биринчи кўринишда турбулент диффузиядаги сингари концентрация градиентини, иккинчи ҳолат суюқликнинг реакцион зона бўйлаб циркуляцион конвектив ҳаракатини эслатади.

Реакцион зонада ўтувчи жараён мураккаб эканлигини шу икки мисол кўрсатиб турибди. Агар реакторлар схмаси ва конструкциялари кўплигини ҳисобга олсак, уларда ксчадиган жараёнларнинг қанчалик мураккаблигини кўз олдимизга келтиришимиз мумкин. Шу боис ҳам мана шу мураккабликни соддалаштириш, ҳодисалар ётиш қонуниятлари тизимини тузиш ва булар орасидаги боғлиқликни ҳал қилиш, бошқача қилиб айтганда кимёвий жараён ва реакторларнинг назариясини яратиш зарурати келиб чиқади.

2.1.2. Кимёвий жараёнлар ва реакторларни тадқиқ қилиш усулининг математик моделлаштирилиши

Моделлаш – моделда объектни кўрсатиш бўлиб, фан ва техниканинг турли соҳаларида қўлланилиб келади. Бунинг моҳияти объектнинг ўрнига унинг модели тадқиқ қилинишидир. Моделда олинган хоссалар моделлаштирилаётган объект хоссаларига ўтказилади.

Модель – ихтиёрий табиатли махсус жиҳатдан тадқиқ қилинаётганга қараганда бир мунча оддийлиги билан ажралган ҳолда объект ҳақида янги маълумотлар олишга имкон бериш тадқиқ қилинаётган объект ўрнида у ҳақда янги маълумотлар олишга имкон берсин.

Моделлашнинг маълум мисоли сифатида ҳавода учаётган самолётнинг суйрилигини, унинг моделини аэродинамик трубада ўтказилишини кўриб чикамиз. Мазкур ҳолатда самолёт модели

унинг ўхшаш геометрик нухасидир. Бунда факат самолёт корпусининг ҳаво оқимидаги суйрилиги моделлаштирилади (тадқиқ қилинади). Самолётнинг бошқа хоссалари, масалан, қулайлик ва пассажирларнинг креслодаги ҳавфсизлиги тадқиқ қилинмайди. Бундан кўринадики, моделлаш факат айрим ҳодисалар уни жараёнлар параметр (канотлар ва корпус конфигурацияси ёки кресло конфигурацияси ва ҳ.к.) ларини ҳисобга олган ҳолда амалга оширилади. Моделда ҳисобга олинувчи ҳодисаларни модел таркиблари деб аташ қабул қилинган.

Мақсадга эришиш учун модел хоссаларини ўрганаётганда унга таъсир этувчи омиллар объектнинг хоссаларига ҳам шундай таъсир этишига эришиш зарур бўлади. Модел тузишдаги илмий ва ижодий ёндашишнинг асоси ўрганилаётган хоссаларга таъсир этувчи ҳодисаларни кўра олишдир.

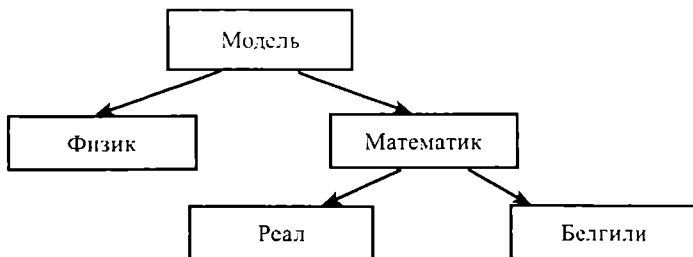
Ўрганилаётган хосса-хусусиятларга барча таркиблар ва параметрлар барабар таъсир этади, деб бўлмайди. Баъзи параметрларнинг ўзгариш ва у ёки бу таркибларнинг мавжудлиги бу хоссаларга унчалик сезиларли таъсир кўрсатмайди. Бундай таркиблар ва параметрлар бирмунча аҳамиятсиз бўлиб, моделда уларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Тегишлича, оддий модель факат айрим таркибларгагина эга бўлади. Шу боис оддий моделни ташқи кўриниши бўйича оддий деб бўлмайди (масалан, структураси бўйича мураккаб бўлмаган конструкция). Лекин агар таъсир этувчи барча таркиблар киритилмаса, у тўла бўлмаган ҳисобланади, уни тадқиқ қилиш натижалари объект хоссаларига тўғри келмаслиги мумкин.

Моделнинг объектнинг номаълум хоссаларини олдиндан айтиб бериши ва у ҳақда янги ахборот беришини белгилашга аҳамият бериш зарур бўлади. Бу, биринчидан, модель оддий бўлиб, уни тадқиқ қилиш, ўрганиш мумкин бўлган тақдирда ва иккинчидан, ўрганилаётган хоссаларнинг очилишига имкон бергандагина амалга ошуви мумкин.

Моделлаш дастлаб илмий фикрни аниқлаш учун аэро- ва гидродинамикада қўлланилди. Ўхшашлик назариясидан фойдаланиб, кичик ускуналар (моделлар)да олинган экспериментал натижаларни катта масштабдаги реал объектларга кўчириш амалга оширил-

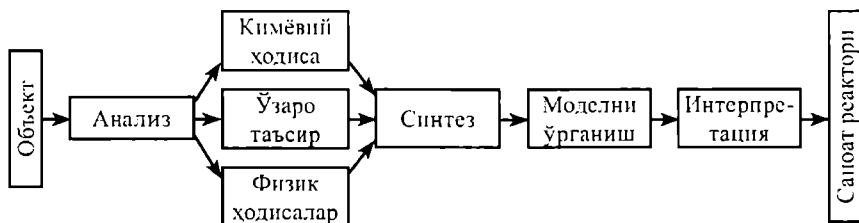
ди. Бундай кузатувлар асоси сифатида **физик моделлаш** хизмат қилади, бунда модел ва объект табиати бир хил бўлади. Физик моделлаш ва ўхшашлик назарияси кимёвий технологиянинг иссиқлик ва диффузион жараёнларида қўлланила бошлади. Лекин унинг бу соҳадаги қўлланилиши физик ва кимёвий таркибларнинг бири-бирига мос келмай қолиши туфайли кенг ривож топмади. Масалан, реагентларнинг бошқа маҳсулотларга айланиш даражаси уларнинг реакторда бўлиш вақти билан боғлиқ бўлса (бу оқим тезлиги билан реактор катталиги нисбатидан олинади), иссиқлик билан масса кўчиши Рейнольдс критерийси бўлган реактор ўлчамининг оқим тезлиги кўпайтмаси билан ўлчанади. Турли катталиқдаги аппаратларда нисбат билан икки катталик кўпайтмаларини бир хил қилиш мумкин бўлмайди. Кичик аппаратда ажралаётган иссиқлик осон йўқолади ва модда айланишига унчалик таъсир қилмайди. Катта аппаратларда ажралувчи иссиқлик унинг ичида «беркиниб» олади, натижада ҳароратга, реакция тезлиги ва бошқа омилларга таъсир қилади. Демак, физик таркибларнинг реакцион жараёнга таъсири катта аппаратларда сезиларли аҳамиятга эгадир.

Реакцион жараёнларда масштабни ўтишлардаги қийинчилик **математик моделлашдан** фойдаланиб амалга оширилади, бунда модель билан объект турли физик табиатга, аммо бир хил хоссаларга эга бўлишади. Мослама учун механик маятник билан ёпик электрик контурдан иборат конденсатор ва индуктивлик ғалтаги турли физик табиатга эга, лекин механик тебраниш ва электрик хоссалари тегишлича бир хил бўлади. Бу мосламалар учун шундай параметрлар танлаш мумкинки, унда частота бўйича тебраниш бир хил бўлади. Бунда электрик тебраниш контури маятник модели ҳисобланади. Бунда иккала мослама хоссаси – тебранишлар – шу ва шунга ўхшаш тенгламалар билан ифодаланади. Бундан моделлаш номи – математик моделлаш келиб чиққан. Мазкур ҳолатда тебраниш тенгламаси механик маятникнинг ҳам, электрик контурнинг ҳам математик моделидир. Математик моделлар тегишлича қандайдир физик мослама сифатида **реал**, математик тенгламалар сифатида **белгиланган** бўлинади. Моделлар классификацияси 2.4-расмда келтирилган.



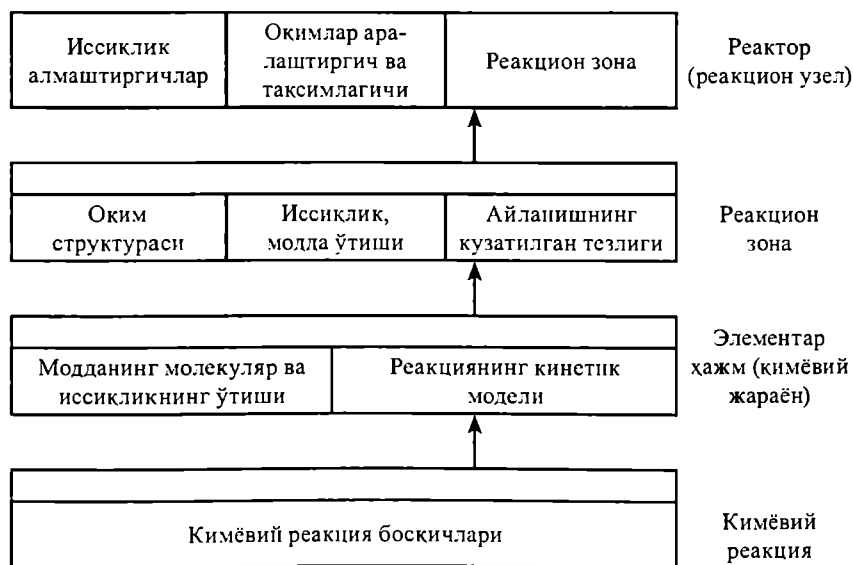
2.4-расм. Моделлар классификацияси.

Реал математик моделни тузиш учун, табиийки, аввало белгилини тузиш керак бўлади. Шу боис, кондага биноан, математик моделлашни фақат объектни ифодаловчи тенгламага ўхшатишади, бошқача айтганда белгили математик моделга тенглаштирадilar: бу тенгламалар хоссасини тадқиқ қилишни математик моделлаш деб атайдилар. Электрон ҳисоблаш машинаси (ЭХМ) универсал реал математик моделдир. Объектни ифодаловчи тенгламалар бўйича ЭХМни «тузишади» (программалаштирилади) ва унинг «хулқи» мана шу тенгламалар билан ифодаланади. Модомики, реакция жараёнга физик ва кимёвий таркиблар таъсири масштаб билан боғлиқ экан, уларни ажратиш кимёвий жараён ва реакторларни математик моделлашдаги энг муҳим босқичлардан ҳисобланади. Реакторларни математик моделлашнинг умумий схемаси 2.5-расмда кўрсатилган. Масъул босқич кимёвий реакторда амалга ошувчи жараённинг таҳлили ҳисобланади; таҳлил жараён таркиблари ва уларнинг ўзаро таъсир доираларини очиб беради. Кейин уларнинг кимёвий айланишларининг кинетик ва термодинамик қонуниятлари, масса кўчиш ҳодисалари ва бошқалар аниқланади. Мазкур босқичда экспериментал тадқиқотлар маълумотлари ишлатилади. Математик моделлаш тажрибадан воз кечмайди, балки ундан фаол фойдаланади, аммо тажриба прецизион, реактордаги тажрибадан аниқроқлиги билан ажралади. Таҳлил натижалари жараён ва унинг таркибини жараён математик модели – уни ифодаловчи тенглама сифатида беради. Бунда ҳисоблаш тажрибаси ўтказилади. Моделнинг олинган хоссалари ўрганилаётган объект хоссалари сифатида интерпретацияланади (мазкур ҳолатда кимёвий реактор учун).



2.5-расм. Реакторлар ва кимёвий жараёнларни математик моделлаш схемаси.

Мураккаб жараёнларда ажратилган таркиблар (декомпозиция) инвариантлик шартига мослашиши зарур, бунда масштабга нисбатан олинган тенгламалар математик модели параметрлари ва чегара шароитлари таъсири ҳисобга олинади. Модел тузишда иерархик йўлдан фойдаланилганда инвариантлик талаби кондирилади. Бунинг учун жараён декомпозицияси нафакат таркиблар бўйича, балки масштаб бўйича ҳам ўтказилади. Реакторлардаги жараёнлар математик моделларнинг ўзига хослиги, уларнинг иерархик тузилишидир. Бу 2.6-расмдан кўринади.



2.6-расм. Кимёвий реактордаги жараён математик моделининг иерархик структураси.

Элементар боскичлардан иборат кимёвий реакция молекуляр масштабда ўтади. Унинг хоссалари (масалан, тезлик) реактор масштабига боғлиқ бўлмайди, яъни реакция тезлиги шароитлар қандай яратилганлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда фақат ўтиш шароитига мос равишда ўтаверади. Тадқиқотларнинг бу даражадаги натижаси кинетик модель – реакция тезлигининг шароитига боғлиқлиги бўлади.

Ксйинги масштабли даража кимёвий жараён бўлиб, у реакция ва кўчиш ҳодисалари бўлган, диффузия, иссиқлик ўтказиш ва бошқаларнинг йиғиндисини ўз ичига олади. Реакциянинг кинетик модели таркиб сифатида олинади. Кимёвий жараён ўтаётган ҳажм шундай танланадики, унда жараён қонуниятлари реактор катта-кичиклигига боғлиқ бўлмайди. Масалан, бу катализатор доналари бўлиши мумкин. Модданинг айланиш тезлиги унда дона катта-кичиклиги ва характеристикасига ҳамда шароитга боғлиқ бўлиб (концентрация ва температура), шароитлар қандай қилиб яратилганига боғлиқ бўлмайди. Кимёвий жараён модели кейинги масштабли даражада – реакцияон зонага таркибнинг бири сифатида қиради. Бошқа таркиблар – кўчиш ҳодисалари шундай масштабда олинади. Реактор масштабида таркиб сифатида реакцияон зона, ўрин олиш узеллари, иссиқлик алмашилиш ва ҳ.к. киритилади. Шундай қилиб, реактордаги жараён модели математик моделларнинг турли масштабли тизими билан белгиланади.

Жараённинг реактордаги математик модели иерархик структураси қуйидагиларни амалга оширишга имкон беради:

- турли масштабдаги асосий жараёнларни мукамал текшириб, жараён хоссаларини тўла ифодалаш;
- мураккаб жараёнларни қисмлар бўйича ўрганиб, уларнинг ҳар бири учун алоҳида, прецизион усулларни қўллаган ҳолда, натижалар аниқлиги ва ишончлилигига эришилади;
- алоҳида қисмлар орасидаги боғланишларни аниқлаш ва реактор ишлашида улар ролини топиш;
- жараённи юқори даражада ўрганишга ёрдам беради, чунки жараён қуйи даражада ўрганиш орқали юқорирок даражада ахборот олиш;
- масштабли ўтиш масалаларини ҳал этиш.

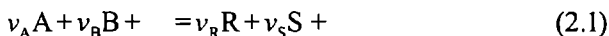
Кимёвий реакторда жараённи ўрганишнинг юқорида айtilган математик моделлаш усулига тўхталамиз.

2.2. КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАРНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ АСОСЛАРИ

2.2.1. Кимёвий ўзгаришлар стехиометрияси

Стехиометрик тенгламалар. Моддалар маълум нисбатларда таъсирлашади, бу кимёвий тенгламаларда ўз ифодасини топади. Булардан реакция ўтаётганда таъсирлашувчи аралашма таркиби ўзгариши аниқланади.

Стехиометрик тенгламалар моддалар қандай нисбатларда бирикишини кўрсатади. Стехиометрик тенгламалар умумий кўриниши:



бу ерда $A, B, \dots$ – дастлабки моддалар; $R, S, \dots$ – маҳсулотлар; $\nu_A, \nu_B, \dots, \nu_R, \nu_S$ – стехиометрик коэффициентлар.

Стехиометрик тенгламада кимёвий элементлар баланси сақланади. Ҳар бир элементнинг дастлабки модда ва маҳсулотлардаги микдори ўзаро тенг бўлади. Шу боис стехиометрик тенгламаларни алгебраик деб ҳисоблаб, қуйидагича ёзиш мумкин бўлади:

$$\sum_i \nu_i A_i = 0, \quad (2.2)$$

бу ерда A_i – моддалар номи ($A_i = A, B, R, S, \dots$ 2.1 тенгламадаги); ν_i – стехиометрик коэффициент (1-модданики).

(2.2) формулада сарфланадиган хом ашё моддалари учун $\nu_i < 0$ деб; ҳосил бўлувчи маҳсулотлар учун эса $\nu_i > 0$ деб қабул қилинади.

(2.2) тенгламага ν , нолга тенг бўлган ($\nu_i = 0$) модда-инерт (ўзгаришда иштирок этмовчи)ни киритиш мумкин.

Стехиометрик тенглама моҳиятидан қуйидагини ёзиш мумкин:

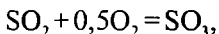
$$(N_1 - N_0)/\nu_1 = (N_2 - N_{20})/\nu_2 = \dots (N_i - N_{i0})/\nu_i = \text{const}, \quad (2.3)$$

бу ерда $N_{10}, N_{20}, \dots, N_{i0}$ – компонентларнинг дастлабки микдорлари; $N_1, N_2, \dots, N_i$ – компонентларнинг айланишдан кейинги микдорлари; $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_i$ – тегишлича стехиометрик коэффициентлар.

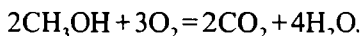
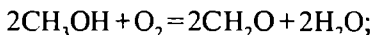
Стехиометрик тенгламалар фақат таъсирлашувчи моддалар микдорининг исбатини кўрсатишини, лекин хакикий ўзаро таъсирларни ифодаласлигини эслатиб ўтамыз.

Оддий ва мураккаб айланишлар. Агар айланишлар бир неча йўналишларда бораётган бўлса, (2.1) ва (2.2) каби стехиометрик тенгламалар бир неча бўлиши мумкин. *Оддий реакция* битта, мураккаб реакция эса бир неча стехиометрик тенгламалар билан ифодаланади.

Олтингургурт диоксиднинг оксидланиши оддий реакция мисоли бўла олади:

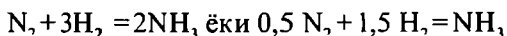


мураккабникига метанолнинг формальдегидгача оксидланишини кўрсатса бўлади:

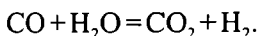
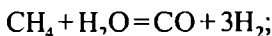


Бу ерда оддий ёки мураккаб реакция айланишнинг йўналишлари бўйича аникланади (ёки айланиш схемаси дэйтиш мумкин). Механизмнинг ўтиши бўйича ҳам реакциялар оддий ёки мураккаб бўлиши мумкин. Бу жиҳатдан SO_2 нинг оксидланиши – кўп босқичли реакция механизми бўйича мураккаб ҳисобланади.

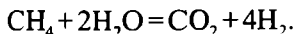
Стехиометрик тенгламалар сони. Стехиометрик тенгламалар бир неча усулларда ифодаланиши мумкин. Аммиак синтези реакцияси қуйидаги стехиометрик тенглама билан ёзилади:



Метаннинг буғдаги конверсияси икки босқичда ўтади:



Қуйидаги стехиометрик тенгламани ҳам ёзиш мумкин:



Тенгламалар сони моддалар сонидан қўплиги маълум. Шу боис тенгламалар мажмуаси аниқ бўлиши талаб этилади.

Айтайлик, ўзгаришларда В моддалар иштирок этапти, улар сонини ўзгаришлардан сўнг аниқлаш лозим бўлади. Бунинг учун В

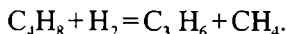
га тенг тенгламалар керак бўлади. Лекин моддалар Эга тенг кимёвий элементлардан ташкил топади, ҳар бир тенгламада элементлар баланси сақланади. Шу боис таъсирлашган моддалар таркибини аниқлашда қуйидаги микдордаги тенгламалар керак бўлади:

$$Y = B - (Э - 1) \quad (2.4)$$

Оксидланиш – кайтарилиш реакцияларида нафақат ҳар бир элемент бўйича, балки электронлар бўйича ҳам баланс сақланади. Бу ҳолда ҳар бир элемент бўйича балансга реакцияда иштирок этувчи модда зарядларини ҳам қўшиш керак бўлади, шунда тенгламалар қуйидаги микдорда бўлиши керак:

$$Y = B - Э \quad (2.5)$$

Ўрин алмашилиш реакциялари учун бўлган (2.4) тенглама ва оксидланиш-кайтарилиш реакцияси учун бўлган (2.5) тенглама стехиометрик тенгламалар сонини билдиради, булар таъсирлашган аралашмаларни ҳисоблашга имкон беради. Шундай бўлса, бу тенгламалардан эҳтиётроқ бўлиб фойдаланиш таклиф этилади. Буни қуйидаги гидродеалкиллаш реакциясида кўрамиз:



Ушбу реакция битта тенгламада ифодаланган, (2.5) тенгламадан тенгламалар иккита бўлиши кўринади (4 та модда ва 2 та элемент бор). Буни қуйидаги билан боғланганлигини тушунтирамиз. Бутилен ва пропилен $H_2C=CH-CH_2=CH_2$ ва $H_2C=CH-CH_3$ ни тсгиш-лича структура формуллари билан кўрсатамиз. $H_2C=CH-$ гуруҳи иккала моддада сақланаяпти ва С билан Н дан бошқа учинчи элемент ролини ўйнааяпти (бутилендаги – CH_2- ва CH_3- гуруҳлар сақланмаяпти: биринчиси пропиленнинг CH_2- гуруҳига, иккинчиси CH_3 га айланаяпти). Шу боис $Э = 3$ деб қабул қилиб, (2.5) формуладан $Y = 1$ дсб оламиз. (2.4) ва (2.5)ларни стехиометрик жиҳатдан мустақил бўлган тенгламаларни топишга қўллаб, нафақат Эга кимёвий элементларни, балки барқарор гуруҳларни ҳам қўшиш керак бўлади.

Стехиометрик мустақил тенгламалар. Тенгламага кирувчи алгебраик тенгламалар системаси чизикли боғлиқликка эга бўлмаган ҳолларида счимга эга бўладилар, яъни уларнинг бирортасини ҳам

бошқаларини чизикли комбинациялаш орқали олиб бўлмайди. Кимёвий тенгламалар системасига бу конданн қўллаб айтиши мумкин: стехиометрик мустакил тенгламаларни қўллаб, таъсирлашаётган аралашма таркибини аниқласа бўлади, бошқача қилиб айтганда, уларнинг бирортасини бошқа тенгламаларни чизикли комбинациялаш орқали олиб бўлмайди.

Танланган тенгламалар системасида стехиометрик боғлиқлик мавжудлигини билиш учун моҳияти қуйидагича алгоритмдан фойдаланиш мумкин. n та моддалар бўлган $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ лар таъсирлашади. Уларнинг ўзаро таъсири (2.2) бўйича t та тенгламалар билан ифодаланади, уларни матрица шаклида кўрсатамиз:

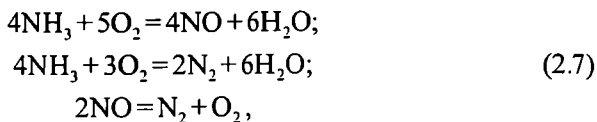
$$\begin{matrix} & v_{n1} & & A_1 \\ v_{32} \dots\dots\dots & & & A_2 \\ v_{33} \dots\dots\dots & v_{n3} & \times & A_3 \\ & & & \vdots \\ & v_{nm} & & A_n \end{matrix} = 0.$$

Бу ерда Уу-р-сонли стехиометрик тенгламадаги биринчи модданинг стехиометрик коэффициентини. Агар бирор модда тенгламалардан бирига кирмаса, унда тегишлича бўлади. Коэффициентлар матрицаси қуйидаги кўринишга келтирилади:

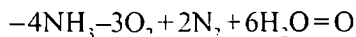
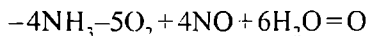
$$\left| \begin{array}{cccc} 1 & \alpha_{21} & \alpha_{31} & \dots\dots\dots \alpha_{n1} \\ 0 & 1 & \alpha_{32} & \dots\dots\dots \alpha_{n2} \\ 0 & 0 & & \alpha_{n3} \\ 0 & 0 & \dots\dots\dots 1 \dots\dots\dots & \\ 0 & 0 & & \alpha_{nm} \end{array} \right| \quad (2.6)$$

бунда матрица элементларини юқорида кўрсатилгандек уч бурчак ва диагональ бўйича бирламчи элементлар сифатида ажратилади. Алгебрада маълум бўлган бу бажариладиган ишни қуйидаги оддий мисолда намоиш қиламиз.

Аммиакнинг оксидланишини тенгламаларда ифодалаймиз.



ёкин алгебраик кўринишда:



Тенгламалар шундай ёзилганки, устунларда бир хил моддалар ифодаланди. Стехиометрик коэффициентлар матрица кўринишида берилди (2.8 а).

$$\begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccccc} -4 & -5 & 4 & 0 & 6 \\ -4 & -3 & 0 & 2 & 6 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{ccccc} 1 & 1,25 & -1 & 0 & -1,5 \\ 1 & 0,75 & 0 & 0,5 & 1,5 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{ccccc} 1 & 1,25 & -1 & 0 & -1,5 \\ 0 & -0,5 & 1 & -0,5 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \end{array} \right] \quad (2.8) \\ \text{а} \qquad \qquad \qquad \text{б} \qquad \qquad \qquad \text{в} \end{array}$$

Матрицанинг нолли элементлари мазкур тенгламага кирмайдиган моддаларга тегшилидир.

Биринчи устун элементларини бирламчи қилиб оламиз, бунинг учун ҳар қаторнинг барча элементларини ундаги биринчи элемент қийматига бўламиз. Кейин биринчи қатордагидан бошқа қаторнинг биринчи элементларини ноллик қилиб оламиз.

Бунинг учун иккинчи қатордан бошлаб ҳар бир қатордан биринчини айирамиз (учинчи қатор учун бундай қилишнинг аҳамияти йўқ). Матрица (2.8 б) кўринишга эга бўлади.

Бу икки ишни (2.8 в) матрицанинг пунктир билан ажратилган бир қисми учун қайтарамиз, унинг биринчи элементларини бирламчи деб қабул қиламиз. (2.8' г), ундан кейин учинчи қаторнинг иккинчи элементини ноллик қиламиз (2.8' д):

$$\begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccccc} 1 & 1,25 & -1 & -1,5 \\ 0 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 0 \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{ccccc} 1 & 1,25 & -1 & 0 & -1,5 \\ 0 & 1 & 0,5 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \quad (2.8') \\ \text{г} \qquad \qquad \qquad \text{д} \end{array}$$

Учинчи қатор нолликка айланди. Мазкур тенглама стехиометрик боғлиқдир. Бу тенгламаларнинг дастлабки системаси (2.7) дан маълум эди, яъни учинчи тенглама комбинациясидан олинади. Биринчи тенгламани $-0,5$ га, иккинчисини $+0,5$ га кўпайтирамиз ва қўшамиз $-$ учинчи тенглама чиқади.

Айланиш даражаси. (2.3) тенгламадаги нисбат барча реагентларнинг ўзаро микдорлари N_i ни боғлайди. Барча реагентлар концентрацияси билан микдорларини белгиловчи кўрсаткич киритиш мақсадга мувофиқлиги кўринади, албатта. Бундай кўрсаткич бўлиб қандайдир дастлабки модданинг айланиш даражаси x хизмат қилади, у модданинг қандай қисми ўзгарганлигини билдиради. Масалан, бу кўрсаткич A моддаси учун тенг бўлади:

$$x_A = (N_{A0} - N_A) / N_{A0}. \quad (2.9)$$

(2.3) ва (2.9) тенгламалардан фойдаланиб таъсирлашаётган аралашмадаги ихтиёрий модданинг микдорини аниқлаш мумкин бўлади:

$$N_i = N_{i0} - (v_i / v_A) N_{A0} x_A. \quad (2.10)$$

Айланиш даражаси ихтиёрий хом ашё (дастлабки модда) учун аниқланиши мумкин бўлиб, буни $x_B = (N_{B0} - N_B) / N_{B0}$ мисолида бажариш мумкин. (2.3) тенгламадан ва x_A ва x_B ларга тегишли маълумотлардан фойдаланган ҳолда ёзишимиз мумкин.

$$x_B = x_A \frac{v_A N_{A0}}{v_B N_{B0}}. \quad (2.11)$$

Агар дастлабки реакция аралашма нозквимоляр таркибга эга бўлса, унда реакция аралашманинг таркибини стишмаётган модданинг айланиш даражаси билан ифодалаш қулай бўлади. У *таянч компонент* дейилади. Таянч компонент тўла айланиб бўлганда ҳам бошқа дастлабки моддалар қолган бўлади.

Агар A компонент бир неча реакцияда иштирок этаётган бўлса, унда унинг реакциядаги айланиш даражаси x_{Aj} ни топамиз; (2.10) тенглама куйидаги кўринишга ўтади:

$$N_i = N_{i0} - \frac{\sum v_{ij}}{v_{Aj}} N_{A0} x_{Aj}. \quad (2.12)$$

Реакцион аралашмадаги компонентлар концентрацияси. Реакцион аралашмадаги компонентлар концентрацияси

$$C_i = N_i / \sum_i N_i$$

Реакцион аралашманинг умумий микдорини (2.10) тенглама маълумотлари йиғиндисидан топамиз:

$$\sum_i N_i = \sum N_{i0} - x_A \sum_i (v_i/v_A). \quad (2.13)$$

$\sum_i v_i = \Delta v$ катталиги – реакцияда моллар сонининг ўзгаришидир. C_i ни топишда қўлланилганидек бошланғич концентрация $C_{i0} = N_{i0} / \sum_i N_{i0}$ ва (2.13) тенгламадан фойдаланиб, қуйидаги катталикни аниқлаймиз:

$$C_i = \frac{C_{i0} - (v_i/v_A) C_{A0} x_A}{1 - (\Delta v/v_A) C_{A0} x_A} \quad (2.14)$$

(2.14) тенгламанинг сурати моддалар айланиши орқасида концентрация ўзгаришини, маҳраж эса реакцион аралашманинг ҳажми ўзгаришини белгилайди. Аммиак синтези реакцияси учун

$$C_1 = \frac{C_{10}(1-x)}{1-2C_{10}x}; \quad C_2 = \frac{C_{20}-3C_{10}x}{1-2C_{10}x}; \quad C_3 = \frac{C_{30}+2C_{10}x}{1-2C_{10}x}, \quad (2.15)$$

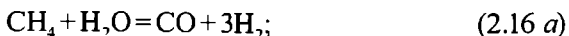
бу ерда C_1, C_2, C_3 – N_2, H_2, NH_3 лар концентрациялари; C_{10}, C_{20}, C_{30} – мазкур компонентларнинг дастлабки концентрациялари; x – N_2 нинг айланиш даражаси.

(2.15) тенгламанинг маҳражи бирдан кичик ва концентрация, масалан, аммиакники реакцион аралашманинг ҳажми камайиши ҳисобига ортгандек туюлади ($\Delta v = -2$).

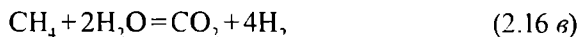
Мураккаб реакциянинг ҳар бири учун қандайдир дастлабки модданинг айланиш даражасини киритиш мумкин. Бир модданинг ўзи, айниқса, таянч модданинг ўзи кирган тенгламаларга эга бўлиши қулайдир. Унда айланиш даражаси (2.12) тенгламани қўллаб реакцион аралашма таркибини аниқлаш соддалашади.

Лекин стехиометрик тенгламалар мажмуаси доимо шундай бўлавермайди. Чизикли қайта ўзгартишлар хоҳишдаги тенгламаларни олишга имкон беради.

Метаннинг сув буғи билан конверсияси қуйидаги тенгламалар билан ифодаланади:



Таянч компонент ҳисобланган метан стишмайди, унинг айла-ниш даражасидан биринчи тенгламада фойдаланиш бу борада қўй-келади. Иккинчи тенгламада таянч компонент СО ҳисобланади, ле-кин унинг бошланғич концентрацияси нолга тенглиги сабабли уни қўшиб, реакция тенгласини ёзганимизда



метаннинг икки йўналишдаги айланишини ифодаловчи (2.16 а) ва (2.16 в) каби тенгламалар мажмуасини беради. Мстаннинг шу икки тенгламалар бўйича айланиш даражалари X_1 ва X_2 ларни аниқлаймиз. Дастлабки аралашма метан билан сувнинг 10 ва 20 мо-лини саклайди. Таъсирланувчи аралашмада CH_4 , H_2O , H_2 , CO , (1, 2 тегишлича) миқдори:

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{10} - N_{10}(x_1 + x_2); \quad N_4 = N_{10}x_1; \\ N_2 &= N_{20} - N_{10}x_1 - 2N_{10}x_2; \quad N_5 = N_{10}x_2 \\ N_3 &= 3N_{10}x_1 + 4N_{10}x_2; \end{aligned}$$

Кейин барча N_i ларни қўшиб, умумий моллар сони $\sum_i N_i$ ни то-памиз, $C_i = N_i / \sum_i N_i$ эса ҳар бир компонент концентрациясидир.

Жараён селективлиги ва маҳсулот чиқиши. Мураккаб реак-цияда дастлабки модда айланиши турли йўналишларда боради. Хоҳишдаги маҳсулот барча реакцияларда ҳам ҳосил бўлавермайди, шу боис мураккаб реакцияларда айланиш даражасидан ташқари жараённинг қуйидаги омиллари ҳисобга олинади.

Жараён селективлиги дастлабки модданинг қанча қисми мақсадли бирикмага айланганлигини кўрсатиши билан характерланади. Даст-лабки модда А айланиши бир неча тенгламада ифодаланган бўлсин дейлик. Маҳсулот ҳосил бўлиши битта тенгламада ифодаланган. А ва R учун стехиометрик коэффициентлар – v_A ва v_R шу тенглама учун деб олинади. А ва R нинг айланиш селективлиги аниқланади:

$$S_R = \frac{v_A (N_R - N_{R0})}{v_R (N_A - N_{A0})}. \quad (2.17)$$

Маҳсулот чиқиши бор модданинг қанча қисми мақсадли маҳсулотга айланганлигини билдиради. Юқорида келтирил-

ган ифодалардан фойдаланиб, R маҳсулотнинг чиқиши E_R ни аниқлаймиз

$$E_R = v_A(N_R - N_{R0}) / (-v_R N_{A0}) \quad (2.18)$$

Айланиш даражаси моҳиятини (2.9) ва (2.17)-(2.18) ифодаларидан топамиз

$$E_R = S_R x_A. \quad (2.19)$$

Оддий реакция учун $S_R = 1$ ва $E_R = x_A$ га тенг бўлади.

Жараён селективлиги ва маҳсулот чиқиши керакли маҳсулот олишда кимёвий жараённинг хом ашёни ишлатиш самарадорлигини характерлайдиган кўрсаткичдир.

2.2.2. Кимёвий айланишлар термодинамикаси

Реакциянинг йўналувчанлиги. Агар кимёвий реакция кимёвий потенциалнинг камайиши билан борса, у принципиал амалга ошади, бу изобар потенциал, яъни Гиббс энергияси бўлиб, реакциянинг ўтиш имкони қуйидаги тенгсизлик билан ифодаланади:

$$\Delta G_{p,T} < 0, \quad (2.20)$$

бу ерда $\Delta G_{p,T}$ – дастлабки модданинг маҳсулотга айланишидаги Гиббс энергияси ўзгариши.

$\Delta G_{p,T}$ ни ҳисоблаш учун қуйидаги маълумотлар ва нисбатлардан фойдаланилади. Стандарт Гиббс энергияси катталиги (ΔG_{298}) = х.б. термодинамика маълумотларида келтирилади (298 Кда). Реакция учун

$$\Delta G_{298}^0 = \sum_i v_i (\Delta G_{298}^0)_i \text{ х.б.} \quad (2.21)$$

Гиббс энергиясининг температура билан боғлиқлиги:

$$\Delta G_T^0 = H_T^0 - T\Delta S, \quad (2.22)$$

бу ерда ΔH_T^0 , ΔS – энтальпия ва энтропия ўзгаришлари бўлиб, (2.21) формулага ўхшаш ҳисобланади.

Гиббс энергиясининг реакция аралашма таркиби билан боғлиқлиги (газлар аралашмаси учун):

$$\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln \prod p_i^{v_i}, \quad (2.23)$$

бу ерда P – қўпайтма белгиси; p_i – компонентлар парциал босими.

(2.20) тенгсизлик жараёнда керакли махсулотни олиш имкони борлигини аниқлашга ёрдам беради, ншлаб чиқаришнинг янги усулини яратишни шундан бошлайдилар.

(2.20) тенгсизликнинг ишлатилишп иккиламчи нохуш махсулотлар ҳосил бўлишининг олдини олувчи шароитларни топишдир. Қуйидаги мисолни келтирамиз. Метанни сув буғи билан конверсиясида курум ҳосил бўлиши мумкин. Бўлиши мумкин реакциялардан бири:



(2.21) ва (2.22) тенгламалардан мазкур реакция учун аниқланди:

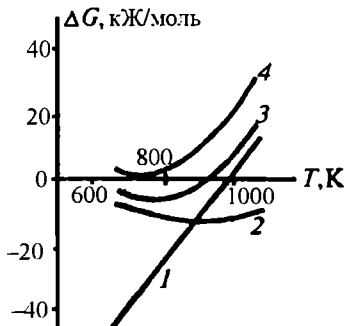
$$\Delta G_T^0 = -132 + 0,133 T \text{ (кЖ/моль)}$$

Саноат реакторида метан конверсияси мувозанат якинида амалга ошади. Буг: метан=2:1 нисбатда олинган дастлабки аралашмада курум (улгерод) ҳосил бўлишига олиб келувчи компонентларнинг тегишлича миқдори қуйидагичадир: $C_{\text{CO}}=0,071$, $C_{\text{H}_2}=0,53$, $C_{\text{H}_2\text{O}}=0,24$. Бундай маълумотларни бошқа температура ва дастлабки таркибларга олиш мумкин ва улар учун $\Delta G_{p,T}$ ни (2.23) формула билан ҳисоблаш мумкин. Натижалар 2.7-расмда келтирилгандир.

Буг: газ=1 л бўлган дастлабки таркибда бутун температура интервалида $\Delta G_{p,T} > 0$ ва шу боис курумни ажратиш мумкин. Бошланғич аралашма буг: газ=2:1 учун реактор» қисмида (900 К дан пастроқ температурада) курум ҳосил бўлиши мумкин. Ва фақат сув буғининг тўрт қаррали мўллигида курум ҳосил бўлмайди ($\Delta C_{p,T} > 0$). Реакция ўтишининг термодинамик мумкинлиги ҳали реакциянинг албатта ўтишини билдирмайди. Бу реакция тезлигига боғлиқ. Лекин асосий омил – шароитларгина буни тақозо этса, шундагина реакция амалга ошмайди.

2.7-расм.

Метан конверсияси (1) да температура T нинг Гиббс энергияси ΔG ва метан конверторидаги метаннинг дастлабки буг: газ=1 л (2), 2:1 (3) ва 4:1 (4) нисбатининг боғлиқлиги.



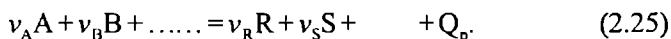
Реакциянинг иссиқлик эффекти. *Иссиқлик эффекти* Q_p ёки реакцияда энтальпиянинг ўзгариши ΔH технологик тадқиқотларда муҳим ўрин тутадиган термодинамик катталиқ ҳисобланади. Булар белгиси жихатидан бир-бирига тескаридир: $Q_p = -\Delta H$. Энтальпия ўзгариши реакцияда иштирок этаётган моддалар энтальпияси орқали ҳисобланади ёки уларнинг белгисига қараб реакциялар иккига ажратилади:

$\Delta H < 0$; $Q_p > 0$ экзотермик реакция;

$\Delta H > 0$; $Q_p < 0$ эндотермик реакция.

Бундан буён Q_p катталиқни моҳият мазмунига қараб ишлатиш мақсадлидир. Агар реакция экзотермик бўлса, унда иссиқлик ажралади ва $Q_p > 0$ бўлади.

Реакциянинг иссиқлик эффекти ёзилганда термохимёвий тенгламага киритилади:



(2.25) тенгламадаги Q_p катталиқ химёвий тенгламадаги ёзувга боғлиқ бўлади. Масалан, Q_p қийматлари $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ ва $0,5 N_2 + 1,5H_2 = NH_3$ тенгламаларидаги катталиғи икки баравар фарқланади, бу стехиометрик коэффициентлар фарқланишига ўхшайди. Маълумотномаларда Q_p тўғридан-тўғри тенгламаларда кўрсатилаверади (2.25), тенгламадаги сингари ёки 1 моль модда ўзгаришидаги энтальпия ўзгариши билан белгилаб қўйилади.

Реакциянинг иссиқлик эффекти технологик жараёнлардаги иссиқлик ҳодисаларини аниқлаш учун зарурдир. Ажраган (ёки ютилган) иссиқлик миқдори қандайдир модда ёки маҳсулотга айланган миқдорига боғлиқ бўлади. Агар (2.25) тенгламада ёзилгандек бўлса, унда

$$q = Q_p \Delta N_A / \nu_A$$

Мувозанат. Химёвий технологиядаги дастлабки ҳисоблардан бири термодинамик жихатлар бўлди. Бунда химёвий таъсирлашаётган системалар мувозанати ҳисобга олинмайди: бу ҳануз долзарб масалалардан бири бўлиб қолмоқда.

Аралашманинг мувозанатдаги таркиби. Таъсирлашаётган модда (2.1) тенгламага мувофиқ мувозанат константаси K билан боғлиқдир:

$$K_M = \left(\frac{C_R^{\text{R}} C_S^{\text{S}}}{C_A^{\text{A}} C_B^{\text{B}}} \right)_M = \prod (C_i^{v_i})_M, \quad (2.26)$$

бу ерда v_i – (2.1) тенгламадаги стехиометрик коэффициентлар.

(2.26) тенгламадаги C_i концентрациялар мувозанатда деб олинади. Агар таъсирлашаётган аралашма бир неча стехиометрик тенгламаларда ифодаланса (мураккаб реакция), унда бундай аралашмадаги мувозанат (2.26) даги сингари шунча сондаги тенглама билан ёзилади.

Мувозанат константаси K_M -термодинамик функция бўлиб, у фақат температурага боғлиқ бўлади.

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \Delta S_T = -RT \ln K_M; \quad (2.27)$$

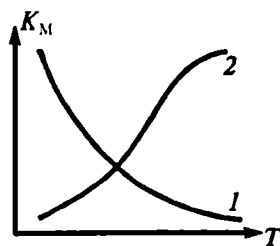
Агар реакция аралашма идеал бўлса (юқори бўлмаган босим ва температура, суолтирилган эритмалар), унда S_T нинг маълумотлардаги катталигидан фойдаланиб, K_M ни (2.27) тенгламадан ҳисоблаб топиш мумкин бўлади. Кўпгина ҳол аралашмалар идеал ҳисобланмайди ва K_M ни ҳисоблашда қуйидаги кўринишга эга формулалардан:

$$K_M = K_{M0} e^{-\Delta H/RT} = K_{M0} e^{Q_M/RT} \quad (2.28)$$

ёки бошқа мураккаб омилардан, шу жумладан, босимдан ҳам фойдаланилади. (2.27) ва (2.28) тенгламалардан эндотермик реакцияларда K_M температура ортиши билан кўпаяди ($Q_M < 0$) ва экзотермик реакциялар учун пасаяди ($Q_M > 0$) (2.8-расм).

Газ фазасида таъсирлашувчи аралашма учун (2.26) тенгламада p_i компонентларнинг мувозанатдаги парциал босимини қўллашди:

$$K_M = \prod (p_i^{v_i})_{\text{мув}} \quad (2.29)$$



2.8-расм. Температура T билан мувозанат константаси K_M нинг экзотермик (1) ва эндотермик (2) реакциялар учун ўзгариши.

Агар таъсирлашаётган системада қандайдир компонент қаттиқ ҳолда бўлса, унда унинг концентрацияси шу билан боғлиқлиги маълум бўлади. Бу доимий қатталиқни одатда мувозанат константасига киритишади. Бунда (2.29) ифодага факат газ ҳолатда бўлган компонентларнинг мувозанатдаги парциал босимлари киради. Юқорида кўрсатилган реакцияда $\text{CO} + \text{H}_2 = \text{C}_{\text{кат.}} + \text{H}_2\text{O}$ қаттиқ қурум $\text{C}_{\text{кат.}}$ ҳосил бўлади ва тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$K_M = \left(\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}} \right)_{\text{мув.}}$$

Шунга ўхшаш, реакция ўтишида факат газ ҳолатдаги компонентларнинг парциал босимидан (2.23) тенгламада Гиббс энергиясини ҳисоблаш учун фойдаланилди.

Мувозанатдаги таркибни ҳисоблаш. Таъсирлашаётган аралашмадаги барча компонентлар концентрациялари ўзаро стехиометрик тенглама билан боғлиқ бўлиб, уларни таянч компонентнинг дастлабки таркиб ва айланиш даражаси билан аниқлаш мумкин бўлади. Мувозанатда айланишнинг мувозанат даражаси x_M га эришилади, бу пайтда (2.26) ёки (2.29) қуйидаги кўришга эга бўлади.

$$K_M = f(x_M)$$

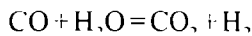
x_M ни аниқлаб, кейин барча компонентларнинг мувозанатдаги концентрациялари топилади.

1. Қуйидаги оддий қайтар реакция: $A = R$ ни мисол қилиб оламиз. А компонентнинг бошланғич концентрацияси C_{A0} бўлади, R компонент йўқ. Мувозанатда $C_{A\text{мув.}} = C_{A0}(1 - x_M)$ ва $C_{R\text{мув.}} = C_{A0} x_M$ бўлади. (2.26) тенгламадан топамиз:

$$K_M = \left(\frac{C_R}{C_A} \right)_{\text{мув.}} = \frac{1 - x_M}{x_M} \text{ ва } x_M = \frac{K_M}{1 + K_M}. \quad (2.30)$$

Экзотермик ва эндотермик реакциялар учун $K_M(T)$ боғланишни ҳисобга олиб (2.8-расмга қаранг), бу реакциялар учун $x_M(T)$ боғланишни чизиш мумкин (2.9-расм). x_M нинг температура билан ўзгариш характери исталган экзотермик ва эндотермик реакциялар учун тегишлича шундай бўлади.

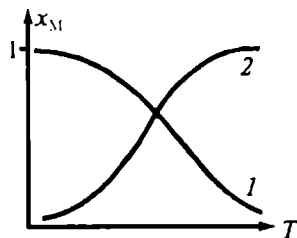
2. Иккинчи мисолни кўрайлик. Углерод моноксид CO сув буғи билан конверсия қилинапти:



Мазкур реакция учун

$$K_M = \left(\frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}}{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}}} \right)_{\text{мув.}}$$

бу срдa компонентлар парциал босими и $p_i = PC_i$;
 P – умумий босим.



CO , H_2O , CO_2 , H_2 ларнинг бошланғич аралашмадаги концентрациялари C_{10} , C_{20} , C_{30} , C_{40} га, мувозанатда эса тегишлича $-C_{1M}$, C_{2M} , C_{3M} , C_{4M} ларга тенг булади. C_{iM} ни мувозанатдаги айланиш даражаси x_M оркали ифодалаймиз:

$C_{1M} = C_{10}(1-x_M)$; $C_{2M} = C_{20} - C_{10}x_M$; $C_{3M} = C_{30} + C_{10}x_M$; $C_{4M} = C_{40} + C_{10}x_M$;
 унда (2.29) тенгламадан x_M га нисбатан квадрат тенглама оламиз:

$$K_M = \frac{(C_{30} + C_{10}x_M)(C_{40} + C_{10}x_M)}{C_{10}(1-x_M)(C_{20} - C_{10}x_M)}.$$

Унинг ечими: $x_M = a \pm \sqrt{a^2 - b^2}$

бу срдa $a = K_M/[2C_{10}(K_M - 1)]$; $b = (C_{20}/C_{10})[K_M - C_{30}C_{40}/(C_{10}C_{20})]$.

«+» ёки «-» белгиси x_M катталиги физик мазмунга эга билангина танланади ($0 < x_M < 1$). Мазкур ҳолда белги «минус» қилиб олинади.

3. x_M учун кўпинча аналитик ифодани олиб бўлмайди. $\text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{SO}_3$ реакцияси хажм ўзгариши билан боради. Бошланғич концентрациялари SO_2 ва O_2 нинг тегишлича C_{10} ва C_{20} га тенг. Компонентларнинг парциал босимини $p_i = PC_i$ (P – умумий босим)дан оламиз. (2.14) тенгламадан фойдаланиб, компонентлар концентрацияларини SO_2 нинг айланиш даражаси – x оркали ифодалаймиз:

$$C_1 = \frac{C_{10}(1-x)}{1+0,5C_{10}x}; \quad C_2 = \frac{C_{20}-0,5C_{10}x}{1-0,5C_{10}x}; \quad C_3 = \frac{C_{10}x}{1+0,5C_{10}x}$$

Мувозанатда (2.29) тенглама куйидаги кўришишга ўтади:

$$x_M = K_M \left[K_M + \sqrt{\frac{1-0,5C_{10}x_M}{P(C_{20}-0,5C_{10}x_M)}} \right]^{-1} \quad (2.31)$$

2.9-расм. Мувозанатдаги айланиш даражаси x_M нинг кайтар экзотермик (1) ва эндотермик (2) реакциялар учун температура T билан ўзгариши.

Кимёвий мувозанат ўзгариши ташқи шаронт ўзгариши билан амалга ошади. Таъсир Ле-Шательє номин билан аталувчи принцип коидасига биноан амалга ошади. Бунда кимёвий мувозанатда турган системага таъсир этилса, унда система шу таъсирни камайтириш ҳолатига қараб ўзгаради.

Кимёвий жараёни бoшқариш шу коидага мос усулларга таянади.

Мувозанатга таъсир этувчи омилларга тўхталамиз.

1. Температура. Температуранинг ошириш қўшимча иссиқлик келтиради. Агар эндотермик реакция тўғри йўналишда, экзотермик реакция эса тесқари йўналишда борса, бу эффектнинг камайишига эришиш мумкин бўлади. Тегишлича, мувозанатдаги айланиш даражаси эндотермик реакция учун ошади, экзотермик реакция учун эса камаяди. $x_m(T)$ бундай ўзгариши 2.9-расмда кўрсатилган. Бундан x_m нинг ошириш усули келиб чиқади – эндотермик реакция учун температура оширилади, экзотермик реакция учун эса камайирилади.

2. Босим. Ле Шательє принципига кўра, босим Р ни оширишга мувозанат сурилиши қаршилиқ қилиши керак, бу босимнинг пасайиши, яъни реакция аралашма ҳажмининг камайишига олиб келади. Агар реакция ҳажм камайиши билан борса, унда босим Рнинг қўпайиши юқори айланиш (x_m нинг ортиши)га олиб келади. Ва аксинча, реакцияда ҳажм ошувчи системада мувозанат ҳамнинг камайиш томонига силжийди. Мана бу боғланиш $p_i = PC_i$; билан тенгламадан фойдаланиб, газ фазасидаги реакциялар учун қуйидаги тенгламани ёзиш имкони яратилади:

$$K_M = P^{\Delta \nu} \left(\frac{C_R^{YR} C_S^{Ys}}{C_A^{YA} C_B^{YB}} \right)_M \quad (2.32)$$

бу ерда $\Delta \nu = (\nu_R + \nu_S + \dots) - (\nu_A + \nu_B + \dots)$ – реакцияда моллар сонининг ўзгариши.

Агар реакция ҳажм ошуви билан борса ($\Delta \nu > 0$), унда Р (ва $P^{\Delta \nu}$ нинг ҳам) ошуви, 2.32 тенглигидан кўринадики, R, S, маҳсулотларнинг концентрацияси камайишига олиб келади. Агар $\Delta \nu < 0$ бўлса, унда Рнинг ортиши ($P^{\Delta \nu}$ нинг камайиши) маҳсулотлар концентрацияси ва айланиш даражасининг ўсуви билан компенсацияланади.

Аммиак синтези ҳажм камайиши билан боради. Босим $P = 1$ ат ($\approx 0,1$ МПа) бўлганда 1,0 фоиз аммиак ҳосил бўлади. Лекин x_m нинг

The graph shows two curves, labeled 1 and 2, representing the reduced viscosity z_M as a function of temperature T in degrees Celsius. The y-axis ranges from 0.2 to 0.6, and the x-axis ranges from 400 to 600. Curve 1 starts at approximately (400, 0.45) and ends at (600, 0.1). Curve 2 starts at approximately (400, 0.6) and ends at (600, 0.2).

2.10-расм. Аммиакнинг мувозанатдаги концентрацияси x_m нинг 10 МПа (1) ва 30 МПа (2) -да температура T га боғлиқлиги.

$$K_M = \frac{4^4}{3^3 P^2} \cdot \frac{C_M^2}{(1 - C_M)^4}.$$
$$K_M = 4,65 \cdot 10^{-11} P^{0.4} \exp(12720/T),$$

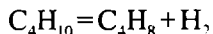
бу ерда P нинг катталиги – (МПа).

См (Р, Т) нинг ҳисоблаб топилган миқдорлари 2.10-расмда келтирилган.

Гетероген реакциялар учун ҳам худди шундай хулосалар қилинади – босимнинг мувозанатни силжитиши реакциядаги ара-
лашма ҳажми ўзгариши билан боғлиқдир. Босимни ошириш курум
ҳосил қилиш реакциясида углерод ҳосил бўлиш вазиятини вужудга
келтиради (2.24). Пайдо бўлиш вазияти юзага келади (2.24).

Суюқ ва конденсирланган муҳитда (суюқ ва қаттиқ) босим му-
возанатдаги таркибга таъсир қилмайди.

3. Реакцияон аралашмани суюлтириш – инерт моддани кўшиш, босимни камайтириш билан баробардир. Буни бутанни бутиленга-ча дегидрирлаш реакциясида кўрсатамиз:



Мазкур жараён реакцион аралашма ҳажми ортиш билан боради. Бутаннинг дастлабки миқдори C_{10} . Бутаннинг мувозанатдаги айланиш даражаси x_M , бунда (2.29) тенгламаси куйидаги кўринишга эга бўлади.

$$K_M = P \frac{C_{10}}{1 + x C_{10} x_M} \cdot \frac{x_M^2}{1 - x_M}.$$

Кўринадик, суюлтириш, бошқача айтганда C_{10} нинг камайиши бутан айланишининг мувозанатдаги даражаси – x_M нинг ўсуви билан компенсацияланади. Шу боис саноатда бутанни дегидрирлаш сув буғи иштирокида ўтказилади.

4. Мўллик ва реагентларни чиқариш. Таъсирлашаётган аралашма мувозанати куйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$K_M = \left(\frac{C_R^{VR} C_{S, \dots}^{VS}}{C_A^{VA} C_{B, \dots}^{VB}} \right)_{\text{мўл.}} \quad (2.33)$$

Дейлик, дастлабки ҳом ашёлардан бири, масалан, В нинг миқдори оширилди (мўлликда олинди). Бунда (2.33) тенгликнинг амалда бўлиши учун дастлабки компонентлар концентрацияси камаяди, маҳсулотларники эса (C_R , C_S) кўпаяди, яъни А компонентларнинг айланиш даражаси ўсади. Буни ҳом ашёнинг қимматли компонентларини тўла ишлатиш мақсадида ҳисобга олинади.

Метаннинг даражаси унинг сув буғи билан реакциясида (буғ: метан=2:1 га тенг бошланғич нисбатда) 0,54 ни ташкил этади ($P=4\text{МПа}$, $T=1100\text{К}$). Саноатда қўлланилувчи сув буғининг мўллиги буғ: метан=4:1 нисбатда метаннинг максимал айланиши 0,74 гача етказишга имкон беради.

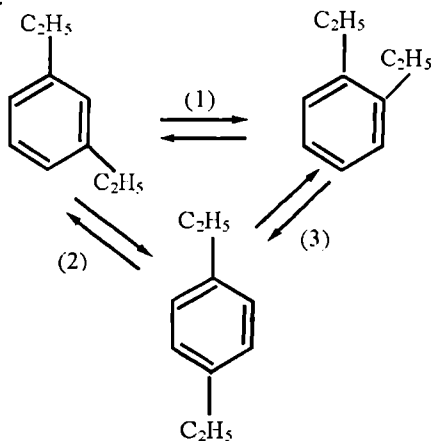
Реакция зонасидан бирор маҳсулотни чиқариш бошқа маҳсулотларнинг мувозанатдаги чиқишини оширишга имкон беради. Бу учувчан маҳсулотни ҳайдаш орқали амалга оширилади ва бу реакцион – ректификацион жараёнлар асосини ташкил қилади.

Реакцион аралашманинг термодинамик таҳлили шароитни (дастлабки таркиб, температура, босим) реагентларнинг мувозанатдаги нисбатини, яъни кимёвий айланиш тўла тамомлангандаги аралашма таркибига таъсирини аниқлайди. Олинган маълумотларга асосланиб жараённи, айланишнинг мум-

кин қадар тўлалиги, маҳсулот чиқишини мақсадга етказиш шароитлари ҳақида хулоса чиқарилади.

Мисоллардан бири – аммиакнинг мувозанатни таҳлил қилишдир (2.10-расмга қarang). Ундан кўринадики, катализатор ишлатилаётган 450–550°C температура оралиғида аммиакнинг саноатдаги чиқиши (концентрация 20 % дан юқори) босим 20 МПа бўлганда эришилади.

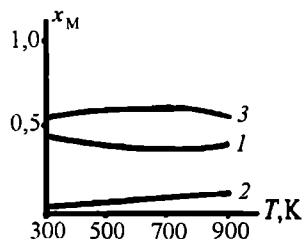
Яна бошқа мисол. Диэтилбензол (ДЭБ) изомеризациясида маҳсулот чиқиши (ядродаги этил группалари ҳолатининг ўзгариши)ни таҳлил қилайлик:



Мазкур схемада учта изомер айланишдан икkitаси – стехиометрик мустақилдир. (1) ва (2) реакцияларнинг мувозанат константалари тенг:

$$K_{M_1} = 1,74 \exp(-100/T); \quad K_{M_2} = 0,86 \exp(-860/T).$$

Мувозанатда $K_{M_1} = P_m/P_o$ ва $K_{M_2} = P_n/P_o$, бу ерда P_o , P_m , P_n – тегишлича орто, мета ва пара-изомерларнинг мувозанатдаги парциал босими. Дастлабки аралашмада о-диэтилбензол мавжуд. Унинг мета ва параизомерларга айланиш даражаси тегишлича x_m ва x_n . Улар шу изомерлар микдори билан мос келади. Мувозанатдаги шароитлар:



2.11-расм. Диэтилбензол изомерлари мувозанатдаги микдорларининг температурага боғлиқлиги (1-м. 2-н., 3-о-диэтилбензол).

$$K_{M1} = \frac{x_M}{1 - x_M - x_n}; \quad K_{M2} = \frac{x_n}{1 - x_M - x_n}.$$

бундан келиб чиқади:

$$x_M = \frac{K_{M1}}{1 + K_{M1} + K_{M2}}, \quad x_n = \frac{K_{M2}}{1 + K_{M1} + K_{M2}}.$$

Барча изомерлар миқдори 2.11-расмда келтирилган. Булардан п-диэтилбензол катта кизиқиш туғдиради. Унинг максимал чиқиши 600 К атрофида бўлиб, лекин температура билан кам ўзгаради. Аралашма нисбатан кўп бўлиб, 35% гача боради, бунда температура ўсиши билан кам фойдали ортоизомер миқдори кўпаяди. Энди бошқа технологик хулосалар ҳам қилиш мумкин бўлади.

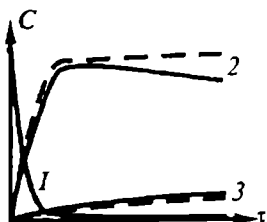
Келтирилган мисоллар тахминий бўлиб, уларда мантиқ ва термодинамик таҳлилнинг имконлари кўрсатилди.

2.2.3. Кимёвий реакциялар кинетикаси

Айланиш схемаси. Кинетика модда қандай ва қай тезликда бошқасига айланишини ифодалайди. Ҳосил бўлган ва қолган компонентлар миқдорини айтиб бериш учун стехиометрик тенгламаларга эга бўлиши керак, булар сони уларнинг мустақиллиги шароитидан келиб чиқади. Аммиак оксидланишининг стехиометрияси икки тенглама билан ифодаланади:



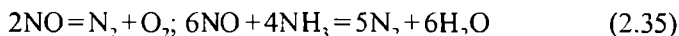
Агар аммиак оксидланишида фақат NO билан N_2 ҳосил бўлишидан иборат параллел бўлганида унда жараён 2.12-расмда кўрсатилганидек, пунктир чизиклар билан ифодаланган бўларди, аммиак тўла оксидланиб бўлгач, NO билан N_2 миқдори ўзгармайди.



2.12-расм. Вакт τ билан аммиак оксидланишида NH_3 (1), NO (2) ва N_2 (3) концентрацияларининг ўзгариши. Пунктир – (2.34) тенгламага мос равишда, қалин чизик-экспериментда ва (2.36) тенгламадаги айланиш схемасига мос келиши тасвирланган.

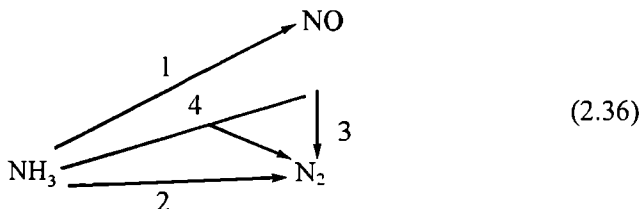
2.12-расмда NO билан N_2 концентрацияларининг реал ўзгариши калин чизиклар билан чизилган. Расмдан кўринадики.

NO нинг миқдори аввалига ўсаяпти, кейин камаяпти. Демак, O билан бир каторда (2.34) тенгламага мувофиқ унинг айланиши давом этаяпти. (2.34) тенгламада кўрсатилган реакциялардан ташқари бошқа айланишлар ҳам амалга ошаяпти:



Айланиш схемасидан таъсирлашувчи системада реал бирикиш (айланиш йўллари)лар борлигини англаш мумкин.

Схема (2.34)–(2.35) тенгламаларга ўхшаш кимёвий (кинетик) кўринишда ёки график ҳолатда ифодаланиши мумкин:

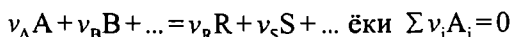


Айланиш схемаси хусусий реакциялар ёки босқичлардан ташкил топган. Стехиометрик тенгламалардан фаркли ўлароқ, кинетик тенгламаларни исталганча ёзиб бўлмайди ва улар сони компонентларнинг реал айланиш йўлларига мос келиши керак.

Айланиш тезлиги ва реакция тезлиги. Реагентларнинг босқичлар бўйича қай ҳолатда ўзгариши модданинг айланиш тезлигига боғлиқ бўлади. Бу тезликни w_i билан белгилаймиз, бу i ерда модда номи, табиий шароитни қабул қиламиз: $w_i < 0$, бунда модда (дастлабки) сарфланади ва $w_i > 0$, модда (маҳсулот) ҳосил бўлади.

Айланиш тезлиги w_i модданинг вақт бирлигида реакция кенглиги бирлигида айланаётган миқдорини кўрсатади. Агар реакция бирор идишда кетаётган бўлса, унда реакция кенглиги бирлиги қилиб ҳажм бирлиги, агар юзада бораётган бўлса, юза бирлиги олинади.

Реакциянинг кинетик тенгламасидан



ва миқдор ΔN_{A_i} билан айланган модда нисбати $\Delta N_{A_i} / \nu_i = \text{const}$ лигидан $w_i / \nu_i = \text{const}$ келиб чиқади.

Бу нисбатни *реакция тезлиги* $r = w_i/v_i$ дейлади. Айланиш тезлигининг белгиси w_i модда сарфланаётгани ёки ҳосил бўлаётганлигини англатади. Реакция тезлиги r доимо мусбат кийматга эга бўлади. Моддаларнинг айланиш тезлиги реакция тезлиги орқали ҳисобланади:

$$w_i = v_i r \quad (2.37)$$

Агар реакция мураккаб бўлса ва модда бир нсча алоҳида реакцияда иштирок этаётган бўлса, унда:

$$w_i = \sum_j v_{ij} r_j, \quad (2.38)$$

бу ерда $r_j - j$ реакциянинг тезлиги (мураккаб реакция босқичи); $v_{ij} - i$ модданинг j реакциядаги стехиометрик коэффициент.

Реакция тезлиги $r = dC/dt$ кўринишда ҳам аниқланади, бунда концентрациянинг вақт бўйича ўзгариши ёпикидишда ўтказилган реакция учун фойдаланилади, А реакция идишга узлуксиз дастлабки модда киритиб турилса ва тегишли миқдордаги маҳсулот чиқариб турилса, унда концентрация вақт бўйича ўзгармай қолади, яъни $dC/dt = 0$ тенг бўлади. Лекин реакция ўтаверади. $r = dC/dt$ тенглама фақат ёпик идишдаги реакция тезлигини ифодалашга ёрдам беради, лекин унинг ифодаси (белгиси) бўла олмайди.

Реакциянинг кинетик модели. Реакция тезлиги унинг ўтказилиш шароитларига боғлиқ бўлади, асосан температура ва компонентлар концентрацияси (парциал босимлар) катта ўрин тутати. Каталитик жараёнларда реакция тезлигига яна катализатор концентрацияси, фотохимёвий реакцияларда эса нурланиш интенсивлиги ва бошқалар таъсир этади.

Айланиш тезлиги ёки реакция ўтишининг шароитга боғлиқлиги **кинетик тенглама ёки реакциянинг кинетик модели** дейлади.

Кинетик тенгламалар шакли ҳар хиллиги билан ажралади. Кинетик моделлар тузиш усуллари ва унинг параметрларини аниқлаш усуллари физик кимёнинг махсус бўлимини ташкил этади.

Элементар реакция $A + \nu B = R + \dots$ учун кинетик тенглама таъсир этувчи массалар қонуни асосида тузилади («Кимёвий реакция тезлиги таъсирлашаётган моддалар концентрациялари кўпайтмасига пропорционалдир»):

$$r = k C_A^x C_B^y,$$

бу ерда v кимёвий таъсирда B нинг неча молекуласи иштпрок этаётганлигини билдиради.

Кўпгина реакциялар механизми мураккаб бўлиб, бир неча кетма-кет ўзаро таъсирлар (босқичлар)дан ташкил топади. Кинетик моделлар мураккаб ифодалар бўлиб, уларнинг реакция механизми асосида ёзиш мумкин бўлади. Кинетик моделнинг кўриниши куйидагича ифодаланади:

$$r = \frac{k C_1^n C_2^m \dots}{(1 + \sum a_i C_i)^p},$$

бу ерда k , a_i , n , m , p – модел параметрлари, тезлик константалари ва элементар босқичларнинг комбинацияларидир.

Гомоген каталитик реакция кинетик тенгламасига катализатор концентрацияси S_k киради.

Физик таъсирдаги реакция тезлиги (электр кимёвий, фотохимёвий ва ҳ.к.лар) мазкур таъсир интенсивлигига боғлиқ бўлади. Фотохимёвий реакция тезлиги нурланиш интенсивлиги J_0 га пропорционалдир: $r = k J_0 C$. Электрхимёвий реакцияда ҳосил бўлган модда микдори Фарадей конунига биноан электролитдан ўтган электр токи микдорига пропорционалдир:

$$g = \alpha Q = \alpha i t,$$

бу ерда α – мазкур модданинг электр кимёвий эквиваленти, i – ток кучи, t – вақт.

Концентрацияларнинг қандайдир оралиғида кинетик тенглама-ни оддийроқ формула билан аппроксимациялаш мумкин, масалан:

$$r = k C^n.$$

Кинетик тенгламанинг бундай кўринишини кейинроқ – кимёвий жараёнларнинг хоссаларини кузатганимизда ишлатамиз.

Кинетик тенгламадаги k – **тезлик константаси** бўлиб, Аррениус тенгламасида температура билан куйидагича боғлиқдир:

$$k = k_{0e} - E/RT, \quad (2.39)$$

бу ерда E – активлаш энергияси. E қанча катта бўлса, k температура билан шунчалик ортнб боради.

Концентрациянинг даража кўрсаткичи n **реакция тартиби** дейилади.

Оддий қайтар реакция $A \rightleftharpoons R$ амалда мураккаб ҳисобланади, унда иккита реакция амалга ошади: A модда K моддага айланади (тўғри реакция) ва R модда A га айланади (тескари реакция). Айла- ниш тезлиги, яъни реакция тезлиги тўғри r_1 ва тескари реакция r_2 нинг фаркига тенг бўлади: $r = r_1 - r_2$. Иккала реакция биринчи тар- тилиб дейлик: $r_1 = k_1 C_A$, $r_2 = k_2 C_R$.

Унда:

$$r = k_1 C_A - k_2 C_R = k_1 C_A \left[1 - \frac{k_2 C_R}{k_1 C_A} \right]$$

Мувозанатда $r=0$, C_A ва C_R – мувозанатдаги айланиш даражалари.

Квадрат кавсдаги ифода нолга тенг бўлса, бу мумкин бўлади. Лекин мазкур қайтар реакция учун $(C_R/C_A)_{\text{мув.}} = K_m$, яъни

$$k_1/k_2 = K_m \quad (2.40)$$

k_1 , k_2 , K_m лар температурага боғлиқ бўлиб, қуйидаги кўринишга эгадирлар

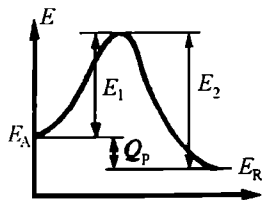
$$k_1 = k_{10} e^{-E_1/RT}; \quad k_2 = k_{20} e^{-E_2/RT}; \quad K_m = K_{m0} e^{Q_m/RT}.$$

Буларни (2.40) тенгламага қўйиб, оламин:

$$Q_m = E_2 - E_1, \quad (2.41)$$

яъни қайтар реакциянинг иссиқлик эффекти тескари ва тўғри реак- циялар активланиш энергиялари фаркига тенгдир. Бу фундаментал «реакция йўли-таъсирлашаётган система потенциали» диаграмма- сидан келиб чиқади (2.13-расм).

Таъсирлашаётган аралашма энергияси E нинг реакция ўтиши билан ўзгариши (реакция йўлида). Диаграммадаги E_A ва E_R лар – дастлабки модда A билан R маҳсулотнинг тегишлича потенциалла- ри. Улар фарқи Q_m – айланиш натижасида ажралган энергия. А ни



2.13-расм.

R га айлантириш учун энергетик қаршилик E_1 (тўғри реакциянинг активланиш энергия- си)ни енгиш керак бўлади. Акс йўналишда потенциал қаршилик потенциали E_2 га тенг бўлади. Булар орасидаги фарқ иссиқлик эф- фекти Q_p ни ташкил этади.

Экзотермик реакция учун $Q_m > 0$ ва $E_2 > E_1$ дир.

Эндотермик реакция учун эса $Q_v < 0$ ва $E_2 < E_1$. Ихтиёрий қайтар реакция тезлигини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$r = r_1 \left[1 - \frac{1}{1-K_M} \prod C_i^{v_i} \right], \quad (2.42)$$

бу ерда r_1 – тўғри йўналишдаги реакция тезлиги; $\prod C_i^{v_i}$ – массалар таъсири қонунининг (2.26) тенгламадаги сингари ифодаси, лекин концентрациялар мувоzanатдагидек эмас, балки одатдагидек олинади.

2.2.4. Кимёвий жараёнлар синфланиши

Синфлашдан мақсад – жараёни ташкил қилувчи таркибларидан муҳимларининг у ёки бу хоссалари комбинацияланганда унинг қонуният ва ўзига хос томонларини аниқлаб олишдир.

Кимёвий жараён ўзаро боғланган ҳодисалар мажмуаси эканлигини эътиборга олиб, синфлаш турли белгиларга қараб олиб борилади. Синфлаш тармоқланган тузилишга эгадир.

Кимёвий жараёнлар синфланиши:

А. Физик-кимёвий белгилар

Кимёвий реакциялар типлари	Кимёвий таъсир остида кимёвий бирикмиш (каталитик реакция)
Термодинамик кўрсаткичлар	физик таъсир билан иссиқлик эффекти экзотермик жараён эндотермик жараён қайтарлиги қайтмас реакция қайтар реакция
Кинетик характеристика	айланиш схемаси оддий реакция мураккаб реакция параллел схема кетма-кет схема умумий ҳолат кинетик модель

Б. Физик белгилар

Реагентларнинг фазавий	бир фазали жараён
реагентлар билан таркиби	кўп фазали жараён
	фазалар ҳолати
	газ
	суюқлик
	каттик

Кимёвий жараёнда кимёвий реакция амалга ошади ва фазалар-аро кўчиш ходисалари амалга ошади, бунда реагентлар таъсирлашув жойига етказиб берилади. Шу боис синфлашнинг икки гуруҳли белгисига қараб ажратилади – булар физик-кимёвий ўтаётган реакцияни характерловчи ва физик муҳитнинг реагентлар билан фазавий таркибини характерловчи бўлади.

Синфлашнинг физик-кимёвий белгилари.

Кимёвий айланиш рўй бериши учун зарур таъсир ўтказиш – кимёвий реакция хили бўйича синфлаш белгисидир. Агар фақат реагент учрашишлари етарли бўлса, яъни молекулалар энергияси улар айланишига етарли бўлганда бу тўғридан-тўғри кимёвий таъсир бўлади. «Кимёвий таъсир» доирасидаги реакциялар катализаторлар иштирокида боради. Катализатор нафақат реакция тезлигини оширади, балки реакция учун янги йўллар ҳам очиб беради. «Физик таъсир» остидаги реакциялар электр токи, нурланиши, фото, радиацион ва механик-кимёвий таъсирлар остида боради.

Термодинамик белгилар энергетик жараён (иссиқлик эффекти) билан реакциянинг қайтарлигини ҳисобга олади. Реакция энергетикаси нафақат жараёндаги ходисалар иссиқлик эффектини, балки мувозанатдаги ҳолатларни ҳам аниқлаб беради. Реакциянинг қайтарлиги реагентлар айланишининг принципиал қанчалик тўла бўлишини аниқлайди.

Кинетик белгилар реакция динамикасининг ўсувчи ва айланишлар йўналишини ҳамда реакция ўтишига шароит (концентрация, температура) таъсирини характерлайди. Синфлашнинг физик белгилари кимёвий жараённинг фазавий таркибини ўз ичига олади. Фазалар сони бўйича гомоген (бир фазали) ва гетероген (кўп фазали) жараёнлар мавжуд.

Гетероген жараёнда реагентлар турли фазаларда бўлади, бунда реакция фазаларнинг бирида ўтиши ҳам мумкин, яъни реакциянинг

Ўзи гомоген бўлиши ҳам эҳтимолдан холи эмас. Реагентларни реакция ўтиш жойига етказиш ҳам жараённинг ўзига хос жиҳатларидан ҳисобланади. Моддалар кўчиши таъсирлашаётган фазалар агрегат ҳолатига боғлиқ бўлиши табиий, албатта.

Турли белгиларнинг мужассамлашуви жараённинг ўзига хос хусусиятлари ва хоссаларида кўринади. Кимёвий жараённи тадқиқ қилиш ва ўрганиш мақсади ундаги айланиш тезлиги ва айланиш тезлигига таъсир этувчи шароит таъсири ҳамда реакция турини билишга такалади, булар олинган турли белгилар таснифларини комбинациялаш орқали синфланишдан келиб чиқади.

2.3. ГОМОГЕН КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР

Гомоген кимёвий реакциялар одатда бир фазада ўтади, булар кўпроқ газ ёки суюқ фазалар бўлиб, танланган ҳажмда реакциянинг ўтиш шароитлари тенглашади. Бу ерда кўчиш ҳодисаларининг аҳамияти катта бўлмагани учун гомоген кимёвий жараён конуниятлари кимёвий реакция конуниятлари билан мос тушади.

2.3.1. Оддий реакция

Қайтмас реакция $A \rightarrow R$ қуйидаги кинетик тенглама билан ифодаланади.

$$r = kC^n. \quad (2.43)$$

Реакция тезлиги концентрацияга боғлиқ 2.14, а-расмда кўрсатилган. Айланиш даражаси $x = (C_0 - C)/C_0$ га ўтиб, оламиз

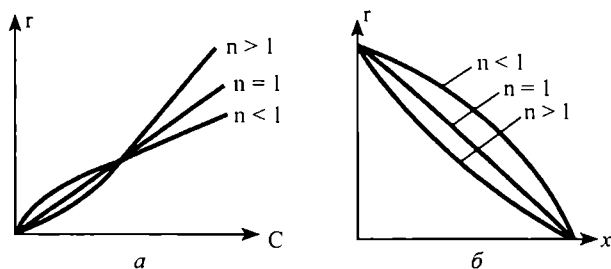
$$r = kC_0^n(1-x)^n. \quad (2.44)$$

(х) боғланиш 2.14, б-расмда келтирилган.

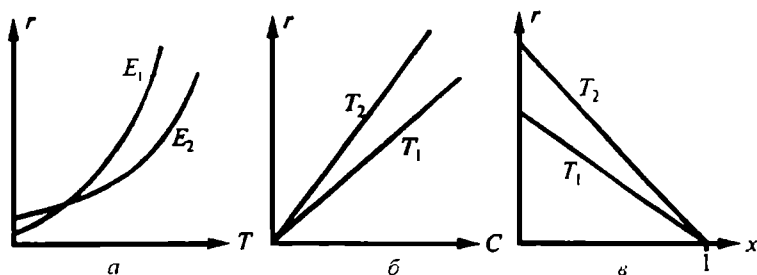
Реакция тартиби n тезлик темпининг концентрацияга қараб ўзгаришини белгилайди – у юқорироқ тартибли реакция учун юқори бўлади.

Тезлик константаси k температура билан Аррениус тенгламаси (2.39) орқали боғланади. $r(T)$ нинг ўзгариш характери k (T) никига ўхшашдир (2.15, а-расмга қаранг). Активланиш энергиялари тур-

лича бўлган (E_1 ва E_2) икки реакция учун тезликнинг температу-
ра билан ўсиши активланиш энергияси юқориникида рўй беради.
(2.15, а-расмда $E_1 > E_2$ лиги кўрнниб турибди). Температуранинг
ошуви, r (C) ва $r(x)$ боғланишларни ўзгартиради. Реакция тезли-
гининг (2.15, б) расмдаги концентрацион ва (2.15, в) расмдаги кон-
версион эгри чизиклари T_1 ва T_2 температуралар учун кўрсатилган
бўлиб, бунда $T_1 > T_2$] дир.



2.14-расм. Оддий кайтмас реакция тезлиги r нинг дастлабки реагент концентра-
цияси C (а) ва айланиш даражаси x (б)га боғлиқлиги; n -реакция тартиби.



2.15-расм. Температура T нинг оддий кайтмас реакция r нинг тезлигига таъсири.
(Т) (а) энергия активациялари E_1 ва E_2 ($E_1 > E_2$) бўлган реакциялар учун; rC (б) ва
 $r(x)$ (в) T_1 ва T_2 ($T_1 > T_2$) температураларда.

T_2 юқорирок температурада жараён тезлиги ҳам юқорирок
бўлади – T кўтарилиши билан реакциянинг тезлик константа-
си k ўсади, буни (2.43) ва (2.44) тенгламаларидан реакция тезлиги
кўтарилиши ҳам исботлаб турибди. (2.44) тенгламадан кўринадики,
бошланғич концентрация C_0 нинг $r(x)$ га боғлиқлиги температура
таъсирига яқин бўлади: C_0 нинг ошуви айланишнинг мазкур дара-
жасида тезликнинг ошувига олиб келади.

Температуранинг ошуви қайтмас реакция жараёнини интенсификациялайди. Агар максимал интенсификациялаш зарур бўлса (буни оптимал шароит деб олишса), унда температура ихтиёрий концентрация (айланиш даражаси)да мумкин қадар юқори бўлиши керак. Температурани чеклаш нохуш реакцияларга, жумладан, ўзидан-ўзи алангаланиш, аппаратура материалларга салбий таъсир кўрсатиш ёки бошқаларга олиб келиши мумкин.

Қайтар реакция $A \rightleftharpoons R$ ники йўналишда қуйидаги биринчи тартибли кинетик тенглама билан ифодаланади:

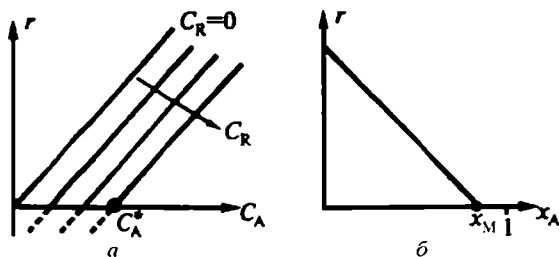
$$r = k_1 C_A - k C_R. \quad (2.45)$$

Модомики, реакция тезлиги икки компонент концентрациясига боғлиқ экан, унда $r(C_A)$ боғланиш C_R нинг турли катталикларида олинган эгри чизиклар ссрияси билан кўрсатилади (2.16, *a*-расмга қаранг).

Қайтар реакциядаги ($r=0$ га тенглигида) мувозанат маълум нисбатда $C_R/C_A = K_m$ бўлади. (C_R) нинг бир қиймати 2.16, *a*-расмда $r(C_A)$ эгри чизигининг абсцисса ўқи билан учрашувидаги C_A^* концентрациядаги C_A ва C_R нинг мувозанатига мос келади. Агар $C_A < C_A^*$ бўлса, унда тезлик манфий қийматга (2.16-расмдаги пунктлар чизиклари) эга бўлади, бунда реакция тескари йўналишда кстади.

Реакция тезлиги учун бир функционалли боғланиш олиш мақсадида A компонентнинг айланиш даражаси x га ўтамиз:

$$C_A = C_{A0}(1-x); C_R = C_{A0}x$$

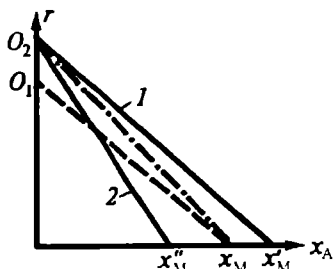


2.16-расм. Қайтар реакция r нинг дастлабки компонент C_A концентрациясига, маҳсулот C_R (*a*) концентрацияси ва айланиш даражаси x_A (*б*) нинг турли катталикларидаги боғлиқлиги.

$$r = k_1 C_{A0}(1-x) - k_2 C_{A0}x = k_1 C_{A0} - (k_1 + k_2) C_{A0}x. \quad (2.46)$$

$r(x)$ – чизиги тўғри чизикда пасаяди (2.16, б-расмга қаранг) $x = k_1 / (k_1 + k_2)$ нинг маълум бир кийматларида $r=0$ га эришилади. Илгари олингандек: $k_1/k_2 = K_m$, (2.40) тенгламага қаранг ва $x_m = K_m / (1 + K_m)$ (2.30) тенглама қаранг. Бу ифодалардан (2.46) тенгламада фойдаланиб, $r=0$ тенглиги мувозанатдаги ҳолатда бўлиши табиийлигини кўрамиз. Кинетик тенгламада иккита константа температура T га боғлиқлиги кўринадики, булар – k_1 ва k_2 лардир. Иккала константа температура кўтарилиши билан ортадилар, лскин уларнинг r га таъсири ҳар хилдир: k_1 нинг кўтарилиши реакциянинг тезлигини оширади, k_2 эса пасайтиради. Уларнинг биргаликдаги таъсири константалардан қайси бирининг температура таъсирида тезроқ ўсиши, тўғри ва тескари реакциялар ақтивланиш энергиялари нисбатига боғлиқ бўлади. Тўғри ва тескари реакциялар ақтивланиш энергиялари нисбати экзо- ва эндотермик реакциялар учун ҳар хиллигини эслатиб ўтамиз.

$r(x)$ боғланиш $r = k_1 C_{A0}$ нинг $x=0$ ва $r=0$ лар оралиғидаги x_m нинг мувозанатдаги даражаси пасайиш чизигидир. Температура ортиши билан бошланғич ($x=0$ бўлганда) тезлик ортади. Мувозанат қандай реакция – экзо- ёки эндотермиклигига қараб ўзгаради. Эндотермик реакцияда x_m ўсади ва реакция тезлиги $x=0$ дан $x=x_m$ оралиғидаги ўзгариш интервали x бўйлаб ортади (2.17-расмдаги 1 эгри чизиги). Мувозанат экзотермик реакцияда



2.17-расм. Биринчи тартибли қайтар реакция r нинг X_A нинг температура T_1 (пунктир) ва $T_2 > T_1$ (тўлиқ чизиклар) га боғлиқлиги: 1 – эндотермик реакция; 2 – экзотермик реакция; штрих-пунктирли чизик – бошланғич концентрация оширилиши ва температура T_1 да.

чапга сурилади. Температуранинг кўтарилиши x нинг унча катта бўлмаган кийматларида реакция тезлигининг ошуви-га олиб келади. x нинг маълум кийматларидан бошлаб реакция тезлиги температура анча юкори бўлишига қарамай камийиб қолади (2.17-расмдаги 2 эгри чизик).

Газнинг маълум бир таркибдаги реакция тезлиги-га температура таъсирини

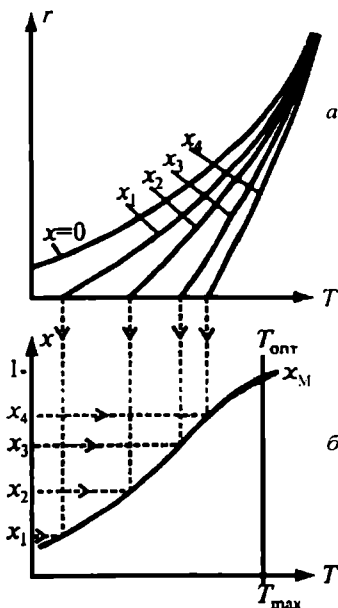
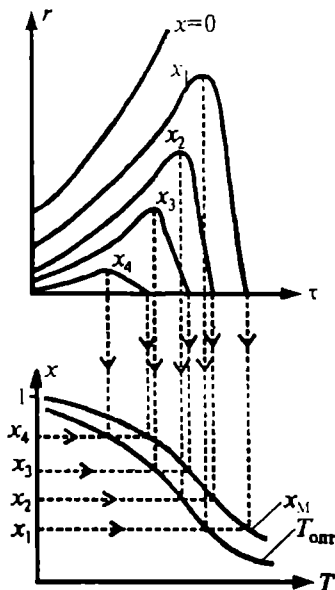
2.18-расм. Қайтар экзотермик реакция тезлигининг температура T (а) билан боғлиқлиги ва график $T-x$ (б): x_0 айланишнинг мувозанатдаги даражаси; $T_{\text{опт}}$ оптимал температуралар.

таҳлил қилиш мақсадида $T-\tau$ ва $T-x$ координаталаридаги графикларни солиштириб чиқамиз.

Экзотермик қайтар реакцияни қараб чиқамиз (2.18, а-расм). $T-x$ диаграммадаги берилган x да реакция тезлигининг пунктир чизик (масалан, x_1 бўйлаб ўзгаришини кузатамиз (2.18, б-расм).

Паст температураларда, мувозанатдан узокда бўлингanda тесқари реакция таъсири кам бўлади. Тесқари реакция тезлиги тўғри реакциянинг тенг ва температура билан ўсуви 2.18, а-расмдан кўринади. Температура T ошуви билан тесқари реакция тезлиги тўғриникига қарағанда тезроқ ўсиб боради, бунда экзотермик реакция учун $E_2 > E_1$ бўлади. Тесқари реакциянинг айланишнинг умумий тезлигидаги ҳиссаси борган сайин кўпайиб боради. Маълум бир температурада бу реакция ортиб кетади, тезлик максимумдан ўтиб, кейин температура билан қаяа боради.

x_1 нинг берилган қиймати мувозанатдаги температурага стғач (мувоза-



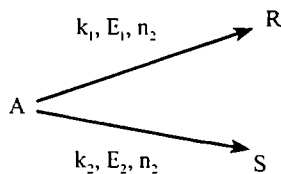
2.19-расм. Қайтар эндотермик реакция нинг температура T (а) га боғлиқлиги ва $T-x$ графиги. Белгилар 2.18-расмдаги сингаридир.

натдаги температура), реакция тезлиги нолга тенг бўлиб қолади. $r(T)$ (оптимальная температура $T_{\text{опт}}$ кўнғироқсимон эгри чизик кўринишда бўлади.) $r(T)$ нинг боғлиқлиги бошқа айланиш x ортиши билан реакция тезлиги кам бўлади, паст температураларда максимал тезликка эришилади ва мувозанат қарор топади – $r(T)$ учун $x_2 > x_1$, $x_3 > x_2$ ва х.к. қийматларига қаранг. Агар реакциянинг максимал тезлигидаги температураларнинг барча қийматлари бирлаштирилса, унда $T-x$ графигида 2.18, б-расмдаги *оптималь температуралар чизиги* $T_{\text{опт}}$ келиб чиқади. У ҳар бир айланиш даражаси учун реакция тезлиги максимал бўлишини кўрсатади. Реакция ўтиши билан температуранинг пасайиши (x нинг ортиши) жараёнинг максимал интенсивлигини билдиради. 2.19-расмда $T-g$ ва $T-x$ графиклари эндотермик реакция учун кўрсатилган. Агар $x < x_{\text{н}}$ бўлса, унда реакция тўғри йўналишда боради, бу 2.19, б-расмдаги $x-T$ кўламнинг $x_{\text{н}}(T)$ эгри чизигидан пастдалигига мос келади. x нинг ҳар бир қиймати учун реакция аралашманинг мувозанатдаги ва $g=0$ бўлган температураси бордир. Мана шу мувозанатдаги температурадан бошлаб $g(T)$ боғланиши ўсувчи эгри чизик кўринишига эга бўлади. Қайтар эндотермик реакциянинг оптималь температураси қайтмас реакциялар учун максимал бўлиши мумкин бўлганга тенглашади.

2.3.2. Мураккаб реакциялар

Мураккаб реакциялар босқичлардан ёки хусусий реакциялардан ташкил топади. Улар тезлигининг концентрация ва температурага боғлиқлиги оддий реакцияларники сингаридир. Мураккаб реакцияларда маҳсулотлар турли хусусий реакцияларда ҳосил бўлади, бундай маҳсулотларнинг ҳосил бўлиш тезлиги нисбати жараёни характерлайди.

Айланишнинг параллел схемаси:



Дифференциал селективлик дастлабки модданинг маълум маҳсулотга айланиш тезлигининг унинг умумий айланиш тезлигига нисбати билан аниқланади. Дастлабки модданинг бирор

маҳсулотга айланган қисми селективлик бўлиб, жараёнини характерлайди ва *интеграл селективлик* деб аталади.

Бу срада тезлик константалари (k_1 , k_2), активланиш энсргиялари (E_1 , E_2) ва хусусий реакциялар тартиблари (n_1 , n_2) кўрсатилган. R бўйича дифференциал селсективлик:

$$S'_R = \frac{w_R}{w_R + w_S} = \frac{k_1 C_A^{n_1}}{k_1 C_A^{n_1} + k_2 C_A^{n_2}}, \quad (2.47)$$

бу срада – w_R ва w_S –R ва S маҳсулотлари ҳосил бўлиш тезлиги.

Агар хусусий реакциялар тартиби бир хил бўлса ($n_1 = n_2$), унда $S_R = k_1 / (k_1 + k_2)$ ва S'_R лар концентрацияга боглик бўлмайди.

Агар ($n_1 > n_2$) бўлса, унда $S'_R = k_1 C_A^{n_1 - n_2} / (k_1 C_A^{n_1 - n_2} + k_2)$ ва унда C_A катталашуви билан асимптотик равишда ўсиб, $S'_R = 1$ га яқинлашади. Дарҳақиқат, C_A ўсиши билан $A \rightarrow R$ реакция тезлиги $A \rightarrow S$ никидан ортиклиги кўринади, бунда дастлабки модданинг умумий айланиш тезлигида биринчи босқич улуши кўпайиши маълум бўлади.

Агар $n_1 < n_2$ бўлса, унда $S'_R = k_1 / (k_1 + k_2 C_A^{n_2 - n_1})$ ва C_A кўпайиши билан камаядики, бунда R нинг ҳосил бўлиши тезлиги тезроқ ўсади.

$S'_R (C_A)$ боғланишлар кўриниши 2.20-расмда кўрсатилган.

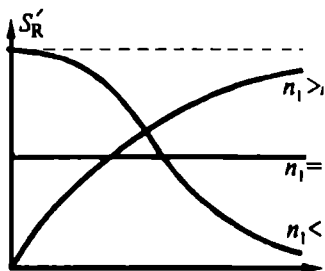
Олинган маълумотлардан параллел айланишлар ўтказиш жараёнининг кулай режими ҳақида қуйидагича хулосалар чиқариш мумкин.

Агар олинадиган мақсадли маҳсулотнинг ҳосил бўлиш тартиби бошқа маҳсулотлар ҳосил бўлишиникидан юқори бўлса, жараёни дастлабки маҳсулотлар концентрациялар юқори бўлгани маъкулки, бунда жараёнининг селективлиги ҳам, инсенсивлиги ҳам юқори бўлади.

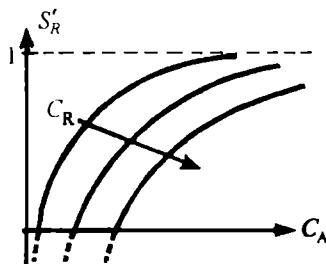
Хусусий реакциялар тартиби тенг бўлган ҳолда концентрация селективликка таъсир кўрсатмайди ва концентрацияни ошириш реакция тезлигини ошириш учун мақсадли бўлади.

Агар кўшимча маҳсулот ҳосил бўлиш реакцияси тартиби юқори бўлса, унда селективлик концентрациянинг камайиши билан ортади. Лекин айланиш тезлиги камайиб боради.

Агар R нинг ҳосил бўлиш тезлиги S нинг ҳосил бўлиш тезлигидан юқори бўлса, унда температуранинг оширилиши дифференциал селективликнинг ортишига олиб келади. Бу $E_1 > E_2$ ҳолатдагина амалга оша олади. Активлаш энергиясининг тескари нисбатиди



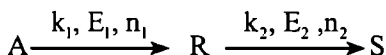
2.20-расм. Дифференциал селективлик S'_R -нинг айланишнинг параллел схемаси (n -реакция тартиби) учун концентрация C_A га боғлиқлиги.



2.21-расм. Дифференциал селективлик S'_R -нинг C_A ва C_R концентрацияларнинг кетма-кет айланиш схемасига боғлиқлиги. Стрелка билан C_R нинг ортиши – оралиқ маҳсулот R концентрацияси кўрсатилган.

($E_1 < E_2$) селективликни оширишга, интенсивликнинг пасайишига қарамадан, температуранинг камайишига ёрдам қилади.

Айланишнинг кетма-кет схемаси:



Биринчи ва иккинчи босқич тезликлари қуйидагича ифодаланади: $r_1 = k_1 C_A$ ва $r_2 = k_2 C_R$. Мақсадли маҳсулот R нинг ҳосил бўлиш тезлиги эса қуйидагичадир:

$$R: w_R = k_1 C_A - k_2 C_R$$

Дастлабки модданинг умумий айланиш тезлиги $w_A = k_1 C_A$ Дифференциал селективлик икки реагент

$$S'_R = \frac{k_1 C_A - k_2 C_R}{k_1 C_A} = 1 - \frac{k_2 C_R}{k_1 C_A} \quad (2.48)$$

концентрациясига боғлиқдир. C_R нинг турли $S'_R (C_A)$ эгри чизикларнинг қатор гуруҳини тузиш мумкин (2.21-расм).

C_R билан C_A нинг маълум нисбатида, жумладан, $C_R/C_A = k_1/k_2$ бўлганда, R нинг A дан ҳосил бўлиш ва R нинг S га айланиш тезлиги тенг бўлади, бунда $S'_R = 0$ дир. Агар C_R/C_A нисбати бу қийматдан катта бўлса, дифференциал селективлик манфий бўлиб қолади. Интеграл селективликнинг доимо мусбат катталиқ бўлишини эслатиб ўтаамиз.

C_A ва C_R ларнинг берилган концентрацияларида температура таъсирини кузатамиз. Агар $E_1 > E_2$ бўлса, унда температуранинг кўтарилиши k_1 учун k_2 га қараганда кўпроқ ортади ва (2.48) тенгламадан дифференциал селективлик S'_R нинг ортиши кўринади. Хусусий реакциялар активланиш энергиялари тескари нисбатида ($E_1 < E_2$) температура селективликка салбий таъсир этади.

2.4. ГЕТЕРОГЕН КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР

2.4.1. Асосий тушунчалар

Гетероген кимёвий жараёнда дастлабки моддалар ва маҳсулотлар турли фазаларда бўлади. Гетероген системада реакциялар бир мунча мураккаб ўтади, механизм ҳам кўп босқичларга бўлинади.

Гетероген система деб икки ва ундан ортиқ қисмлардан ташкил топиб, бир-бирларидан физик ёки кимёвий хоссалари билан фарқланувчи ҳамда бир-биридан юза қисми билан ажралган системага айтилади. Гетероген системанинг алоҳида бўлган бир хил қисмлари унинг фазалари деб аталади. Масалан, муз (қор), сув ва унинг устида бўлган буғи уч фазали гетероген системани ташкил этади, булар каттик (муз), суюқ (сув) ва газ ҳолатида (сув буғи)дирлар. Бирор кислота ва унга тушириб қўйилган металл сим икки фазали системадир. Гетероген системада диффузия ходисаси катта роль ўйнайдиган омиллардан биридир. Диффузияни сунъий кучайтириб, реакция тезлигини анча ошириш мумкин. Бунга аралаштириш, силкитиш, поршенлар ҳаракати ёки бошқа механик йўллار билан эришиш мумкин. Градиентсиз реакторлардан фойдаланиш гетероген системаларни тадқиқ қилиш ва ўрганишда қўл қилади.

Жараёнда иштирок этаётган фазалар хили (кўриниши) бўйича гетероген реакциялар қуйидагиларга бўлинади:

а) «Газ-каттик (жараёнларнинг бу хилига газлар адсорбцияси ва десорбцияси, курук хайдалиш, рудаларни куйдириш, мсталларни оксидлаш, каттик оксидларни қайтариш, каттик ёқилгиларнинг ёниши киради).

б) «суюқлик-каттик» (суюқликдаги адсорбция, десорбция, эритиш, ишқорлаш, кристаллаш);

в) «газ-суюклик» (суюкликдагп адсорбция, десорбция, эритув-
чини буглатиб эритмаларни концентрлаш, конденсатлаш, суюк ара-
лашмаларни хайдаш – дистиллаш, ректификациялаш);

г) аралашмовчи «суюклик-суюклик» системаси (экстракция,
эмульгнрлаш);

д) «каттик-каттик (пишириш, цемент ва керамик буюмлар олиш,
юқори температурали ноорганик материаллар синтези);

е) кўп фазали «газ-суюклик-каттик», «аралашмовчи суюклик-
лар-газ ёки каттик» системалар. Гетероген *жараёниш ўтказиш ша-
роити* ҳар бир фаза ҳолати ва уларнинг бир-бири билан таъсирла-
шиш параметрлари хизматдир.

Фазалар контактида реактантлар реакция ўтиш жойига еткази-
лади – бу реакция шароитлари бўлиб, ҳосил қилинган ташки шаро-
итдан фарқланади; температура ҳам фарқланиши мумкин.

Модда ва иссиқлик кўчиш фазаларни ўзаро таъсирлашуви ша-
роитларига боғлиқ бўлади (оқимлар тезлиги ва йўналиши, юза-
лар конфигурацияси) ва транспорт килиш хоссалари (диффузия,
иссиқлик ўтказиш ва ёпишқоқлик коэффициентлари)га боғлиқ
бўлади. Реакция шароити бир вақтнинг ўзида реакция ўтиши ва
кўчиш ҳодисасининг рўй беришида концентрация ва температу-
ранинг қайта тарқалиши натижасидир, яъни гетероген жараён кўп
босқичли эканлигидан дарак беради. Реакция шароитларини жара-
ён шароитлари билан ифодалаш мумкин бўлиб, булар берилган ёки
маълум – уларни ўлчаш ёки «кузатиш» мумкин.

Гетероген кимёвий жараёнда айланиш тезлигининг жараён ша-
роити орқали ифодаланиши *айланишнинг қўзатиладиган тезлиги*
 W_k , ҳисобланади.

Агар айланиш тезлиги реакция ўтиш жойида концентрация C' ва
температура T' га боғлиқ, яъни $w(C', T')$ бўлса, унда C' ва T' жараён
шароитлари билан аниқланади, шу боис қўзатиладиган айланиш тез-
лиги унинг параметрлари (масалан, оқим тезлиги)га боғлиқ бўлади:

$$w(C', T') = W_k(C, T, u, \dots)$$

Гетероген кимёвий жараённинг асосий вазифаси $W_k(C, T, u, \dots)$
боғлиқлигини аниқлаш ҳисобланади.

Кўп босқичли жараёнда уни ташкил этувчилар турлича бўлиши
мумкин. Бунда *чегараловчи босқич* тушунчаси киритилади, жараён

режими мазкур босқич аниқланувчи жараён тезлигини теклаб туради. Бу тушунчалардан кейинроқ конкрет системаларда фойдаланамиз.

Қаттиқ жисмлардаги кўчиш механизми суюклик ва газлардагидан тубдан фаркланади. Газ ва суюклик – оқувчан фазалар бўлиб, ҳаракатчан юзага эга бўлади. Буларда кўчиришнинг конвектив таркиби ҳиссаси катта бўлиб, қаттиқ жисмнинг ҳаракатсиз ички структураси ва ташқи конфигурация бу ҳолат йўқлиги билан фаркланади. Мазкур ҳолат кимёвий жараён учун юқорида кўрсатилган гетероген системаларнинг кўп кўринишлари моделларини 2 хилда тузишга имкон беради:

«Газ (суюклик)-қаттиқ» – оқувчан ва қаттиқ фазанинг ўзаро таъсирлашуви;

«газ (суюклик)-суюклик» – оқувчан фазаларнинг бир-бири билан таъсирлашуви.

2.4.2. «Газ (суюклик)-қаттиқ» системаси

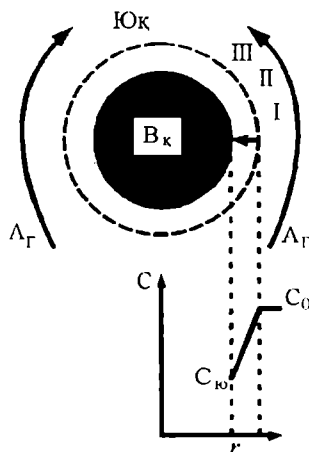
Жараёни ўрганишда қаттиқ реагентни шар кўринишдаги заррача сифатида деб оламиз. Заррача юзаси бир хил – компонентлар кўчиши бутун юза бўйлаб оқимда барабар тарқалади. Қаттиқ заррача ўлчами жараёнда ёниш, эриш, кўчиш ҳисобига ўзгариши мумкин ёки ўзгармаслиги ҳам мумкин. Заррача ва оқим температураси бир хил дсб оламиз.

Қаттиқ заррача ўлчами ўзгарувчи жараён. Ушбу жараёнда газ билан қаттиқ заррачанинг ўзаро таъсирлашув маҳсулоти газ ҳолатида бўлади:

$$A_r + B_k = R_r \quad (2.49)$$

«г» ва «к» индекслар компонент қандай фазадалигини кўрсатади.

Бундай жараёнларга мисол қилиб кўмирнинг ёниши ($C + O_2 = CO_2$), кўмир газификацияси ($C + H_2O = CO + H_2$) ва эришни кўрсатиш мумкин. Бу жараёнларда қаттиқ материалнинг ўлчами дсакция ўтиши билан камайди, баъзан йўқолиб кетишгача боради.



2.22-расм. Гетероген жараён реакцияси $A_r + B_k = R_r$ схемаси («сикилувчи система»).

Жараён схемаси 2.22-расмда келтирилган. Заррача атрофидан ўтувчи оким идиш ҳажмида яхши аралашган бўлиб. А компонент концентрацияси окимда («оким ядроси» деган ибора ҳам маълум) доимий ва C_0 га тенгдир. Заррача юзасида ҳегара катлам вужудга келади (рангда пунктир чизик билан ҳегараланган). У орқали А компонент заррача юзасига киради, шу ерда реакция амалга ошади. Газсимон маҳсулотлар тескари йўл билан оким орқали чиқариб юборилади.

Модда ҳегара қават қалинлиги δ да диффузия орқали кўчади (диффузия коэффиценти D) ва масса алмашинувини коэффицент $\beta = D/\delta$ билан характерлайдилар.

Кўчиш механизми бунданда мураккаб бўлиши мумкин, лекин ихтиёрий ҳолатда уни масса алмашинуви коэффиценти β билан характерлайдилар. β ни ҳисоблаш учун критериял тенгламалардан фойдаланилади. Масалан, диаметри d бўлган якка силлик заррача қуйидагича ифодаланади:

$$Nu = 2 + 0,93 Re^{0,5} Sc^{1/3}, \quad (2,50 a)$$

бу ерда Нуссельт критерийси $Nu = \beta d/D$; Рейнольдс критерийси $Re = ud/\nu$; Шмидт критерийси $Sc = \nu/D$; u – оким тезлиги; ν – газ ёпишқоклиги.

Қўзғалмас донатор катламда ёнлаб ҳаракатланувчи заррача учун оламит:

$$Nu_c = 0,395 Re_c^{0,64} Sc^{1/3}; Re_c > 30, \quad (2.50 б)$$

бу ерда $Nu = \beta d_c/D$; $Re_c = u d_c/\nu$; $d_c = 4\epsilon/a$ – заррачанинг эквивалент диаметри; ϵ – катлам фарки; a – заррача солиштира юзаси.

Жараён структураси қуйидаги боскичлар билан белгиланади. Газ фазасида:

1) реагент Анинг окимдан юзага кўчиши (2.2. 2-расмда I боскич); бунинг учун Анинг концентрацияси юза C_0 да окимдагидан кам бўлиши керак; концентрациянинг бўлиниши расмнинг остки қисмида кўрсатилган;

2) А нинг каттик В билан реакцияси (II боскич) заррачанинг ташки юзасида рўй беради;

3) реакция маҳсулоти R нинг кўчиши юзадан окимга қараб боради; бунда реакция тезлиги Книнг концентрациясига боғлиқ бўлмайди ва юзадан чиқарилиши жараёнга таъсир кўрсатмайди, деб қабул қиламиз.

Қаттиқ фазада:

1) В нинг газ ҳолдаги А компоненти билан юзадаги реакцияси (II боским);

2) заррача ўлчамининг ўзгариши (камаиши) (III боскич): дастлаб заррача радиуси R_0 га тенг эди.

Қаттиқ реагент билан заррача ўлчами ўзгарувчи бундай гетероген схема «*сиқилувчи сфера*» дейилади.

Математик модель газ ҳолдаги реагентлар А ва қаттиқ ҳолдаги В ларнинг хусусиятларини ифодалашни ўз ичига олади. Конденсирланган фазадаги модданинг ҳажмий микдори – қаттиқ заррачада газдагига қараганда юзлаб баравар каттадир. Заррача ўлчами камаиши чегара қатламда концентрациянинг таралишига қараганда анча секин боради, шу боис газ фазадаги жараёнларни вақтнинг ҳар бир momentiда стационардир, деб ҳисоблаш мумкин. Стационар режимда А модданинг юзага оқими ($W_I - I$ боскич) ва А нинг ундаги реакцияси тезлиги ($W_{II} - II$ боскич) тенгдир:

$$W_I = W_{II} \quad (2.51)$$

А компонентнинг оқими заррача юзаси S_r га пропорционал ва А нинг оқим C_0 даги концентрациялари ҳамда $C_{ю}$ юзасидаги фарк

$$W_I = -\beta S_r (C_0 - C_{ю}) \quad (2.52)$$

Юзада биринчи тартибли реакция амалга ошади ва А нинг айланиш тезлиги заррачанинг ташқи юзасига пропорционалдир:

$$W_{II} = -k C_{ю} S_r \quad (2.53)$$

(2.52) билан (2.53) ни (2.50) тенгламага қўйиб, оламир

$$\beta(C_0 - C_{ю}) = k C_{ю}.$$

Энди А нинг юзадаги концентрациясини:

$$C_{ю} = \frac{C_0}{1 + k/\beta} \quad (2.54)$$

ва айланишнинг кузатиладиган тезлигини аниқлаймиз:

$$W_k = -k C_{ю} S_r = -\frac{k C_0}{1 + k/\beta} S_r \quad (2.55)$$

к ва β параметрлари комбинациясини K_k – *тезликнинг кузатиладиган константаси* (кузатиладиган реакция тезлигига ўхшаш) билан белгилаймиз:

$$K_k = \frac{k}{1+k/\beta} \quad (2.56)$$

ва кейин

$$W_k = K_k C_0. \quad (2.57)$$

Бундан, W_k биринчи тартибли реакция сифатида берилганлиги кўринади, лекин K_k физик мазмунга эга эмаски, жараён шароитларининг боғлиқ парааметридир. Агар реакция биринчи тартибли бўлмаса, унда w_k учун ёзилувчи ифода кинетик тенглама кўринишидан фарқлинишини сезиш мумкин. Масалан, агар юзадаги реакция иккинчи тартибда ($w_A = -kC^2$) бораётган бўлса, унда $W_k = -\beta^2/4k[\sqrt{(1+4_k C_0/\beta)} - 1]^2 W_k(C_0)$ учун ифодалаш шакли кинетик тенгламадан анча фарқланади.

Қаттиқ компонент N микдорининг вақт бирлигидаги ўзгаришининг ташқи юзасидаги айланиш тезлигига тенг бўлади:

$$dN/dt = w_B Sr. \quad (2.58)$$

Моддаларнинг айланиш тезликлари стехиометрик нисбат $w_B/v_B = w_A/v_A$ билан боғланган. Қаралаётган реакцияда (2.49) $v_B = v_A$ ва $w_B = w_A = -kC_{ю} = -K_k C_0$.

Қаттиқ компонент ҳажм бирлигидаги микдорини n_0 билан белгилаймиз (агар заррача – молекуляр массаси M га тенг ғовакмас модда бўлса ва зичлиги ρ деб олинса ва зичлиги бўлса, унда $n_0 = \rho/M$). dt вақти ичида реагент В дан $dN = n_0 S_r dr$ ча бўлган dr қалинликдаги юпка юза қават таъсирлашади. (2.58) тенгламани қуйидаги кўринишга ўтказамиз

$$n_0 S_r (dr/dt) = -K_k C_0 S_r$$

ва кейин

$$dr/dt = -K_k (C_0/n_0). \quad (2.59)$$

(2.59) тенгламани бошланғич момент $l=0$ дан то t моментгача интеграллаб (заррача ўлчами – дастлабки, яъни R_0) оламиз (бунда заррача ўлчами r гача кичиклашади).

$$R_0 - r = K_k (C_0/n_0)t. \quad (2.60)$$

Маълум вақт t_k дан кейин қаттиқ заррача тўла таъсирлашади («к» индекси реакция тамомланганлигини билдиради), яъни бу моментда $r=0$. Тўла айланиш вақтини (2.60) тенгламадан топамиз:

$$t_k = R_0 n_0 / (K_k C_0) \quad (2.61)$$

Ўлчамсиз радиус $\rho = r/R_0$ ни киритиб ва (2.61) тенгламадан фойдаланиб, (2.60) тенгламани ўлчамсиз кўринишга ўтказамиз:

$$\rho = 1 - t/t_k. \quad (2.62)$$

Амалиётда айланишни каттик: $x_n = (N_0 - N)/N_0$ нинг айланиш даражаси билан ифодалаш кулайдир. Дастлабки заррачадаги каттик миқдори $N_0 = \left(\frac{4}{3}\right)\pi R_0^3 n_0$ ва шу моментда $N = \left(\frac{4}{3}\right)\pi R_3^3 n_0$ га тенг, бундан чиқади:

$$x_B = 1 - \rho^3 \text{ ва } \rho = (1 - x_B)^{1/3}. \quad (2.63)$$

Айланиш даражасининг вақт билан ўзгариши:

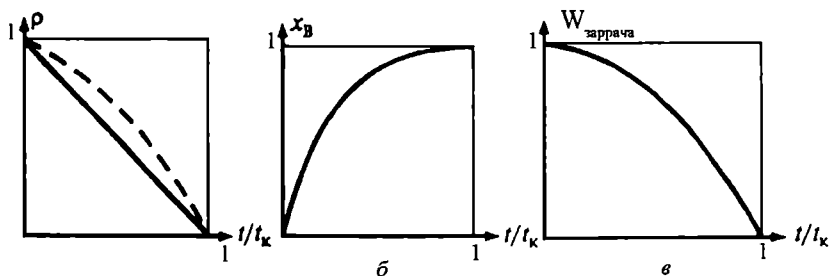
$$x_B = 1 - (1 - t/t_k)^{1/3} \quad (2.64)$$

Вақт ўтиши билан кузатиладиган айланиш тезлигининг битта заррача учун қийматини топиш мумкин бўлади:

$$W_{\text{к(заррача)}} = W_k S_r = W_k 4\pi r^2 = -4\pi R_0^2 K_k C_0 (1 - t/t_k)^2 \quad (2.65)$$

«Сиқилувчи сфера» гетероген жараён таҳлили

2.23-расмда масса алмашинув коэффициенти β кўрсатилган жараёнда ўзгармас деб олиниб, $\rho(t/t_k)$, $x_B(t/t_k)$, $W_{\text{заррача}}(t/t_k)$ ларнинг боғлиқлиги кўрсатилган. Бу ҳолда W_k (юза бирлигига ҳисобланганда) доимий ва ва ҳар бир вақт оралиғи (интервали) да битта қават бир хил қалинликда «сиқилади» – ρ вақт ўтиши билан чизиқли равишда ўзгаради (2.23, а-расмга қаранг).



2.23-расм. Вақт t ; нинг радиуссиз заррача ρ (а), каттик рсагент x_B (б) ва заррача $W_{\text{заррача}}$ (в) айланиш тезлигининг гетероген «сиқилувчи сфера» жараёни учун ўзгариши. t_k – тўла айланиш вақти. Пунктир чизиқ – ρ нинг заррача ўлчамининг ўзгаришини масса алмашинув коэффициенти β таъсиридаги ўзгариши.

Лескин реакцияга киришган каттик реагент микдори заррача юзасига пропорционал бўлиб, бу ўз навбатида ρ^2 га пропорционал ва вақт ўтиши билан камаяди. Шу боис x_{ii} бошида тез, кейин ескинрок ортиб боради (2.23, б=расм). Заррача $W_{k(\text{заррача})}$ нинг таъсирлашув тезлиги вақт ўтиши билан заррача камайиши – таъсирлашув юзаси камайишига боғлиқ ҳолда пасаяди.

Масса алмашинув коэффициенти β умумий ҳолда окимдаги заррача ўлчамига боғлиқ бўладики, (2.50) формуладан ўлчам катталашуви билан ортиши кўринади. Бу эффектни ҳисобга олиш кўрилатган боғланишларнинг таъсири борлигидан дарак беради. β ўзгариши максимал таъсирининг заррача ўлчамига боғлиқлиги 2.23, а-расмда пунктир чизиқ билан кўрсатилган.

Лимитловчи босқич ва жараён режимлари

Алоҳида жараённинг тезлиги (реакциялар, масса кўчиши, унинг параметрлари – катталиги, тезлик константалари, масса алмашинуви) ва ҳаракат кучи (реакция учун олинган концентрациялар, масса кўчиши концентрациялар фарқи билан аниқланади. Жараён параметри – унинг интенсивлиги характеристикасидир. Кўп босқичли жараёнда унинг босқичлари (босқичлари) нисбатлари ҳар хил бўлиши мумкин. Кўрилатган жараёнда кузатилган реакция тезлиги W_k ва тегишлича K_k реакция тезлиги константаси k ва масса алмашинув коэффициенти β га боғлиқ бўлади.

Агар $k \ll \beta$ бўлса, яъни реакция паст интенсивли бўлса, унда (2.54) тенгламадан $C_{ю} \approx C_0$ ни оламиз, реакция шу шароитда бўлиши мумкин бўлган концентрацияда ўтади (реакция максимал ҳаракатланиш кучига эга). Кузатилган айланиш тезлиги реакция тезлигига тенг ($W_k = -kC_0$) ва кўчиш параметрларига боғлиқ бўлмайди. Жараён **кинетик режимда** ўтади, реакция эса **лимитловчи босқич** ҳисобланади.

$k \gg \beta$ бўлган ҳолда масса алмашинув интенсивлиги камдир; (2.54) тенгламадан $C_{ю} \ll C_0$ ни оламиз, 2,55 дан эса $W_k = -\beta C_0$ – масса кўчиши максимал ҳаракатланиш кучи $C_0 - C_{ю} \approx C_0$ да амалга ошади. Айланиш тезлиги реакция параметрларига боғлиқ бўлмайди. Бу **диффузион режим** бўлиб, масса кўчиши **лимитловчи босқичдир**. Лимитловчи босқич – кўп босқичли жараён бўлиб, максимал ҳаракатлантирувчи куч билан характерланади.

Режим (ёки жараёниинг ўтиши соҳаси) ва лимитловчи боскич – кўп боскичли жараёнга тегишли тушунча ва характеристикалардир.

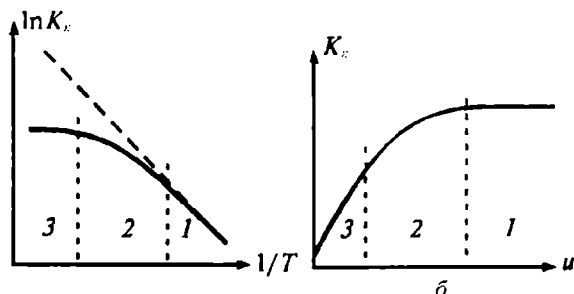
Лимитловчи боскичнинг иккинчи белгисини барча боскичлар харакатланиш кучи концентрация бўйича бир тартибли бўлгандагина қўллаш мумкин. Қаралаётган жараёнда реакциянинг харакатлантириш кучи ва масса кўчиши – концентрация бўйича биринчи тартиблидир. Масса кўчиши коэффициентлари p ва иккинчи тартибли реакция тезлиги константаси k ларни турлича катталиқда k учун солиштириб бўлмайди. Адабиётда лимитловчи боскич энг секин боскич дейилади. Лекин стационар режимда барча боскичлар тезлиги барабар бўлиб, улар тенглиги (2.51) тенгламадан $W = W$ кўринадики, доимо сакланади.

Лимитловчи боскични аниқловчи (ҳал қилувчи) боскич деб ҳам атайдилар. Бу иборани қуйидагича тушунмоқ керак. Агар жараёнинг бирор боскичи лимитловчи бўлса, унда тегишли режим ва шу боскич қонуниятлари мос келади. Масалан, кинетик режимда айланишнинг кузатиладиган тезлиги реакция тезлиги сингари температурага боғлиқ бўлади. Диффузион режимда w_k билан масса кўчиши мос келади. Лимитловчи боскич билан аниқловчи боскич доим ҳам бир-бирига мос келмаслигини эслатиб ўтамыз.

Жараён шароитларининг айланиш тезлигига таъсирини кўриб чиқамиз.

1. Температура таъсири. У K_k (2.56 тенгламага қаранг)нинг катталигига таъсир кўрсатади. Бу боғланишни Аррениус координатларида « $\ln K_k - 1/T$ » ифодалаймиз (2.24, a - расм). Расмда пунктлар билан $k(T)$ боғланиши кўрсатилган. Унча юқори бўлмаган температураларда (графикнинг ўнг қисми) реакция тезлиги константаси кичикдир ($k \ll \beta$), бу кинетик режимда. Бу соҳада K_k k билан мос келади. Юқори температураларда (графикнинг чап қисми) $k \gg \beta$, бу диффузион режимда; $K_k = \beta$ ва температурага даярли боғлиқ бўлмайди. Дарҳақиқат, масса алмашинув коэффициенти диффузия коэффициентиға пропорционалдир. Температуранинг 10°C га кўтариш реакция тезлигини тахминан икки барабарга, диффузия тезлигини эса бир неча фоизга оширади.

2. Оқим тезлиги таъсири. β бунга боғлиқдир (2.50 тенглама). Оқим u нинг кичик тезлигида $\beta \ll k$ деб тахмин қилиш мумкин,



2.24-расм. «Сикилувчи сфера» гетероген жараёнида айланиш тезлиги кузатилган константа K_k нинг температура T (а) ва зарра (б)ни айланиб ўтиш тезлигига боғлиқлиги. Жараён режимлари: 1 – кинетик; 2 – ўтувчи; 3 – диффузион.

бунда режим диффузия ҳолатида бўлади; $K_k = \beta$ бўлганда оқим тезлиги билан ортади. Оқим тез бўлганда β ортуви билан жараён режими кинетик ҳолатга ўтади ва u га боғлиқ бўлмай қолади. $K_k(u)$ нинг ўзгариши 2.24, б-расмда кўрсатилган.

Жараён интенсификацияси. Бу тўла айланиш вақти t_k нинг камайиши орқали аниқланади. (2.61) ва (2.56) тенгламалардан аниқлаймиз:

$$t_k = \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{\beta} \right) \frac{R_0 n_0}{C_0}.$$

Мазкур тенглама кўринишидан те нинг камайиш йўллари ва жараёни интенсификациялаш аниқланади: газдаги компонент концентрацияси C_0 нинг ошуви; заррачаларнинг майдаланиши – R_0 нинг камайиши; температура кўтариш орқали тезлик константаси k ни ошириш (кинетик ҳолатда); масса алмашинув коэффициенти β ни оқими турбилизациялаш орқали ошириш, бунда заррача айланиб ўтиш тезлигини оширишга ҳам эришилади (айниқса: диффузион шароитда).

T билан u нинг жараёни интенсификациялашдаги таъсири бирмунча чегаралангандир.

Қаттиқ заррача ўлчами ўзгармайдиган жараён. Газнинг қаттиқ заррача билан таъсирлашув маҳсулотларидан бири – қаттиқ модда:

$$A_r + B_k = R_r + S_k \quad (2.66)$$

Реакция хом ашё ва масулотнинг каттик фазаси ажратпш чегарасида ўтади ва топокимёвий реакция дейилади. Жараён саноатда кенг тарқалган бўлиб, буларга мисол қилиб табний газни оксид-рух ютгичида олтингугуртдан тозалаш ($\text{H}_2\text{S} + \text{ZnO} = \text{H}_2\text{O} + \text{ZnS}$), олтингугуртли рудаларни ёндириш ($4 \text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 8\text{SO}_2 + 2\text{Fe}_2\text{O}_3$), металллар оксидларини қайтариш, металлларни оксидлаш ва бошқаларни кўрсатиш мумкин. Буларга каттик кўп компонентли бирикмалар таркибидаги бир қисми моддаларнинг ёниши (кулли кўмирлар); ишқорлаш (бир қисм компонентларнинг эриши), хемосорбциянинг баъзи жараёнлари, катализаторларнинг қайтарилиши ва захарланиши (буларда жараён каттик заррачанинг ички қисмига фронталь йўналади).

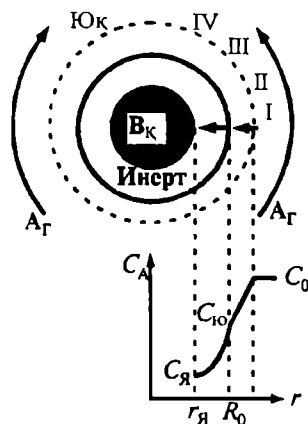
Жараён схемаси 2.25 - расмда келтирилган. Ко радиусли заррача реагент концентрацияси C_0 бўлган газ оқими ичидадир. Заррачани чегара қавати ўраб туради, бу орқали заррача юзаси ва оқим ядроси масса алмашинуви амалга ошади. Реакция юзада бошланади ва частица ичига фронтал равишда тарқалади. Маълум вақтдан кейин заррача $r_я$ радиусли ядродан иборат бўлади, бунда таъсирлашмаган модда В ва махсулотнинг ташқи қавати ёки реакцияга кирмовчи, яъни ўтаётган реакцияга бефарқ бўлган компонентлар учрайди. Реакция каттик фазалар чегараси – ядро юзасида ўтади, натижада ядро камаяди, лскин заррача ўлчами (Ко сақланади. Жараённинг бундай схемаси «сикилувчи ядро» дейилади.

Жараён куйидаги босқичлар (босқичлар)ни ўз ичига олади. Газ ҳолдаги компонентлар учун:

А компонентларни оқимдан заррача юзасига кўчириш (2.25-расмдаги I босқич);

инерт қаватидан реагентни ядро юзасига кўчириш (II босқич);

одатда, инерт ғовак материал ва компонент кўчиши ғоваклар орқали диффузия билан амалга ошади;



2.25-расм. Реакцияси гетероген бўлган $A_1 + B_k = R_1 + S_k$ («сикилувчи ядро») жараён схемаси.

A_r нинг B_r билан ядро юзасидаги реакция орқали (III босқич).

Газ ҳолдаги маҳсулотлар тескари тартибда чиқариб юборилади. Булар айланиш тезлигига таъсир этмайдилар деб ҳисоблаймиз. Каттиқ компонентлар учун:

каттиқ В нинг A_r билан ядро юзасидаги реакцияси (III босқич);
ядро ўлчами ўзгариши (IV босқич).

А нинг концентрацияси тарқалиши 2.25-расмнинг остки қисмида кўрсатилган.

Математик модель. Ушбу жараён юқорида кўриб ўтилганга ўхшайди. $C_{ю}$ ва C_R лар билан Анинг заррача ташқи юзаси ва ядро олдидаги концентрацияларини белгилаймиз. D – Анинг инерт қаватидаги диффузия коэффициенти; W_1 , W_2 , W_3 – А компонент оқимлари ўқи А нинг жараённинг тегишлича босқичларидаги айланиш тезлиги. Стационар режимда

$$W_1 = W_{II} = W_{III} \quad (2.67)$$

А компонентнинг Яо радиусли заррача юзасига оқими топилади

$$W_1 = -4\pi R_0^2 \beta (C_0 - C_{ю}) \quad (2.68)$$

Компонент А нинг инерт қатлами орқали кўчиши $4\pi r^2 g$ тенгламаси билан ифодаланувчи диффузион жараёндир. А нинг радиусли инерт қаватли сферик юзаси орқали оқими ($r_2 < r < R_0$):

$$W_{II} = -4\pi r^2 D (dC/dr). \quad (2.68 a)$$

Реагентлар кўчиш юзаси $4\pi r^2 g$ га боғлиқ, лекин оқим катталиги W_{II} стационар ҳолатда ўзгармасдир, шу боис ўқи

$$\frac{d}{dC} \left(-D \cdot 4\pi r^2 \frac{dC}{dr} \right) = 0$$

Чегара шартлари: бунда $r = R_0$ $C = C_{ю}$; $r = R_A$ $C = C_A$.

Ўлчамсиз радиус $\rho = r/R_0$ киритамиз. Сўнги тенгламага $r = \rho R_0$ ни қўйиб ва доимий катталикларни кискартириб, уни айлантирамиз (ўзгартирамиз):

$$\frac{d}{d\rho} \left(\rho^2 \frac{dC}{d\rho} \right) = 0 \quad (2.69)$$

Чегара шартлари:

$$C(1) = C_{ю}; C(\rho_*) = C_я \quad (2.69 a)$$

бу ерда $\rho_* = r_* / R_0$.

(2.69 a) тенгламани икки марта интеграллаймиз:
биринчи интеграллаш:

$$\rho^2 dC/d\rho = A, \text{ ёки } dC/d\rho = A/\rho^2; \quad (2.70)$$

иккинчи интеграллаш:

$$C = -A/\rho + B.$$

Интеграллаш константалари бўлган A ва B ларни чегара шароитлари (2.69 a) тенгламадан топамиз:

$C(1) = -A + B = C_{ю}; C(\rho_*) = -A/\rho_* + B = C_я$. Кейинги икки тенгламадан топамиз

$$A = \frac{\rho_*}{1 - \rho_*} (C_{ю} - C_я).$$

Энди (2.68 a) тенгламани ўзгартириб, бунинг учун оқим W_{II} ни $r = r_*$ деб оламиз ва ўлчамсиз радиус ρ_* га ўтамиз. w_{II} учун келтирилган тенгламада $\rho = \rho_*$ қилиб (2.70) тенгламадан $dC/d\rho$ ни қўямиз, бунда A учун бўлган ифодадан фойдаланамиз. Бунда оламиз

$$W_{II} = -4\pi R_0 D \frac{\rho_*}{1 - \rho_*} (C_{ю} - C_я) \quad (2.71)$$

A билан B реакцияни биринчи тартибли деб қабул қиламиз. W_{III} айланиш тезлиги ядро юзасига пропорционалдир:

$$W_{III} = -4\pi r_*^2 k C_я = -4\pi R_0^2 k \rho_*^2 C_я. \quad (2.72)$$

(2.68), (2.71) ва (2.72) тенгламаларни (2.67) тенгламага қўйиб, оламиз:

$$\begin{aligned} 4\pi R_0^2 \beta (C_0 - C_{ю}) &= -4\pi R_0 D \frac{\rho_*}{1 - \rho_*} (C_{ю} - C_я) = \\ &= -4\pi R_0^2 k \rho_*^2 C_я = W_{заррача}. \end{aligned} \quad (2.73)$$

W_{III} нинг ядродаги айланиш тезлиги A нинг W заррачадаги айланиш тезлигининг худди ўзгинасидир. Иккилама тенгликнинг ҳар бир ифодаси (2.73 да) W заррачага тенгдир. Кузатилган айланиш тезлиги W_* ни қаттиқ заррача ҳажм бирлигининг $4/3 \pi R_0^3$ га тенглаштирилганлигига таққослаймиз:

$$\frac{3/R_0\beta(C_0 - C_*)}{a} \quad \frac{3/R_0^2 D\rho_*/(1 - \rho_*)(C_0 - C_*)}{b} \quad \frac{3/R_0 k\rho_*^2 C_0 \equiv W_1}{c} \quad (2.74)$$

Мазкур иккалама тенглик икки тенгламанинг мажмуасидир ($a=b$ ва $b=c$), бундан C_0 билан C_* «кузатилмайдиган» концентрацияларни ва кейин W_1 ни топиш мумкин:

$$W_1 = \frac{(3/R_0)k\rho_*^2 C_0}{1 + (k/D)R_0\rho_*(1 - \rho_*) + (k/\beta)\rho_*^2} \quad (2.75)$$

ядро ρ_* ўлчами ўзгаришини (2.58) тенгламага ўхшашдан аниқлаймиз:

$$dN/dt = w_0 \pi r_*^2 \quad (2.76)$$

Қаттиқ dN нинг dt вақтда ядро юзасида ўзгарадиган миқдори $dN = 4\pi r_*^2 dr_* n_0$ га тенг бўлади. Қаттиқ ядронинг V компоненти айланиш тезлиги A нинг заррачадаги айланиш тезлиги: $w_0 4\pi r_*^2 = W_1 \cdot (4/3)\pi R_0^3$ га тенг бўлади. Бу нисбатлар ва ядронинг ўлчамсиз радиусидан фойдаланиб, (2.74)ни ўзгартирамиз:

$$d\rho_*/dt = w_0/(3n_0\rho_*^2). \quad (2.77)$$

(2.73) ни (2.75) тенгламага қўйиб, жараённинг ядро радиуси ўзгариши ва бошқа кўрсаткичларини топиш мумкин бўлади.

Жараён таҳлилини лимитловчи босқичларни ҳар хил режимларда кўриб чиқамиз.

А. Ташки диффузион режим. Лимитловчи босқич – заррачани ўраб олган газ қаватидан компонентининг кўчишидир. Лимитловчи босқич тушунчасидан кўрилатган режимдаги ташки кўчиш босқичидаги максимал ҳаракатлантирувчи куч $C_0 \ll C_*$ ёки $C_0 - C_* \approx C_0$ бўлади. Концентрациялар тақсимланиши 2.26-расмда 1 чизиқ билан кўрсатилган. (2.74) тенгламадаги a иборасидан фойдаланиб, W_1 учун (2.77)дан оламиз.

$$-d\rho_*/dt = \beta C_0/(R_0 n_0 \rho_*^2)$$

Мазкур тенгламани интеграллаймиз:

$$-\int_0^{\rho_*} \rho_*^2 d\rho_* = \frac{\beta C_0}{k n_0} \int_0^1 dt;$$

$$1 - \rho_{\text{я}}^3 = \frac{\beta C_0}{kn_0} t.$$

ва оламиш

Тўла айланиш вақти ($\rho_{\text{я}} = 0$ бўлганда) тенг бўлади:

$$t_k = R_0 n_0 / (3\beta C_0). \quad (2.78)$$

Қаттиқ модданинг айланиш даражаси $x_B = 1 - \rho_{\text{я}}$ дир. Энди а ифодасидан (2.74) $\rho_{\text{я}}$, x_B ва W_k лар учун сўнгги ифодаларни олиш мумкин бўлади:

$$\rho_{\text{я}} = \left(1 - \frac{t}{t_k}\right)^{1/3} \quad x_B = \frac{t}{t_k}; \quad W_k = -\frac{3}{R_0} \beta C_0 \quad (2.79)$$

Тегишлича боғланишлар 2.27-расмда берилган. Заррача ўлчами ва масса алмашинув шароитлари вақт ичида ўзгармайди ва жараён тезлиги w_k ҳам доимийдир.

Шу боис x_B чизиқли ўсади, $\rho_{\text{я}}$ эса аввалига секин ўзгаради, кейин ядро кичиклаша боруви билан тез ўсади.

Б. Ички диффузион режим.

Лимитловчи боскич – заррача ичидаги диффузион ташиш бўлиб, инерт қаватдан ўтишдир. Максимал ҳаракатланувчи куч мана шу боскичда бўлади, бунда $C_0 \approx C_{\text{ю}}$, $C_{\text{я}} \ll C_{\text{ю}}$ ва $C_{\text{ю}} - C_{\text{я}} \approx C_0$ деб қабул қилиш мумкин,

Концентрациянинг тегишлича бўлиниши 2.26-расмдаги 2 чизик билан кўрсатилган. (2.74) тенгламадаги в ифодасини (2.77) тенгламага қўямиз.

$$-\frac{d\rho_{\text{я}}}{dt} = \frac{DC}{R_0^2 n_0} \rho_{\text{я}} (1 - \rho_{\text{я}}).$$

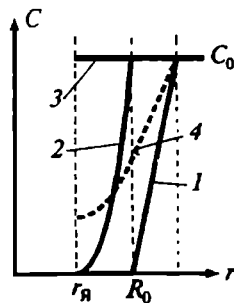
Ушбу тенгламани интеграллаймиз:

$$t = \frac{R_0^2 n_0}{6DC_0} (1 - 3\rho_{\text{я}}^2 + \rho_{\text{я}}^3).$$

Тўла айланиш вақти

$$t_k = R_0^2 n_0 / (6DC_0) \quad (2.80)$$

2.26-расм. Газсимон компонент А концентрациясининг «сикилувчи ядро» гетероген жараёнида куйидаги режимларда бўлиниши: 1 – ташки диффузион; 2 – ички диффузион; 3 – кинетик; 4 – ўткинчи.



Бу срада $p_a(t)$ ва $x_a(t)$ лар боғланишини аниқ олиб бўлмайди.

$$t/t_k = 1 - 3\rho_a^2 + \rho_a^3; \quad t/t_k = 1 - 3(1 - x_a)^{2/3} + 2(1 - x_a). \quad (2.81, a)$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги (2.74) тенгламадаги b ифодасидан келиб чиқади:

$$W_k = \frac{3D}{R_0^2} \frac{\rho_a}{1 - \rho_a} C_0, \quad W_k = -\frac{3D}{R_0^2} \frac{(1 - x_a)^{1/3}}{(1 - x_a)^{1/3}} C_0, \quad (2.81б)$$

Тегишлича боғланишлар 2.27-расмда 2 чизиклар орқали кўрсатилган. Вақт ўтиши билан айланиш секинлашади, бунда инертнинг қавати қалинлашади, секинлашади, бунда жараёни лимитловчи диффузия инертнинг қалинлашувчи қавати орқали амалга ошади. $p_a \rightarrow 1$ ёки $x_a \rightarrow 0$ бўлганда жараён бошланишдаёқ W_k нинг чексизликка интилишига аҳамият берайлик. Бошда инерт қавати юпқа бўлиб, жараён лимитловчи босқичи – ундан массанинг кўчиши, кам асослангандек ва ички диффузион режим 2.81 даги тенглама моделини қўллаб бўлмайдигандек кўринади. Бунинг натижаси $x_a \rightarrow 0$ бўлганда $W_k \rightarrow \infty$ бу модел хоссаси ҳисобланиб, жараёнга тегишли бўлмайди.

В.Кинетик режим. Лимитловчи босқич – концентрация максимал, яъни $C_0 \sim C_{ю} \sim C_a$ бўлганда кимёвий реакция ўтишидир. Концентрацияларнинг тарқалиши 2.26-расмдаги 3 чизик билан ифодаланган. (2.74) тенгламадаги b ифодасини (2.77) тенгламага қўямиз:

$$d\rho_a/dt = -3kC_0/(R_0n_0)$$

Бу тенгламани интеграллаймиз:

$$t = \frac{R_0 n_0}{k C_0} (1 - p_a) \quad (2.82)$$

Тўла айланиш вақти ($\rho_a = 0$)

$$t_k = R_0 C_0 / (k C_0),$$

ва ρ_a , x_a ва W_k ифодалар учун (2.74) тенгламадаги b ифодасидан қуйидагилар келиб чиқади:

$$\rho_a = 1 - t/t_k; \quad x_a = 1 - (t/t_k)^3; \quad (2.83 a)$$

$$W_k = (-3k/R_0)(1 - t/t_k)^3 C_0;$$

$$W_k = (-3k/R_0)(1 - x_a)^{2/3} C_0. \quad (2.83 б)$$

Тегиншлича боғланишлар – 2.26-расмдаги 3 чизиклардир. Заррачадаги айланиш тезлиги вақт бўйлаб пасаяди, бунда реакция ўтказиш жойи – ядро юзаси камаяди. Юза бирлигига бўлинган реакция тезлиги ўзгармайди, реакция доимий концентрация C_0 да ўтади, ядро ўлчами бир хил маромда камайиб боради.

Жараён шароитларининг айланиш тезлигига таъсири ёзилган режимлар учун ҳар хилдир. Буни вақт бўйича тўла айланиш t_k (2.78), (2.82) тенгламалар ва кузатилган тезлик константаси K_k бўйича кузатамиз. Уни (2.75) тенгламадан C_0 нинг олдидаги ҳамкўпайтмаси сифатида олиб, қуйидаги ҳолга келтирилади:

$$K_k = 3 \left(\frac{R_0}{k\rho_a^2} + \frac{R_0^2}{D} \frac{1-\rho_a^2}{\rho_a} + \frac{R_0}{\beta} \right)^{-1} \quad (2.84)$$

Ковусдаги ибораларнинг ҳар бири жараённинг тегиншлича босқичига «жавоб» беради. Кузатилган тезлик константаси жараён босқичлари параметрлари (k, D, β), заррача ўлчами (R_0) ва ядро заряд (ρ_a) ларига боғлиқдир, яъни у жараёнда ўзгаради. Мазкур константа каттик заррача айлана борган сайин бир режимдан иккинчи режимга ўтишга олиб келиши мумкин. Ташқи диффузион режимда бошланган режим ички диффузионга ёки кинетика ўтади, чунки ρ_a камайиши билан (2.84) тенгламадаги жараённинг бу ҳолатда ўтишига «жавобгар» бўлган биринчи ва иккинчи «иборалар» ўсади.

Ўтказилган ҳисоблар ва тажрибалар заррача атрофидан ўтаётган оқим тезлиги масса алмашинув коэффициенти β га, яъни ташқи диффузион режим жараёнига таъсир этишини кўрсатди. Бу ерда оқим тезлиги чегараланганлиги ҳам билинади.

Заррачани майдалаш (R_0 нинг кичрайтиши) жараёни интенсификацияда ижобий рол ўйнайди, айниқса, ички диффузион майдонда бу жуда сезилади, чунки бунда t_k нинг K_0 га боғлиқлиги квадратга кўтарилади (2.82 тенгламага қаранг). Бу режимда жараёнга таъсир этишнинг бошқа иложи йўқ бўлиб, бунда D – ҳосил бўлувчи инерт материалнинг индивидуал параметридир.

2.4.3. «Газ (суюқлик)-суюқлик» системаси

«Газ (суюқлик)-суюқлик» системасидаги ўзаро таъсир саноатда фазалар контакти усули бўйича бир неча кўринишларга бўлинади:

– барботаж (диспергирланган газ пуфаклар сифатида суюқлик бўйлаб кўтариллади);

– суғориш (томчилар сифатидаги суюқлик газ орқали чиқади);

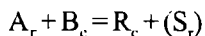
– плёнкасимон оким (суюқлик юза бўйлаб плёнка кўринишда оқади, газ оқими эса у бўйлаб ўтади);

– насадкали колоннада контакт орқали (плёнкасимон окимга яқин, суюқлик насадкадан нотекисроқ ҳолатда ўтади, газ эркин бўшлиқдан ўтади);

– газ-суюқлик оким (газ ва суюқликнинг кўзғолган оқими бир йўналишда характерланади).

Жараён схемаси 2.28-расмда келтирилган бўлиб, газнинг суюқлик билан ўзаро таъсирлашуви куйидагича кўринишда бўлиши мумкин: газ билан суюқлик оқими учрашади; фазалар бўлиниши чегараси мавжуд; компонентлар фазалар бўлиниши чегарасидаги юзадан кўчади; реакция фазалардан бирида ёки иккаласида амалга ошади. Ажратилган элементда компонентлар концентрацияси ҳар бир фазада бир хилдир. Шундай элемент сифатида: маълум ҳажмли атрофи суюқлик бўлган газ пуфаги; газ ҳажмидаги томчи ёки плёнкасимон газ-суюқлик окимининг элементар қисмини ажратиш мумкин.

Жараёнда куйидаги вариантни кўриб чиқамиз. Дастлабки компонентлардан А – газда ва В – суюқликда жойлашган. Улар миқдори жараён шароитларига қараб олинган: А нинг газдаги парциал босими – P_A ва В нинг суюқликдаги концентрацияси – C_B . Реакция суюқ фазада олиб борилади. Реакция маҳсулотлари суюқликда қолади ёки газга ўтиши мумкин:



Реакция тезлиги куйидаги кинетик реакция билан ифодаланади:

$$r = k C_A C_B, \quad (2.85)$$

бу ерда C_A – суюқ фазадаги А нинг концентрацияси.

Жараён структураси. Иккала фаза оқувчан, шу сабабдан фазалар бўлиниши чегарасида диффузион чегараланиш қаватларини ажратнш мумкин. Жараён босқичлари куйидагилардир:

1) А компонентнинг газ ҳажмидан газ чегаравий қавати орқали фазалар бўлиниши чегараси юзасига қараб кўчиши (I босқич);

2) А кўчишнинг бўлиниш юзасида газдан суюқликка қараб амалга ошуви (II босқич)

3) А нинг бўлиниш юзасидан суюклик чегара каватдан суюклик ҳажмига кўчиши (III боскич).

4) А ва В лар орасидаги реакция суюкликда бориши (IV боскич).

Реакция суюкликнинг чегара каватида ҳам ўтиши мумкин, албатта, лекин унинг ҳажми ва умумий айланишдаги ҳиссаси камлигидан, реакция суюклик ҳажмидагина муқобилдир. Реакция маҳсулотлари жараён тезлиги ва масса кўчиш параметрларига таъсир этмайди ва кўчиш босқичларини ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

А концентрациясининг мумкин бўлган тарқалиши 2.28-расмда келтирилган.

Математик модель кўрсатилган кетма-кетликда оқимлар W_I , W_{II} ва W_{III} нинг кўчиш босқичида барабарлигига ва компонент А нинг айланиш тезлиги W_{II} га асосланган:

$$W_I = W_{II} = W_{III} = W_{IV}. \quad (2.86)$$

Газ чегара каватдан кўчишни қуйидагича ёзамиз.

$$W_I = \beta_r S (P_A^* - P_A) \quad (2.87)$$

бу ерда β_r – газ билан фазалар бўлиниш юзаси масса алмашилиш коэффиценти; P_A^* – А нинг фазалар бўлинишидаги парциал босими; S – фазалар бўлиниши юза катталиги.

$P_{[A]}$ – А нинг бўлиниши фазаси юзасидаги парциал босим; S – фазалар бўлиниш юзаси катталиги.

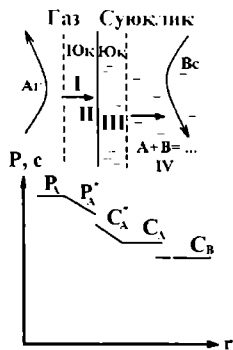
Фазалар бўлиниш юзасидаги кўчиш молекулалар ўлчами ма-софасида амалга ошади, газдаги юза олди парциал босим P_A ва суюкликдаги концентрация C_A^* мувозанатда бўлади (2.28-расмга қаранг):

$$C_A^* = K_A P_A^*, \quad (2.88)$$

бу ерда K_A – абсорбция константаси.

А нинг чегара каватдан кўчиши:

$$W_{II} = -\beta_c S (C_A - C_A^*), \quad (2.89)$$



2.28-расм. «Газ-суюклик» гетероген жараённи схемаси.

бу ерда β_c фаза бўлиниши юзаси билан суюклик ҳажми орасидаги масса кўчуви коэффициентиги.

Рсакция суюкликда ўтади ва А нинг унинг ҳажмидаги айланиш тезлиги v_c тенг бўлади:

$$W_{IV} = -kC_A C_B v_c. \quad (2.90)$$

(2.87), (2.89) ва (2.90) ларни (2.86) тенгламага кўйиб, оламиз:

$$\frac{-\beta_r S(P_A^* - P_A)}{a} = \frac{-\beta_c S(C_A - C_A^*)}{b} = \frac{-kC_A C_B v_c}{c}. \quad (2.91)$$

Фазалар бўлиниш чегарасидан ўтувчи оқим фазавий мувозанат шароити билан алмашинади (2.88). Учта тенглама: бири – (2.88) ва иккитаси – (2.91) тенгламадан ($a = b$ ва $b = c$) – учта номаълумни топишга имкон беради:

($a = b$ ва $b = c$) – уч номаълум барқарорлашган концентрациялар P_C^* , C_A^* ва C_A ни аниқлашга ёрдам беради. (2.91) тенгламадаги $a = b$ дан (2.88) тенгламадаги нисбатни ҳисобга олган ҳолда топамиз:

$$C_A^* = (\beta_c C_A + \beta_r P_A) / (\beta_c + \beta_r / K_s) \quad (2.92)$$

(2.92) тенгламани (2.91)даги $b = c$ тенгламага кўйиб, оламиз.

$$C_A = \frac{K_a P_A}{1 + (k/S_{\text{сол.}})(K_a/\beta_r + 1/\beta_c)C_B} \quad (2.93)$$

Бу ерда одатда суюклик билан газнинг контакт майдони кенглигини характерловчи фазалар бўлиниш солиштирма юзаси $S_{\text{сол.}} = S_{\text{сол.}} = S/v_c$ дан фойдаланилади.

Агар кўчиш бир мухитдан иккинчисига ўтишида бир неча кетма-кет босқичларда борса, унда унинг интенсивлиги газ билан суюклик орасидаги масса кўчиш умумий коэффициенти β билан аниқланади:

$$1/\beta = K_s/\beta_r + 1/\beta_c. \quad (2.94)$$

Оқувчан мухитдан ташкил топган ҳаракатчан системада фазалар бўлиниши чегараси ҳам ҳаракатчан бўлади. Фазалар орасидаги масса кўчувчи шароитлари билан коэффициент β ва юза контакти $S_{\text{сол.}}$ ҳажм бўйича ўртачалаштирилади. Масалан, суюкликларда масса кўчиш коэффициенти β_o суюклик ҳажмининг бирлигига нисбат килиб олинади:

$$\beta_o = \beta S_{\text{с.о.л.}} \quad (2.95)$$

β_o катталниг концентрация билан вақтнинг нисбати катталигига мос келишини /мол [моль/м³·с]да текшириб кўриш мумкин.

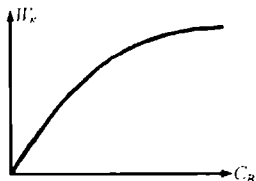
Масса кўчишининг бундай «ҳажмий» коэффициенти жараён ҳисоби учун қулайдир – унинг катталиги биринчи тартибли тезлик константаси катталиги билан мос тушади. Бундан ташқари экспериментал тадқиқотларда бсриладиган таркиб фазалари орасидаги модда оқимини ўлчайдилар, шу боис масса кўчишининг ҳажмий коэффициенти β ни топадилар. (2.94) ва (2.95) тенгламалардан фойдаланиб, А компонентнинг суюқ фазадаги концентрациясини (2.93) қуйидаги кўринишда ифодалаймиз.

$$C_A = \frac{K_A P_A}{1 + (k/\beta_o) C_B} \quad (2.96)$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги W_k ни C_A учун топилган ифодани (2.96) тенгламадагидан кинетик тенглама (2.85)га қўйган ҳолда топамиз.

$$W_k = \frac{k K_A P_A C_B}{1 + (k/\beta_o) C_B} \quad (2.97)$$

«Газ-суюклик» жараёни таҳлили. Бунда W_k учун ёзилган ифоданинг кинетик тенгламага нисбатан ўзгачароқ эканлиги кўзга ташланади. Агар реакция тезлиги А ва В компонентлари учун биринчи тартибли бўлса, унда кузатиладиган тезлик компонентлардан бири реакцияни секинлаштиришга характерли бўлади. Мазкур ҳолатда В нинг концентрацияси ортиши билан реакция В нинг миқдorigа боғлиқ бўлмаган ўлкага ўтади – бу компонент бўйича нолинчи тартибга эга бўлади, бунини (2.97) тенглама ҳам кўрсатади. Бу 2.29-расмда келтирилган боғланиш билан ифодаланadi. Реакциянинг тезлиги «тормозланиш» сабаби суюкликда А компонентнинг етишмаслигидир. В нинг концентрацияси ортиши билан суюкликка тушувчи А компонент кўпроқ сарфлана бошлайди ва унинг концентрацияси камаяди. C_B нинг янада кўпайиши суюкликка ўтувчи А компонентнинг барча миқдори шу заҳоти реакцияга киришади, у етишмайди, реакция тезлиги C_B га боғлиқ бўлмай қолади.



2.29-расм. Айланишнинг кузатилган тезлиги W_k «газ-суюқлик» гетероген жараёнда C_B суюқликнинг B концентрациясига боғликлиги.

Жараён режими. Кинетик режимда максимал ҳаракатланувчи куч реакцияда бўлади. Мазкур ҳолатда агар суюқлик компонент A билан тўйинган бўлса амалда, яъни $C_A = K_A P_A$ шарт бажарилганда амалга ошади. Бу $k/\beta_o C_B \ll 1$ бўлганда бажарилади (2.96) ва унда оламиз.

$$W_k = -k K_A P_A C_B, \quad (2.98)$$

демак, айланиш тезлиги кинетик константа k га боғлиқ экан.

Диффузион режимда лимитловчи босқич – модданинг газдан суюқликка кўчиши ҳисобланади.

Мазкур ҳолатда C_A нолга яқин бўлади, чунки бу $k C_B / \beta_o \gg 1$ бўлганда амалга ошиб, оламиз:

$$W_k = \beta_o K_A P_A, \quad (2.99)$$

бу A компонентнинг тоза, суюқликда A бўлмаган ҳолдаги кўчиш тезлигига тенг бўлади ва масса кўчиш коэффиценти β_o га боғлиқ бўлади.

Жараёни интенсификациялаш. Кинетик зонада асосий таъсир температура орқали боради, бунда реакция тезлиги константаси k унга боғлиқ бўлади (2.98), диффузион режим эса масса кўчиш коэффиценти β_o (2.99 тенгламага қаранг)га боғлиқ бўлган оқимлар тезлиги ва уларнинг турбулизациясига боғлиқ бўлади. β_o га фазалар контакти юзаси таъсир этади. Шу боис оқимларнинг диспергирланиши (пуфаклар ёки томчиларнинг кичрайиши) доимо ижобий таъсир кўрсатади. Бу ерда чегараланишлар ҳам вужудга келади, Барботажда пуфаклар ҳаракати, уларнинг суюқлик қаватидан юзага чиқиши гравитация билан аниқланади, бу ҳодисани эса бошқариб бўлмайди. Кўтарилаётганда майда пуфакчалар бирлашади: йириклари майдаланади. Реал ҳолатда ҳажмий коэффицент катталигини $\beta_o = 0,2 \div 0,3 \text{ с}^{-1}$ гача етказиш мумкин. Фазалар контакт юзаси насадка ёрдамида мажбурий равишда оширилиши мумкин. Бу ишнинг ҳам чегараси бор. Кенг юзали майда насадка қаватида газ ва суюқлик оқимлари учун бўшлиқ чеклан-

гандир. Масса ўтишининг ҳажмий коэффициентини 0,5–0,6 с га
скакиш мумкин.

Ихтиёрий газ-суюклик ржимидаги жараёни интенсифика-
циялашнинг яна бир усули бўлиб, бу газнинг суюкликда эришини
яхшилашдир: абсорбция константаси K_a [(2.88) тенгламага қаранг]
нинг ортуви билан айбланишнинг кузатилган тезлиги ўсади (2.97).

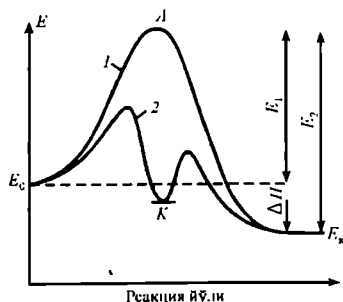
2.5. КАТАЛИТИК КИМЁВИЙ ЖАРАЁН

2.5.1. Катализ ва катализаторлар

Қатор кимёвий жараёнлар ўтишини тезлатиш учун уларни
иницирлаш талаб қилинади. Бундай инициаторлар бўлиб кимё-
вий моддалар ҳисобланмиш катализаторлар хизмат қилади. Булар
иштирокида боровчи жараёнлар **каталитик жараёнлар** дейилади.
Махсус моддалар – катализаторлар кимёвий реакцияларни кўзғатиш
ҳодисаси *катализ* асосини ташкил этади. *Катализатор* реакция да-
вомида моддалар билан оралик бирикмалар ҳосил қилади ва кейин
охирида ўзининг дастлабки ҳолатига қайтади.

Каталитик таъсир моҳияти қуйидагидан иборатдир. Кимёвий ай-
ланиш ортикча энергияга эга бўлган актив комплекс ҳосил бўлиши
орқали боради. Бу компонентларнинг айланиши қайта гуруҳланиш
ёки ўзгариш ва янги кимёвий боғлар ҳосил бўлиши учун етарли
бўлган моддалар бўлган реакция маҳсулотларига олиб келади. Ки-
мёвий ўзаро таъсирда система энергияси ўзгариши 2.30-расмдаги
эгри чизиқда ўз аксини топган.

2.30-расм. Система энергияси E нинг реакция
ўтиши билан ўзгариши (реакция йўлида)
бевосита кимёвий таъсирлашув (1) ва ка-
тализатор (2) иштирокида. A – актив ком-
плекс; K – катализатор билан ҳосил бўлган
оралик модда; E_0 , E_K – дастлабки ҳом ашё ва
маҳсулотлар энергияси; E_1 , E_2 – тўғри ва те-
скари йўналишдаги активланиш энергиялари;
 ΔH -айланиш натижасидаги энергия ўзгариши
(иссиқлик эффекти).



Лекин барча молекулалар ҳам актив комплекс ҳосил қилишга старли энергияга эга бўлавермайдилар, активланиш энергияси бўлган E_1 никидан катталаригина бунини амалга ошира олади (2.30-расмга қаранг).

Агар зарур энергия E_1 катта бўлса, унда реакция амалда бормайди. Катализатор янги реакция йўлини очади, бунинг боиси ушунча ҳосил бўлиши мумкин бўлган актив комплексга қараганда кимёвий таъсирлашувда кам энергия сарфланади.

Иккинчи босқич (босқич)дан кийин реакцияда катализатор ўзининг кимёвий таркибини ўз ҳолига қайтаради ва унинг компонентлари маҳсулот таркибига кирмайди. Реакция йўли узайсада, босқичли ўтади, актив комплекс энергияси камайиши реакциянинг тезлигини оширишга олиб келади. Каталитик реакцияда система энергиясининг ўзгариши 2.30-расмдаги 2 эгри чизиғи билан кўрсатилган.

Таъсирлашаётган системанинг бошланғич ва сўнгги ҳолати, шу жумладан, Гиббснинг эркин энергияси ҳам, катализаторли режимда ҳам, катализаторсиз режимда ҳам бир хил бўлади – катализатор айланишдан кейин ўз ҳолатини қайта тиклайди, ўзгармайди. Шу боис катализатор система мувозанатини ўзгартирамасада, айланиш тезлигига таъсир кўрсатади.

Катализаторнинг реагентлар билан ҳосил қилган оралик моддаси термодинамик мумкин бўлган йўналишларда айланиши мумкин. Шу йўлда катализатор айланишларда янги йўллар очади, яъни селектив таъсир кўрсатади. Катализ нафақат реакция тезлигини ошириш усули, балки у ёки бу айланишнинг йўналтирилган йўли бўлиб, жумладан, йўқ моддаларни олишни ҳам ўз ичига қамрайди (бунга табиатда учрамайдиган аммиак ва қатор полимерлар синтезини мисол қилсак бўлади). Бошқа бир мисолни кўрайлик. Нафталин оксидланган (ёнган)да тўла равишда деструкцияланиб, углерод диоксид ва сувга айланади. Лекин катализатор иштирокида эса нафталин чала (парциал) оксидланиб, фтал ангидридни ҳосил қилади, бу сўрада катализаторнинг роли яққол кўринади. Катализаторни ўзгартириш ва ўтказиладиган реакцияга танлаш орқали олинган маҳсулотлар сонини ошириш имкони туғилади.

Катализатор сифатида элементар моддалар (металлар, активланган кўмир), кимёвий бирикмалар (оксидлар, сульфидлар, хлорид-

лар), мураккаб комплекслар, кўп атомли молекулалар ва уларнинг аралашмаларини қўлланилади. Катализаторнинг ўзига хос хусусиятлари, таркиби ва тузилиши билан бир каторда кимёвий реакциянинг турига ҳам боғлиқдир.

Катализ табиатдаги ва саноатдаги кимёвий айланишларда муҳим аҳамият касб этади. Ҳозир саноатда олинувчи маҳсулотларнинг 30 % дан ортиғида катализаторлар қўлланилади. Энг муҳим кимёвий маҳсулотлар олишнинг у ёки бу босқичида катализаторлар ишлатилиши маълум (70 % дан ортиғида).

Каталитик реакциялар турли белгиларига қараб синфланади. Оддий синфлаш фазавий белгиларига қараб қилинади ва гомоген, гетероген ва микрогетероген каталитик реакцияларни ўз ичига олади.

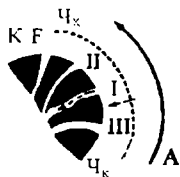
Гомоген каталитик реакцияда (ёки гомоген катализда) таъсирлашувчи моддалар ва катализатор битта фазани ташкил этади (масалан, суюқ ёки газли).

Гетероген катализда таъсирлашувчи моддалар ва катализатор турли фазаларда бўлади (масалан, катализатор қаттиқ, таъсирлашув моддалар газ фазада).

Микрогетероген катализ гомоген ва гетероген катализ орасида бўлади. Бунда катализатор бўлиб катта полимер молекулалари хизмат қилади. Буларда ўзаро таъсирлашаётган унча катта бўлмаган молекулалар гетероген зарраларга ўхшайди, аммо улар реагентлар билан битта физик фазани ташкил этади. Бу гуруҳга ферментатив реакциялар қиради, бунда катализатор (фермент) – йирик мураккаб таркибли ва тузилишли оксил молекулаларидир. Шу сабабли микрогетероген катализни ферментатив катализ деб ҳам юритадилар.

Гомоген ва микрогетероген катализ бир фазали жараёнлар бўлиб, юқорида айтилган гомоген ва газ-суюқлик кимёвий жараёнларга тегишли қонуниятлар қўлланилиши мумкин. Фақат кинетик тенгламада катализатор концентрациясини ҳисобга олиш керак бўлади. Бундан буён гетероген-каталитик жараёнга тўхталамиз.

Бундай реакциянинг ўтиш жойи – қаттиқ катализатор юзасидир. Уни кўпайтириш учун ғовакли катализатордан фойдаланила-



2.31-рас. Гетероген каталитик кимёвий жараён схемаси ва структураси. К катализатор; F катализатор ғоваклари; Ч_к - чегара кават; I, II, III жараён босқичлари.

ди. Улар юзаси (ички) бир куб сантиметрда ўнлаб ва юзлаб квадрат метрга стади. Жисмнинг ташки юзаси бундай ҳажмда, 10^3м^2 атрофида, яъни ички юза ташкидан $10^3\text{--}10^5$ марта каттадир ва буни айланишнинг умумий тезлигида ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

Жараён схемаси 2.31-расмда келтирилган. Реагентлар аввалига газ ҳажмидан чегара кават орқали заррача-катализаторнинг ташки юзасига диффузияланади (2.31-расмдаги I-босқич), кейин-ғоваклар бўйлаб ичкарига киради (II босқич). Ғоваклар бўйлаб ҳаракат пайтида улар юзасида бир вақтнинг ўзида реакция ҳам боради (III босқич). Маҳсулотлар тескари йўл билан олиб чиқилади.

2.5.2. Катализаторнинг ғовакли донаси

Катализаторлар компонентларни эритмалардан чўктириш ёки биргаликда чўктириш орқали тайёрланади. Олинган масса куригилади, қиздирилади. Натижада майда зарралар ёпишиб қолган структура ҳосил бўлади. Булар орасидаги фаза – ғоваклардир, булардан реагентлар диффузияланади. Булар – чўктирилган ёки аралаш катализаторлар ҳисобланади. Худди шу йўл билан ғовакли инерт материалдан ташиткичлар тайёрланади. Унга актив компонентлар ўтказилади, бу эритмадан юткизиш орқали амалга оширилади (ўтказилган катализаторлар). Ўзга усуллар ҳам мураккаб шаклли капиллярлар тармоғини ҳосил қилишга олиб келади. Мана шундай йўл билан қаттиқ сорбентлар – адсорбентлар тайёрланишини ҳам эслатиб ўтамиз. Олинган ғовакли материални цилиндрик, халқасимон, шарсимон ёки бошқа шаклга, шу жумладан, геометрик шаклсиз ҳолга ҳам келтирадилар. Саноат катализаторлари доналари (ўлчамлари) бир неча миллиметр (3–6 мм)да тайёрланиб, кенгрок тарқалганлари шу ҳилдадир. Шундай қилиб катализатор ички юзаси кенг бўлган ғовакли доналардир.

Говакли структура, маълум йўллар оркали ўлчаш билан, куйидаги параметрлар билан характерланади:

– $S_{\text{сол}} [M^2/2]$ ёки $[M^2/cm^3]$ – солиштира ички юза; $S_{\text{сол}}$ катталиги – катализатор заррачасининг бир куб сантиметрида бирдан юзларгача ва ундан ортиқ квадрат метр юза мавжуд бўлади;

ϵ – бўшлиқ – эркин ҳажм, говаклар (катализатор донаси умумий ҳажми қисми), бунда реагентлар транспорт қилинади;

r_r – говакларнинг ўртача радиуси; унинг катталиги 10^6 – 10^9 м оралиғидадир.

Катализатор донасидаги говак структурани ҳосил қилувчи заррачалар ёки алоҳида ҳосиллар сони, 10^6 – 10^9 га тенг бўлиб, бу срдда ундаги жараён моделини тузишнинг статистик йўлини топишга имкон беради. Катализаторнинг говак донаси бир хил масса сифатида қаралади. Унда компонентлар кўчиши эффектив коэффициент $D_{\text{эф}}$ бўлган диффузия сифатида кўрилади. Реакция бутун ҳажм бўйлаб ўтади. Бундай бир хил муҳитда айланиш тезлиги w деб олинади.

Айланишнинг ҳақиқий тезлиги говаклар юзасидан $W_{\text{сол}}$ (юза бирлигида ҳисобланганда) w билан қуйидаги нисбатда боғланган бўлади:

$$w = w_{\text{сол}} \cdot S_{\text{сол}}. \quad (2.100).$$

Диффузиянинг эффектив коэффициенти $D_{\text{эф}}$ кўчишнинг бутун муҳит бўйлаб эканлигини характерлайди. Амалда диффузия донанинг фақат эркин ҳажмидаги говакнинг ўртача радиуси r_r да ўтади. Бундай катталикдаги капиллярники сингари говакнинг диффузия коэффициенти D_r билан ифодаланади. Говакдаги кўчиш бир қатор омиллар – говакларниш эгри-бугрилиги, уларнинг кесишишлари ва тармоқланганлиги, улар кесимининг ўзгарувчанлиги билан мураккабланади. $D_{\text{эф}}$ ва D_r ларни ўтказувчанликнинг эмпирик коэффициент билан ифодалаш мумкин:

$$D_{\text{эф}} = \gamma D_r \quad (2.101)$$

Говакли катализаторлар, улар учун ташигич ва адсорбентларнинг юзлаб хилининг $D_{\text{эф}}$ ини ўлчашдан олинган маълумотларни таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, ўтказувчанликнинг коэффициенти катталиги тор чегарада, яъни: $\gamma = 0,1 \div 0,2$ атрофида ётади.

Ингичка, ўлчами молскуланинг эркин ҳаракати λдан кичик (атмосфера босимида – 10 м дан кичик) капиллярларда молскулар асосан дсвор билан учрашадилар, бунда улар бир-бири билан учрашмайдилар. Буларда модда кўчиши Кнудсен диффузиясн билан аникланади. Кнудсен диффузияси коэффицентни D_k қуйидаги формула билан аникланади

$$D_k = 9700 r_r \sqrt{T/M}, \quad (2.102)$$

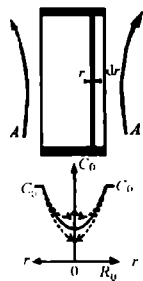
бу ерда M – компонентнинг молекуляр массаси; 9700 коэффицентн – Кнудсен формуласига кирувчи физик константалардан олинган бўлиб, ўлчамлари $D_k [cm^2/s]$, $r_r [m]$, ва $T [K]$ дир.

Агар ғоваклар катталигини λ катталиги билан солиштирсак, унда диффузия кнудсен ва молекуляр диффузиялар оралиғида бўлади ва капиллярдаги диффузия коэффицентн қуйидаги формуладан топилади:

$$1/D_r = 1/D_k + 1/D. \quad (2.103)$$

Юкорида кўрсатилган $\bar{U}$ нинг катталиги ва (2.102) ҳамда (2.103) формулалар тўғридан-тўғри ўлчовлар бўлмаганда Дэф нинг катталигини бир мунча аниклик билан топишга имкон беради.

Математик модель. Катализаторнинг ғовакли структурасини узлуксиз (квазигомогсн) мухит дсб қараш мумкинлиги ғовакли катализатор донасида жараённинг математик моделини яратишга имкон беради. Ташқи кўчиш интенсив бўлган ва буни ҳисобга олмаса ҳам бўладиган жараённи кўриб чиқамиз.



2.32-расм.
Катализаторнинг те-
кис донаси.

Аввалига катализаторнинг донаси оддий шаклга – қалинлиги $2R_0$ бўлган пластинкада, C_0 концентрацияли компонент икки қарама-қарши томондан ўтувчи жараённинг ўзига хос томонларини қараймиз (2.32-расм). Пластинканинг кўндаланг қисми «ёпиштирилган», бу ерда реагснт катализатор ичига фақат ён кирралари майдони S дан қиради. Жараён текисликка нисбатан симметрик ўтади, у ювиб ўтиладиган кирралар оралиғидадир. (Симметрия текислиги 2.32-расмда штрих-пунктир орқали кўрсатилган).

Реагентлар ғовак пластинка ичига диффузияланади ва у ерда таъсирлашадилар. Уларнинг марказга қараб концентрацияларни қамаяди, бу 2.32-расмдан кўриниб турибди. Жараён симметриклигини ҳисобга олиб, унинг математик моделини ясси доннинг биринчи ярмиси учун тузамиз.

Симметрия текислигидан $г$ масофада қалинлиги dr бўлган қават ажратамиз. Симметрия текислигига параллел бўлган кесимдан ўтувчи модданинг диффузион оқими $D_{\phi} \cdot S \cdot dC/dr$ га тенг бўлади. Мана шу ажратилган қаватдан ўтувчи оқимни ўзгартириш реакция натижасида A модданинг шу қаватда пайдо бўлиши (йўқолиши) билан боглиқдир. A нинг ҳосил бўлиш тезлиги $W(C) \cdot S \cdot dr$ (бу ерда $S \cdot dr$ – ажратилган текис қаватдаги катализатор ҳажми)га тенг бўлади. Стационар режимда

$$d[-D_{\phi} \cdot S(dC/dr)] = w(C) \cdot S \cdot dr.$$

Мазкур тенгламани ўзгартирамиз:

$$D_{\phi} \frac{d}{dr} \left(\frac{dC}{dr} \right) + w(C) = 0,$$

ёки

$$D_{\phi} \cdot \frac{d^2 C}{dr^2} + w(C) = 0 \quad (2.104)$$

(2.104) тенглама – иккинчи тартибли дифференциал тенгламадир. У интегралланганида интеграллашнинг икки ноаниқ константалари вужудга келади. Ечим бир хил бўлиши учун интеграллаш константасини топишга яна икки тенглама зарур бўлади. Чегара шартлари учун зарур дифференциал тенгламалар тенгламаларнинг ёпиқ системаси дейилади.

Бу ерда бир шарт аниқ бўлиб, пластинка – катализаторнинг ташқи юзасида реагент концентрацияси C_0 га тенг бўлади: бунда

$$r=R_0 \quad C=C_0 \quad (2.104 \text{ а})$$

Координаторлар бошида бошқа шартни ҳам ифодаalayмиз:

$$r=0 \text{ бўлганда } dC/dr=0 \quad (2.104 \text{ б})$$

ва бунн муҳокама киламиз. Симметрия текислиги орқали ўтувчи оқим $-D_{\text{эф}} S(dC/dr)=0$ га тенг бўлади. Айтайлик, концентрациялар градиенти нолга тенг эмас – масалан, $dC/dr > 0$ 2.32-расмда пунктир билан кўрсатилган. Бу симметрия текислиги ўнг томонига қандайдир оқим келади, демакдир. Симметрия шароитдан симметрия текислиги чап томонидан ҳам шундай оқим келади (расмда стрелкалар билан ифодаланган). Битта ҳам чиқиб кетмайди, бу мумкин бўлмаган ҳолдир. Шунга ўхшаш, $dC/dr < 0$ бўлганда симметрия текислигининг чап ва ўнг томонидан иккита оқим чиқади ва қирадиганлари бўлмайди. Симметрия текислигидан ўтувчи оқимнинг бўлмаслиги физик жиҳатдан аниқланилган шарт бўла олади: $-D_{\text{эф}} S_{\text{эф}} dC/dr=0$. Бундан чегара шарт (2.104 б) симметрия шартнинг ўзи эканлиги келиб чиқади.

Сифат анализини биринчи тартибли реакция учун катализаторнинг ғовакли донасида ўтказамиз, бунда $w(C)=-kC$ дир. Ўлчамсиз радиус $\rho=r/R_0$ ($r=\rho R_0$) ва нисбий концентрация $y=C/C_0$ ($C_0=yC_0$) ни киритамиз. (2.104) тенглама ва (2.104 б) шартларни қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$d^2y/d\rho^2=\varphi^2y; \quad (2.105)$$

$$dy/d\rho|_0=y'(0)=0; y(1)=1 \quad (2.105 а)$$

(2.105) тенгламада жараён шароитлари ўлчамсиз параметрға жамланган:

$$\varphi = R_0 \sqrt{k/D_{\text{эф}}}. \quad (2.106)$$

Бундай масалани биринчи бўлиб Я.Б. Зельдович билан Е. Тилеср бажарганликлари боис φ параметри Зельдович-Тиле модули деб аталади.

(2.105) тенглама қуйидаги типда ифодаланувчи доимий коэффициентли чизикли дифференциал тенгламадир.

$$ay'' + by' + cy = 0,$$

бу сзда y'' ва $y' - y$ нинг ρ бўйича иккинчи ва биринчи ҳосилалари.

Унинг умумий ечими:

$$y = Ae^{\mu_1\rho} + Be^{\mu_2\rho},$$

бу ерда A, B – интеграллаш константалари; μ_1, μ_2 – характеристик тенглама ядизлари.

$$a\mu_2 + b\mu + c = 0.$$

тенглама учун $\mu_{1,2} = \pm \varphi$, ва умумий счим қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$y = Ae^{\varphi\rho} + Be^{-\varphi\rho}$$

Чегара шартлари (2.105 а) дан A ва B ларни аниқлаймиз. Буларнинг биринчиси

$$y'(0) = A\varphi e^{\varphi\rho} - B\varphi e^{-\varphi\rho} \Big|_{\rho=0} = A\varphi - B\varphi = 0,$$

бундан $A=B$. Иккинчи шарт (2.105 а) тенгламадан $A=B$ ҳисобга олинганда:

$$y(1) = Ae^{\varphi\rho} - Be^{-\varphi\rho} \Big|_{\rho=1} = A^{\varphi} - B^{-\varphi} = 1,$$

бундан $A = 1/(e^{\varphi} - e^{-\varphi})$. Масаланинг тўла счими (2.105) – (2.105 а) – донинг ичкараси бўйлаб концентрациянинг тарқалишидир:

$$y = (e^{\varphi\rho} - e^{-\varphi\rho}) / (e^{\varphi} - e^{-\varphi}). \quad (2.106 \text{ а})$$

$y(\rho)$ боғланиши 2.32-расмнинг остки қисмидаги концентрациянинг тарқалиши $C(r)$ нинг яхлит чизик кўринишида ифодаланади. Айланишнинг кузатилган тезлиги пластинка бўйлаб ўрта интеграл қийматга эга бўлади:

$$W_k = \frac{1}{R_0 S} \int_0^{R_0} w[C(r)] S dr = -\frac{1}{R_0} \int_0^{R_0} k C(r) dr$$

Ўлчамсиз ўзгарувчилар u ва ρ ларга ўтган ҳолда (2.106 а) тенгламадан фойдаланиб, оламиз.

$$W_k = -kC_0 \int_0^1 y(\rho) d\rho = -\frac{kC_0}{e^{\varphi} + e^{-\varphi}} \int_0^1 (e^{\varphi\rho} - e^{-\varphi\rho}) d\rho = -\frac{kC_0}{\varphi} \frac{e^{\varphi} - e^{-\varphi}}{e^{\varphi} + e^{-\varphi}}. \quad (2.107)$$

энди гиперболик функция – синус, косинус ва тангенс кўллаб, тегишлича гиперболик маълумотлар топилади:

$$\operatorname{sh}\varphi = (e^{\varphi} - e^{-\varphi})/2; \operatorname{ch}\varphi = (e^{\varphi} + e^{-\varphi})/2; \operatorname{th}\varphi = \operatorname{sh}\varphi / \operatorname{ch}\varphi. \quad (2.108)$$

Булар билан олиб борилган операциялар (дифференциялаш, интеграллаш) тегишлича тригонометрик функциялар операцияларига ўхшашдир. (2.107) ифодаси қуйидаги кўринишга келтирилади

$$W_k = -\frac{\sqrt{kD_{\text{эф}}}}{R_0} \text{th}\varphi \cdot C_0. \quad (2.109)$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги концентрация бўйича биринчи тартибда қолади ва C_0 олдидagi ифоданинг бир қисми тезлигининг кузатилган константаси деб аталади:

$$K_k = -\frac{1}{R_0} \sqrt{kD_{\text{эф}}} \text{th}\varphi. \quad (2.110)$$

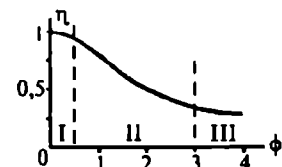
Компонент концентрацияси катализатор донаси ичкарасига қараб қамайиб боради, шу боис $W_k C_0$ нинг «кузатилган» концентрациясидаги тезлигидан кичик бўлади. Унинг даражаси қамайиши ҳам жараён характеристикасидир.

Катализатор донасидаги айланишнинг кузатилган тезлиги W_k нинг юза шартларидаги тезлик $w(C_0)$ га нисбати ички юзанинг ишлатилиш даражаси η дейилади:

$$\eta = \frac{W_k}{wC_0} = \frac{\sqrt{kD_{\text{эф}}} \text{th}\varphi \cdot C_0}{R_0 - kC_0} = \frac{\text{th}\varphi}{\varphi}. \quad (2.111)$$

Ушбу катталик говак донда жараёндаги қўчиришнинг айланиш тезлигига таъсир эффектини кўрсатади ва фақат параметр φ га боғлиқ бўлади. $\eta(\varphi)$ графиги 2.33-расмда келтирилган.

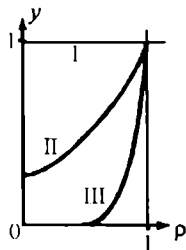
Катализаторнинг говак донасидаги жараён таҳлили. Жараён режими. (2.110) тенгламадан (2.108) ни ҳисобга олган ҳолда $\varphi \rightarrow 0$ $\eta \rightarrow 1$ ни олиш мумкин. Ҳақиқатан φ пластинка юпқа бўлганда кичик бўлиши мумкин (R_0 кичик бўлганда). Реагентлар унинг ўртасига осон етиб боради, донанинг ички қисмида реагентлар концентрацияси кам ўзгаради, реакция унинг ичкарасида юзадаги концентрацияга яқин ҳолда боради.



2.33-расм. Катализаторнинг ички юзаси ишлатилиш даражаси η нинг φ параметрга боғлиқлиги. Пунктирлар — режимларнинг тахминий чегаралари: I — кинетик; II — ўткинчи; III — ички диффузион.

Бу (2.106) тенгламадан келиб чиқади: бунда $\rho=0$ ва $\varphi \rightarrow 0$ бўлганда $y(0) \approx 1$ га эга бўламиз, яъни концентрация марказда юзадаги сингари эканлиги кўринади. 2.34-расмдаги I чизиқ концентрациянинг шундай тарқалганлигини кўрсатади. Бундай ҳолда $W_k w(C_0)$ га яқин ва $\eta \approx 1$. Бундан

2.34-рас. Нисбӣи концентрация унинг катализатор кавати ρ да кинетик (I), ўтувчи (II) ва ички диффузион режимларда концентрациянинг тарқалиши III чизикда ифодаланган.



ташқари $y(0) \approx 1$ шарти реакциянинг максимал ҳаракатлантирувчи кучини кўрсатади ва қуйидаги шартга аниқлик киритади: лимитловчи босқич-реакция, режим-кинетикдир. Агар η 1 дан 10% гача фарқ қилади дсб ҳисобласак, унда кинетик режим $\varphi < 0,5$ бўлади. Бу кинетик режимнинг ҳисоблари бўлиб, у 2.33-расмда кўрсатилган.

Агар φ катта бўлса (қалин пластинка), унда реагентлар пластинка ўртасига етиб бориши қийинлашади. (2.106) тенгламадан φ катта бўлганда дона марказида $y(0) \approx 0$ га яқин бўлади. 2.34-расмда концентрациялар тарқалишига III чизик жавоб беради. Унда φ ортиши билан $\eta \rightarrow 1$ ва

$$\eta = 1/\varphi. \quad (2.112)$$

Кўчиш жараёнида максимал ҳаракатланувчи куч аниқланади: лимитловчи босқич – диффузия, режим – ички диффузиондир. Ички диффузион режим $\varphi > 3$ бўлишини амалий жиҳатдан аниқ деб қабул қилиш мумкинки, бу 2.33-расмдан кўриниб турибди.

Кинетик ва ички диффузион режимлар орасида ўткинчи режимлар ўлкаси ётади.

Дона шакли. Реал ҳолатга яқин бўлган катализатор донаси – шар ҳолдагисини кўриб чиқамиз. Мазкур шакл марказий симметрияга эгадир. Моделни текис донага олгандек тузамиз. Сферик юзадан ўтувчи диффузион оқим $[D_{\text{эф}} \cdot 4\pi r^2 dC/dr]$ га тенг бўлади. Сферик каватда айланиш тезлиги $w(C) \cdot 4\pi r^2 dr$ дир. Стационар режимда

$$d(-D_{\text{эф}} \cdot 4\pi r^2 dC/dr) = w(C) \cdot 4\pi r^2 dr.$$

Ушбу тенгламани одатда қўлланилувчи икки шаклга келтирамиз:

$$\frac{D_{\text{эф}}}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dC}{dr} \right) + w(C) = 0, \quad (2.113)$$

ёки

$$D_{\text{эф}} = \left(\frac{d^2 C}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dC}{dr} \right) + w(C) = 0. \quad (2.113 \text{ a})$$

(2.104 а) ва (2.104 б) ларга ўхшаш чегара шартлари заррача – шар юзасида R_0 радиус билан ва унинг марказида деб белгиланган.

Ечимни биринчи тартибли жараён реакцияси учун оламир. Ўлчамсиз бўлган $\rho = r/R_0$ ва $y = C/C_0$ лардан аниқланамиз. (2.13 а) дан ва (2.104 а) ҳамда (2.104 б) лардаги чегара шартларидан оламир:

$$\frac{d^2 y}{d\rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{dy}{d\rho} = \varphi^2 y \quad (2.114)$$

$$y'(0) = 0; \quad y(1) = 1 \quad (2.114 \text{ а})$$

Худди жараён моделидаги сингари текис донадаги параметр φ тенг бўлади тенг бўлади $\varphi = R_0 \sqrt{k/D_{\text{эф}}}$. Ўзгарувчи $z = y\rho$ ни киритамиз ва $y = z/\rho$ ни (2.114) тенгламага қўямиз: $d^2 z/d\rho^2 = \varphi^2 z$.

Бундай тенгламанинг ечими юқорида олинган эди:

$$z = A e^{\varphi z} + B e^{-\varphi z}, \text{ ёки } y = (A e^{\varphi \rho} + B e^{-\varphi \rho})/\rho^2.$$

(2.114 а)дан чегара шартларини қўллаб, донанинг чуқурлиги бўйича концентрация ўзгариши учун сўнгги ечимни топамиз:

$$y = \frac{1}{\rho} \frac{e^{\varphi \rho} - e^{-\varphi \rho}}{e^{\varphi} - e^{-\varphi}} = \frac{1}{\rho} \frac{\text{sh} \varphi \rho}{\text{sh} \varphi} \quad (2.115)$$

Айланишнинг кузатилган тезлигини ўзга усул билан аниклаш мумкин. Стационар режимида дона ичига кирувчи компонент – тўла таъсирлашади. Шу боис компонентнинг ташқи юзасидаги диффузион оқими $J = -D_{\text{эф}} \cdot 4\pi R_0^2 (dC/dr)_{r=R_0}$ мазкур компонентнинг бутун донадаги айланиш тезлигига тенг бўлади. Уни дона ҳажми $V_d = (4/3)\pi R_0^3$ бирлигига тақсимлаб, айланишнинг кузатилган тезлигини оламир:

$$W_k = \frac{J}{V_d} = -\frac{4\pi R_0^2 D_{\text{эф}}}{(4/3)\pi R_0^3} \left(\frac{dC}{dr} \right)_{r=R_0} = -\frac{3D_{\text{эф}} \cdot C_0}{R_0^2} (dy/d\rho)_{\rho=1}$$

(2.115) тенгламадан оламир

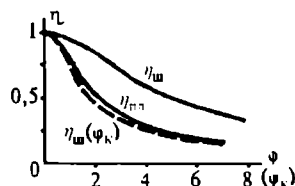
$$\frac{dy}{d\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{\text{ch} \varphi \rho}{\text{sh} \varphi} - \frac{1}{\rho^2} \frac{\text{sh} \varphi \rho}{\text{sh} \varphi}$$

ва кийин

$$W_k = -\frac{3kC_0}{\varphi} (\text{cth} \varphi - 1/\varphi).$$

2.35-рас. Пластинка кўринишидаги ($\eta_{пл}$) катализатор ички юзаси η ва шарнинг ($\eta_{ш}$) нинг ишлатилиш даражасининг параметр φ ва келтирилган параметр $\varphi_{кел}$ га боғлиқлиги.

Пунктир $\eta_{ш}(\varphi_{кел})$.



Ичкн юзадан фойдаланиш даражаси:

$$\eta = \frac{W_k}{w(C_0)} = \frac{W_k}{-kC_0} = \frac{3}{\varphi} \left[\text{cth}\varphi - \frac{1}{\varphi} \right]. \quad (2.116)$$

Мана шу боғлиқлик $\eta(\varphi)$ солиштириш учун 2.35-расмда кўрсатилган (белгиланиши: шар учун – $\eta_{ш}$, пластинка учун $\eta_{пл}$). Улар ҳар хиллиги дона шакли η нинг таъсири борлигини англатади. Иккала боғланишни мужассамлаштиришга ҳаракат қиламиз. Донанинг келтирилган ўлчами $R_{кел} = v_d/S_d$ ни киритамиз, унинг ҳажми w_d нинг ташки юза S_d га нисбати:

пластинка учун $R_{кел} = 2R_0S|2S = R_0(S - \text{ёнаки юза})$;

$$\text{шар учун } R_{кел} = \frac{4}{3} \frac{\pi R_0^3}{4\pi R_0^2} = \frac{R_0}{3}.$$

Модификацияланган параметр киритамиз:

$$\varphi_m = \frac{v_A}{S_A} \sqrt{\frac{k}{D_{эф}}} \quad (2.117)$$

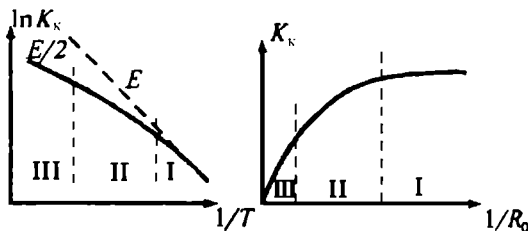
(пластинка учун $\varphi_m = \varphi$, шар учун $\varphi_m = \varphi/3$) ва (2.115)ни ўзгартирамиз.

$$\eta_{ш} = \frac{1}{\varphi_m} \left(\text{cth}3\varphi_m - \frac{1}{3\varphi_m} \right). \quad (2.118)$$

$\eta_{пл}(\varphi_m)$ ва $\eta_{ш}(\varphi_m)$ лар учун асимптоталар $\varphi_m \rightarrow 0$ ва $\varphi_m \rightarrow \infty$ бирига мос тушади ва тегишлича 1 ва $1/\varphi_m$ га тенгдир.

Шар учун $\eta_{ш}(\varphi_m)$ 2.35-расмда пунктирда кўрсатилган.

$\eta_{ш}$ билан $\eta_{пл}$ орасидаги максимал фарк ўтиш чегарасида 10% дан биров ошади. (φ_m) бўйича катализатор донасининг турли шакллари учун ўтказилган ҳисоблар φ_m параметри (2.117) кўринишида универсаллигини кўрсатди ва η ни (2.111) ёки (2.118) формулалари бўйича катализатор донасининг ихтиёрий шакллари учун қўлланилиши мумкинлигига асос берди.



2.36-расм. Реакция тезлик константаси k (пунктир) ва айланишнинг кузатишган тезлиги K_k ларнинг говакли катализатор донасида температура T (а)га ва катализатор донаси ўлчами R_0 га боғлиқлиги (б). Пунктирлар режимлар ҳолатини ажратади: I – кинетик; II – ўтқинчн; III – ички диффузион.

Айланишнинг кузатишган тезлигига температура таъсирини (2.109) тенгламадан аниқлаймиз. Реакциянинг тезлик константаси температурага боғлиқдир: $k = k_0 \exp(-E/RT)$. У билан солиштирилганда $D_{\text{эф}}$ температурага боғлиқ бўлмайди, деб қабул қилиш мумкин. Ички диффузион зонада (φ катта, $\text{th } \varphi \approx 1$).

$$W_k = -\frac{1}{R_0} \sqrt{k_0 D_{\text{эф}}} e^{-E/2RT} C_0.$$

C_0 олдидаги ифоданинг бир қисми тезликнинг кузатишган константаси K_k дир. У K_k нинг температурага экспоненциал, аррениусча боғлиқлигини, аммо активланиш энергияси $E/2$ билан реакция тезлик константаси k га қараганда икки барабар камлигини саклайди. $K_k(T)$ нинг боғлиқлиги умумий кўриниши 2.36, а-расмда кўрсатилган. Паст ҳароратли температураларда k , демак φ ҳам кичикдир, жараён кинетик зонада боради ва K_k k билан мос тушади (графикнинг ўнг томони). Юқори ҳароратда диффузион режимда $K_k(T)$ ҳам экспоненциал боғланишдадир, лекин активланиш энергиясидан икки барабар кам ҳолда ва диффузия коэффициентининг температурага мос келмаслиги билан характерланади. Расмда температура режимлари ажратилган.

Кўринадики, режим диффузион ҳолда бўлиб, лекин жараён ҳоссалари (температурага боғлиқлиги) лимитловчи босқичга жавоб бермайди ($D_{\text{эф}}$ температурага кам боғлиқдир). Бу лимитловчи босқичнинг аниқловчи босқич деб аталиши доимо ҳам тўғри келмаслигини исботлайди.

Дона ўлчамли. Кинетик областда (кичик ўлчамли дона R_0) W_k табиийки, R_0 га боғлиқ бўлмайди. Ички диффузион зонада (R_0 катта) (2.109) келиб чиқади.

$$W_k = \frac{1}{R_0} \sqrt{kD_{\text{эф}} C_0},$$

яъни, W_k R_0 га тескари пропорционалдир. W_k ($1/R_0$) боғланиши 2.36, б-расмда кўрсатилган. Бу ерда жараён режимлари ажратилган.

2.5.3. Катализаторнинг ғовакмас донаси

Барча катализаторлар ҳам ғовакли структурага эга бўлавермайди. Агар реакция тез борса, ички юзани катталаштириш бефойдадир. Масалан, аммиакни оксидлаш сим кўринишдаги тўкилган тўр платина катизаторида боради. Тўла оксидлаш учун тўрнинг бир неча қавати етарлидир. Ғоваксиз катализаторда реакция ташки юзада боради, бу ерда компонентлар атрофдан айланб ўтувчи газ оқимларида таъсирлашади. Реагентлар чегара қаватдан қаттиқ жисм-катализатор юзасига кириши керак бўлади. Жараён схемаси «газ-қаттиқ» системаси сингаридир (2.4.2-бўлимга, «сикилувчи модел» га қаранг), бу ерда битта истисно бор бўлиб, қаттиқ жисм реакция масулотига айланмайди, жараёнда ўзгармай қолади, III босқич йўқолади. Гетероген жараёндаги «газ-қаттиқ» системада газ фаза-сидаги компонент айланишини ифодалаш етарли бўлади.

Жараённинг математик модели:

$$\beta(C_{\text{ю}} - C_0) = w(C_{\text{ю}}). \quad (2.119)$$

Биринчи тартибли реакция учун дона юзасидаги концентрация куйидагичадир:

$$C_{\text{ю}} = C_0 / (1 + k/\beta).$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги:

$$W_k = kC_0 / (1 + k/\beta)$$

Жараён шароитлари (концентрация, температура, оқимлар тезлиги), режимлар ва лимитловчи босқичлар – «сикилувчи сфера» жараёни сингаридир (2.24-расмга қаранг).

Бу ерда жараён ғоваксиз катализатор донасида кўрилган бўлсада, унинг ифодасини ғовакли катализаторга ҳам қўллаш мумкин, фақат

(2.119) тенгламада айланишнинг кузатишган тезлигини қўлаш керак бўлади.

2.5.4. Иссиқлик ҳодисалари.

Стационар режимлар сони ва уларнинг барқарорлиги

Кимёвий реакциялар иссиқлик ютилиши ёки ажралиши билан борадилар, бунда температура градиентлари (фарқи) вужудга келиши мумкин бўлиб, бу айланиш тезлигига таъсир кўрсатиши мумкин.

Катализаторнинг ғовакли донаси. Модданинг кўчиши ва айланиши (2.104) тенглама билан ифодаланади:

$$D_{эф} \frac{d^2C}{dr^2} + w(C, T) = 0 \quad (2.120)$$

(бу ерда реакция тезлигининг концентрация C ва температура T га боғлиқлиги ҳисобга олинган).

Чегара шартлари:

$$r=0 \text{ да } dC/dr=0; \quad r=R_0 \text{ бўлганда } C=C_0. \quad (2.120 \text{ а})$$

Иссиқлик ажралиши донада температура градиентини келтириб чиқаради: дона бўйлаб иссиқлик кўчиши унинг иссиқлик ўтказиш коэффициенти λ_a билан аниқланади. Донадаги иссиқлик ҳодисалари (2.120) дагига ўхшашдир: иссиқлик оқимининг ўзгариши $\lambda_a dT/dr$ реакцияда иссиқлик ажратиши $Q_{pv}(C, T)$ билан боғлиқдир:

$$\lambda_a \frac{d^2T}{dr^2} + Q_p r(C, T) = 0 \quad (2.121)$$

Чегара шартлари ҳам (2.120 а)никига ўхшашдир:

$$r=0 \text{ бўлганда } dT/dr=0 \quad r=R_0 \text{ да эса } T=T_0. \quad (2.121 \text{ а})$$

Биттагина реакция учун $w(C) = -r(C, T)$. (2.120) ва (2.121) ларни қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$D_{эф} \frac{d^2C}{dr^2} = r(C, T); \quad \frac{\lambda_a}{Q_p} \frac{d^2T}{dr^2} = r(C, T).$$

Мазкур тенгламаларнинг ўнг томонлари тенг, шу боис

$$\frac{d^2T}{dr^2} = - \frac{Q_p D_{эф}}{\lambda_a} \frac{d^2C}{dr^2}$$

Биринчи интеграллашдан кейин, (2.120 а) ва (2.121 а) ларнинг чегара шартларидан $r=0$ бўлганда, оламиз:

$$\frac{dT}{dr} = - \frac{Q_p D_{\text{эф.}}}{\lambda_A} \frac{dC}{dr}$$

Шартлардаги $r=R_0$ бўлгандаги C ва T ларнинг шу пайтдаги қийматида иккинчи интеграллашдан оламиз

$$T - T_0 = Q_p D_{\text{эф.}} / \lambda_A (C_0 - C).$$

Айланиш даражаси $x = (C_0 - C)/C_0$ га ўтамиз ва таъсирлашувчи аралашма иссиқлик сифими c_p га ўтамиз:

$$T - T_0 = - \frac{Q_p C_0}{c_p} \frac{D_{\text{эф.}}}{\lambda_A} x \quad (2.122)$$

$Q_p C_0 / c_p$ параметр куйидагини билдиради. Агар Q_p – бир моль модда айланишида ҳосил бўлувчи иссиқлик миқдори бўлса, унда $Q_p C_0$ – реакцион аралашмадаги ҳажм бирлигида шу модданинг тўла айланишида ажралган иссиқлик миқдори. Модда миқдори бирлигини ΔT га иситиш учун $C_p \Delta T$ иссиқлик зарур бўлади. Агар аралашмани иситиш учун реакциянинг барча иссиқлиги ($c_p \Delta T = Q_p C_0$) сарфланса, унда аралашма $T = Q_p C_0 / c_p$ га исийди.

Адиабатик иситиш $\Delta T_{\text{ад}} = Q_p C_0 / c_p$ реакция охиригача адиабатик ҳолатда борганда реакцион аралашма канча градусга кўтарилишини кўрсатади.

$\Delta T_{\text{ад}}$ катталиги кимёвий жараённинг муҳим характеристикаси бўлиб, у анализ қилинганда бир неча бор учрайди. Характерли катталик ҳисобланувчи $T_{\text{зд}}$ кўпгина саноат реакциялари учун бир неча юз градусларни ташкил этади.

Диффузиянинг эффектив коэффициент $D_{\text{эф.}} = PD_r$ юкорида топилган эди (2.101 тенгламага қаранг). Агар диффузиянинг ғоваклардан ўтиши кўринишини ҳисобга олсак, унда D ғовакларда диффузия V нинг молекуляр коэффициентидан кичиклиги кўринади [(2.103) тенглама]. $D_{\text{эф.}} = 0,1 D$ деб қабул қилайлик. Ғовакли катализаторнинг иссиқлик ўтказиши кўпгина илмий тадқиқотлардан $\lambda_A \approx 10\lambda$ га тенглиги маълум бўлади, бу ерда λ – ғовакларни тўлдирувчи газ иссиқлик ўтказувчанлиги. Бундай натижа ғовакли катализатор структураси ёпишиб қолган микрозаррачаларнинг йириклаш-

ган кўринишидан иборатлигидадир. Контакт нукталари катта қаршилик кўрсатади, газ қавати микроразрчаларнинг контакт нукталари тегадиган жойида иссиқлик ўтишига боғлиқлиги борлиги билинади. Бу ғовакли жисм иссиқлик ўтказиши, асосан, уни тўлдирувчи газ иссиқлик ўтказувчанлигига боғлиқлиги, материал иссиқлигига боғлиқлиги ва материал иссиқлик ўтказувчанлигига кам боғлиқлиги билан тушунтирилади. $\pi/\sigma = a$ нисбати температура ўтказувчанликдир; газлар учун $a \approx D$. Келтирилган маълумотлардан (2.122) тенгламадаги параметр $D_{\text{эф}} \cdot c_p / \lambda_{\text{д}} = 0,01$ эканлиги маълум бўлади ва донадаги температура фарқи $\Delta T = 0,01 T_{\text{д}}$ га тенглиги билинади. Максимал қизиб дона марказида ички диффузия ҳолатида рўй беради, бу сзда айланиш тўла амалга ошади ($x=1$) ва бир неча градусдан ошмайди. Агар реакция эндотермик бўлса ($Q_p < 0$ ва шу боис $T_{\text{д}} < 0$ бўлганда), унда дона марказида, табиийки, юзадагидан кам бўлади. Ўткинчи режимларда (дона марказида $x < 1$) температура фарқи дона бўйлаб яна ҳам камдир.

Ғовакли катализатор донасидаги жараёни изотермик деб ҳисоблаш мумкин. Дона ичидаги кам қизишлик иссиқлик билан моддадаги кўчишнинг интенсивлиги турлича фарққа (икки тартибли) эгаллиги туфайлидир.

Катализаторнинг ғоваксиз донаси. Катализатор юзаси чегара қаватидан нафакат массанинг кўчиши, балки иссиқликни чиқариш (қиритиш) ҳам амалга ошади. Дона юзаси билан оқим оралиғидаги иссиқлик алмашилиши коэффициенти — $\alpha_{\text{д}}$, иссиқлик алмашилиш тезлиги — $\alpha_{\text{д}} (T_{\text{ю}} - T_{\text{о}})$, бу сзда $T_{\text{ю}}$, $T_{\text{о}}$ оқимнинг юза ва ҳажмдаги тегишлича температуралари. Иссиқлик ажралиши юзада реакция бориши туфайли тенг бўлади — $Q_p r(C_{\text{ю}}, T_{\text{ю}})$. Стационар режимда (2.119) тенгламани иссиқлик ходисалари тенгламаси билан тўлдирамиз:

$$\alpha_{\text{д}} (T_{\text{ю}} - T_{\text{о}}) = Q_p r(C_{\text{ю}}, T_{\text{ю}}) \quad (2.123)$$

Юза билан оқим оралиғидаги масса ва иссиқлик алмашинув механизми бир хилдир: диффузия билан чегара қаватдан молекуляр масса кўчиши ўзаро яқинлиги билан характерланади. Шу боис д ва ад ларни ҳисоблаш тенгламалари ўхшашдир.

Масса алмашилиш учун [(2/50 б) тенгламага қаранг:

$$Nu_D = A Re^n Sc^m;$$

$$Nu_l = A Re^n Pr^m$$

Иккала формуладаги A , n , m коэффициентлар бир хилдир. $Nu_D = \beta_d d_s / D$ ва $Nu_T = a_d d_s / \lambda$ – Нуссельтнинг диффузион ва иссиқлик критерийлари (d_s – донга ўлчами).

$S_c = \nu / D$ ва $Pr = \nu c_p / \lambda$ – Шмидт ва Прандтл ва критерийлари бўлиб, биринчисини Прандтлнинг диффузион критерийси деб юритадилар. Газлар учун S_c ва Pr лар бир-бирига яқин бўлиб, температура ўтказувчанлик $a = \lambda / c_p$ ва диффузия коэффициентини D катталиклари ҳам яқиндир. Бу срада $Pr = S_c$ бўлганидан $\beta_d = a_d / c_p$.

Оддий реакция учун $w(C_{ю}, T_{ю}) = -r(C_{ю}, T_{ю})$ ва (2.123) нинг (2.119) га нисбатидан $\alpha_d (T_{ю} - T_0) = Q_p (C_0 - C_{ю})$ ни оламиз. Юзадаги айланиш даражаси $x_{ю} = (C_0 - C_{ю}) / C_0$ ни киритамиз ва Тад иборасини ишлатиб ва β_d нинг α_d га нисбатидан катализатор юзасидаги қизишни оламиз:

$$T_{ю} - T_0 = T_{ад} x_{ю}, \quad (2.124)$$

бу ўрнатилган айланиш даражаси $x_{ю}$ нинг адиабатик қизишига тенгдир.

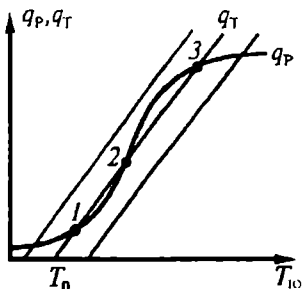
Биринчи тартибли реакция учун $r(C, T) = k(T)C$ га тенг; юқорида олинган нисбатларни ҳисобга олган ҳолда (2.119) ва (2.123) тенгламаларни ўзгартирамиз:

$$x_{ю} = \kappa / \beta_d (1 - x_{ю}); \quad T_{ю} - T_0 = \Delta T_{ад} \kappa / \beta_d (1 - x_{ю}).$$

Мазкур системанинг биринчи тенгламасидан $x_{ю} = 1 / (1 + \kappa / \beta_d)$ ни оламиз ва иккинчисига қўямиз:

$$\frac{T_{ю} - T_0}{q_T} = \Delta T_{ад} \frac{\frac{\kappa / \beta_d}{1 + \kappa / \beta_d}}{q_p} \quad (2.125)$$

Экспоненциал боғланиш $k(T_{ю}) = k_0 \exp(-E/RT_{ю})$ (2.125) тенгламадан $T_{ю}$ нинг аниқ катталигини олишга имкон бсрмайди. Юзадан олиб чиқарилувчи иссиқлик $\alpha_d (T_{ю} - T_0)$ га тенг бўлиб, (2.125) тенгламанинг чап қисми α_d коэффициент аниқлигига иссиқлик чиқаришдан иборат, у билан белгилангандир. Ушбу тенгликнинг ўнг қисми шу коэффициент $\alpha_d = \beta_d c_p$ аниқлигида – иссиқлик ажралиши q_p дир. 2.37-расмдаги $q_T(T_{ю})$ ва $q_p(T_{ю})$ эгри чизик графиклар учрашуви (2.125) тенгламанинг счими бўлади.



2.37-расм. Катализатор ташки юзасидаги жараёнда $q_p(T_{ю})$ ва $q_T(T_{ю})$ лар боғлиқлиги. 1,2,3 ларнинг кесиш нуктаси стационар режимлар. $q_T(T_{ю})$ тўғри чизиклар турли $T_{ю}$ лар учун.

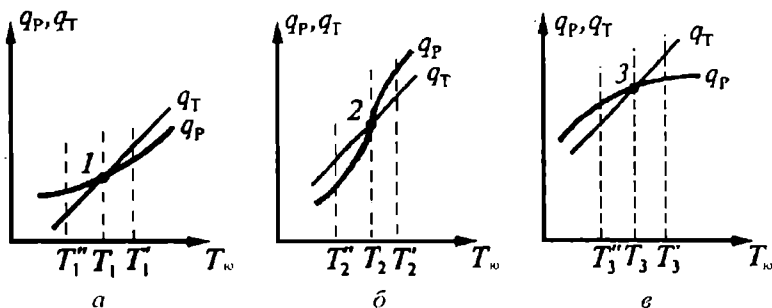
$q_p(T_{ю})$ боғланиш S-симон эгри чизикдир. Паст температурада $k/\beta_1 \ll 1$, $q_p(T_{ю})$ сингари экспоненциал функция ҳисобланади. Юкори температурада, яъни $k/\beta_1 \gg 1$, $q_p = \Delta T_{ад}$ бўлганда, $q_p = \Delta T_{ад}$ бўлади ва $T_{ю}$ га боғлиқ бўлмайди. $q_T(T_{ю})$ графиги – тўғри чизикдир.

2.37-расмдан кўринадики, $T_{ю}$ нинг катталигига қараб туриб, $q_T(T_{ю})$ ва $q_p(T_{ю})$ битта ёки учта кесиш нуктаси шунга асосан (2.125) тенгламанинг битта ёки учта счими бўлиши мумкин.

Учта счимнинг мавжудлиги жараёндаги бир хил шароитларда уч хил стационар режим бўлиши мумкинлигини кўрсатади, яъни стационар режимларнинг бир хил эмаслиги сезилади.

2.37-расмдан уч стационарлик режимдан биттасида юза температураси $T_{ю}$ газ (2.37-расмдаги 1 нукта). 3 режимда юзанинг исиши адиабатикка – юкори температураникига яқиндир. 2-ҳолат оралик ҳисобланади. Бу стационар ҳолатлардан қайси бирининг амалга ошуви жараён бошланишига боғлиқ бўлади. Агар бошида катализатор температураси газ температураси T_0 никига яқин бўлса, унда қуйи температурали режим 1 амалга ошади (2.37-расмга қаранг). Агар бошида катализатор қаттиқ кизитилган бўлса, унда юкори температурали 3-режим амалга ошади.

Стационар режимлар барқарорлиги. Жараённинг стационари режимдан ўзгарган ҳолатини кўриб чиқамиз. Шу мақсадда 2.38-расмда учта стационар ҳолат 2.37-расмнинг фрагментлари сифатида келтирилган. Жараён стационар режим 1 да бўлсин, дейлик (2.38-расм, a га қаранг). Юза температураси T_1 . Агар қандайдир сабаблар туфайли юза температура T_1 гача кўтарилса, унда иссиқлик ажралиш q_p ҳам ва иссиқлик олиб чиқиш ҳам кўпаяди, бу ерда сўнгги масала иссиқлик ажралишга қараганда юкорирок ўринда



2.38-расм. Стационар режими барқарорлигини аниқлаш.

бўлади. Агар қўзғолиш манбаи йўқотилган бўлса, унда иссиқлик олиб чиқилишининг кўплиги юза температурасининг пасайишига олиб келади, режим ўзидан-ўзи температура T_1 бўлгандаги дастлабки ҳолатга қайтади. Агар юза температураси T_1 гача пасайса, унда q_p дан юқори бўлади ва юза температура ўсади, аввалги T_1 температура вужудга келади.

Шундай ҳолат юқори температурали стационар ҳолат 3 да ҳам қайтарилади (2.38, в-расмга қаранг).

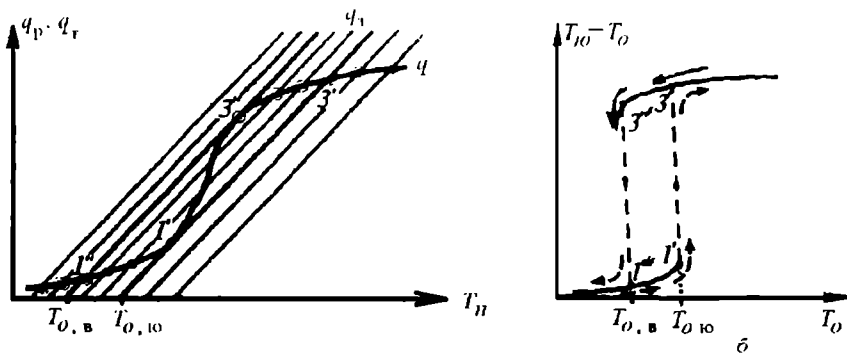
Бундай стационар ҳолатлар барқарор дейилади ва буларда қуйидаги шарт бажарилади

$$dq_p/dT_{ю} < dq_T/dT_p. \quad (2.126)$$

Ўрта температурали режим 2 да (2.38, б-расмга қаранг) катализатор температурасининг T_2 дан T_2' гача кўтарилиши иссиқлик ажралиши q_p ни иссиқликни олиб чиқиш q_T га қараганда бир қадар кўпайтиради. Катализатор температураси юқори температурали стационар ҳолат ўрнатилгунга қадар кўтарилади. Илгариги ўрта температурали режим ўз-ўзидан қайтмайди. Температуранинг T_2'' гача пасайиши катализаторнинг юқори температурали ҳолатига қараганда совиб боришига олиб келади. Бу $T_{ю}$ нинг ихтиёрий кичик ўзгаришларида ҳам амалга ошавради, дастлабки стационар режим ўз-ўзидан қайтмайди. Бундай режим бекарор дейилади. Унинг учун

$$dq_p/dT_{ю} > dq_T/dT_p.$$

Барқарор стационар ҳолат қуйидагича тавсифланади: агар стационар ҳолат қўзғотилса ва кийин қўзғотиш манбаи олиб ташлан-



2.39-расм. Ғоваксиз катализатор донасидаги неизотермик жараённинг стационар режимлари. $q_p, q_r(T_{10})$ (а) диаграммаси ва юза температураси T_{10} нинг оқим температураси T_0 (б) билан ўзгариши.

са (жараён шароитлари қайтарилса), унда дастлабки ҳолат ўзидан ўзи қайтарилади. *Беқарор стационар ҳолат* унга ўзгартишлар кiritилганда ўз-ўзидан қайтарилмайди.

Донадаги жараён ҳолати ўзгариши юза температураси T_{10} (ёки юзанинг қизиши $T_{10} - T_0$)нинг оқим температураси T_0 нинг аста-секин кўтарилишини кузатамиз. Бир қатор кетма-кет стационар режимларни тўғри чизиклар ссрияси учрашишлари q_r билан T_0 учун иссиқлик ажралиши эгри чизиклари q_p ёрдамида аниқлаш мумкин (2.39, а-расм). T_0 ни аста-секин кўтариш T_{10} нинг аста-секин кўтарилишига олиб келади – бу ржжимлар 2.39, а-расмда нукталар билан ва булар а пастки эгри чизик (2.39, б-расм) мос келади. $T_{0, ю}$ га эришилганда паст температурали режимлар амалдан тўхтади (сўнгги режимни 1' билан белгилаймиз) ва юкори температурали режимлар томон сакраш юз бсради, бу 3' ҳолатдан бошланади.

$T_{0, в}$ ни «ёниш температураси» деб атаймиз. 2.39, б-расмда T_{10} йўналиши ўзгариши билан T_0 нинг ортиши стрелкалар орқали кўрсатилган, стационар ржжимлар эса 2.39, а-расмда айланачалар билан белгиланган. Юкори температурали ржжимлар 3' ҳолатгача қайтариладилар. T_0 нинг камайиб бориши $T_{0, в}$ гача юкори температурали режимлар саклайди, ундан кейин 3" «ҳолатдан 1" пойгадаги сингари сакраш орқали амалга ошади. Температура $T_{0, к}$ ни «сўниш температураси» деб атаймиз. Кейин T_0 кўтарилганда олинган ре-

жимлар сақланади. Бундай стационар режимлар гистерезис экспериментал йўл билан ҳам олинганлиги маълум.

«Ёниш» жараёни шароитларини ишлатиш мумкин. Юқори температурали, интенсив режим унча юқори бўлмаган температура шароитида олиб борилади. Катализатор ва реагентлар оқимини иситмай бундай режимга ўтиш реагент концентрациясини кенска вақт ичида оширади ва чиқишда керакли температурадаги концентрацияни белгиланганга қайтаради. Бундай ишни катализатор таблеткасида ҳам ўтказиш мумкин. Бунда актив катализаторда «ёкиш» қўшни доналарда амалга оша бошлайди. Таркалувчи тўлқин бутун қаватни иситади.

Катализаторнинг ташқи юзасидаги жараён «газ-қаттиқ» гетероген жараёнига ўхшаш экан, унда «ёниш» ва «ўчиш» жараёнлари бўлиб туради, режимлар гистерезиси амалга ошади. Бунга мисол қилиб қаттиқ ёнувчи материалларни кўрсатиш мумкин.

2.6. КИМЁВИЙ РЕАКТОРДАГИ ЖАРАЁНЛАР

2.6.1. Кимёвий реактордаги жараённинг математик модели

Кимёвий реактордаги математик моделни тузишнинг умумий схемасига мос равишда реакцион зонадаги жараённи қараб чиқамиз (2.5-расмга қаранг). Жараён моделини тузиш кстма-кстлигини қуйидагича ифодалаш мумкин.

Реакцион зонадаги оқим макроструктурасини аниқлаш. Бу ижодий босқич бўлиб, прецизион ўлчовлар ва ақлий ёндашувни талаб қилади. Бу ерда оқимнинг оддий структурасини қараб, кимёвий реактордаги жараённинг дастлабки кўринишини аниқлашга ҳаракат қиламиз.

Юқорида аниқлангани сингари кимёвий жараён кетаётган элементар ҳажмни ажратиб оламиз. Ажратилган ҳажм реакцион зонада кўп марта қайтарилади, унда кимёвий жараён ўтиш қонуниятлари масштабига боғлиқ бўлмайди, жараён ўтиш шароитлари реактор масштабидаги оқимлар орқали вужудга келади.

Элементар ҳажм учун айланишнинг кузатилган тезлиги $W_k(C, T)$ олиниши зарур бўладики, бу илгариги бўлимларда бажарилганди.

Элементар ҳажмлар орасидаги кўчиш ҳодисасини аниқлаб, жараён ўтиши учун уларда шароит яратилиши ва уларнинг ўзаро таъсири ўрганилади. Модель температура ва концентрациялар

таркаланишини олдиндан аниқлайди деб ҳисоблаймиз ва бу тегиш-
лича дастлабки хом ашёнинг маҳсулотга айланишини билишимиз-
га имкон беради.

Жараён структура ва схемаси ҳақида маълумотларга эга бўлиб,
умумий кўринишдаги математик моделни тузиш керак:

$$dN/dt = \Sigma N_{\text{кир}} + \Sigma N_{\text{м}}; \quad (2.127)$$

$$dq/dt = \Sigma Q_{\text{кир}} + \Sigma Q_{\text{м}}. \quad (2.128)$$

Бу ерда dN/dt ва dq/dt – ажратилган элементар ҳажмдаги модда ва иссиқлик
йиғилиши.

$N_{\text{кир}}$ ва $Q_{\text{кир}}$ – материал ва иссиқлик оқимлари бўлиб, ажратилган
ҳажмга киридилар; кирувчи оқимлар конвектив (реагентлар оқими)
ҳам, диффузион характерда ҳам бўлишлари мумкин.

N манба ва Q манба – ажратилган ҳажм ичидаги модда ва
иссиқлик манбалари. Модданинг манбаи бўлиб, кимёвий реакция,
иссиқлик манбаи бўлиб кимёвий реакция ва фазали ўтишлар ҳамда
айланишлар хизмат қилади.

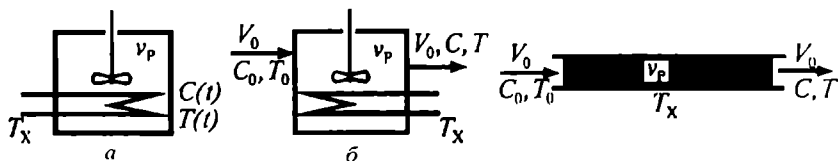
(2.127) кўринишдаги тенгламалар жараёнда катнашаётган бар-
ча моддалар учун тузилади. Амалиётда уларнинг камрок сонидан
фойдаланиш мумкин, бунда модда ва таъсирлашувчи моддалар-
нинг стехиметрик нисбатлари умумий массаси ҳисобга олиниши
керак бўлади.

Кўп фазали жараёнлар учун (2.127) ва (2.128) тенгламалар ҳар
бир фаза учун тузилади ва улар орасидаги иссиқлик ва масса алма-
шишувини ҳисобга олади.

(2.127) ва (2.128) тенгламалар аниқ ечимга эга бўлиши учун,
бошқача айтганда, ёпик бўлишлари учун уларни бошланғич ва че-
гара шартлари билан тўлдириш зарур бўлади. Улар реакторда жара-
ёни амалга ошириш шароитлари ва оқимларнинг ўрганилаётган
соҳа чегараси – реакция зона асосида тузилади.

Бундай вазифани амалга оширишни 2.1-расмда кўрсатилган
реакторлардаги жараёнларнинг математик моделларида кўриб
чиқамиз.

2.1-расмдаги 1-реактордаги даврий жараёнлар. Барча компонент-
лар унга жойлаштирилади. Реакция интенсив аралаштиришда амал-
га оширилади, бунда концентрация билан температуранинг вақтнинг



2.40-расм. Реакторлар схемаси: *а* – идеал аралашишнинг режимидаги даврий (ИА-д); *б* – идеал аралашишнинг окимлиги (узлуксиз) (ИФ-у); *в* – идеал сикиб чикарувчи (ИСЧ).

хар бир дакикасида бутун ҳажм бўйлаб бир хил деб ҳисоблаш мумкин. Температураси T_x бўлган иссиқлик ташитгич билан иссиқлик алмашилиш мумкин бўлади. Иссиқлик алмашилиш юзаси F_T ва иссиқлик алмашилиш коэффиценти K_T . Бундай реактордаги жараён схемаси 2.40, *а*-расмда келтирилган.

Жараён-нестационар. Реакторда кирадиган ва чиқадиган окимлар йўқ ва $\Sigma N_{\text{кир}} = 0$. (2.127) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади (i-модда учун):

$$dN_i/dt = W_i(C, T) v_p$$

Реактордаги модда микдори $N_i = v_p C_i$, ва олдинги тенглама куйидаги кўринишга ўтади (таъсирлашувчи аралашма ҳажми v_p га тенг бўлиб, ўзгармайди деб ҳисоблаймиз);

$$dC_i/dt = W_i(C, T) \quad (2.129 \text{ а})$$

Иссиқлик манбаи – кимёвий айланишда энтальпия ўзгариши (ягона реакция $[\Sigma Q_m = Q_p r(C, T) v_p]$ учун) ва иссиқлик алмаштиргичдаги иссиқлик алмашинуви $K_T F_T (T_x - T)$. (2.128) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$dq/dt = Q_p r(C, T) \gamma_p + K_T F_T (T_x - T).$$

Реактордаги иссиқлик микдорининг ўзгариши dq ундаги температура ўзгаришига боглиқ бўлади: $dq = c_p v_p dT$ (иссиқлик сифими c_p ни) ўзгармас деб қабул қиламиз). Иссиқлик алмашинуви солиштирма юзаси $F_{\text{сол.}} = F_T / v_p$ ни аниқлаймиз ва оламиз:

$$dT/dt = Q_p r(C, T) - K_T F_{\text{сол.}} (T - T_x). \quad (2.129 \text{ б})$$

Жараён C_{i0} концентрацияда ва T_0 температурада бошланади. (2.129 а) ва (2.129 б) лар учун бошлангич шароитларни жараён бошланишида бсрамиз:

$$t=0 \text{ бўлганда } C=C_{i0}, T=T_0 \quad (2.129 \text{ в})$$

Бундай жараён ва уни ифодаловчи тенгламалар идеал **аралаш**иш **режими (модели)** нинг **даврийлиги** – ИА-д-дейилади.

2, 3, 8 хилдаги реакторларда ва 12 реактор реакцион зонасидаги жараёнлар (2.1 расм). Жараён схемаси 2.40 б-расмда кўрсатилган (2.1-расм). Жараён схемаси 2.40, б-расмда кўрсатилган. Интенсив равишда аралаштирилувчи бир фазани кўрамиз. Реактор оқимли хилда бўлиб, реакция узлуксиз давом этади. Вакт бирлигида V_0 ҳажмли реагентлар оқими ва бу билан бирга микдори νC_{i0} бўлган ҳар бир компонент реакторга киради. Кираётганда оқим температураси T_0 га тенг. Реакцион аралашма ҳажми ўзгармайди деб қабул қиламиз, реактордан температураси T бўлган V_0 ли оқим ва ҳар бир компонент $V_0 C_0$ чиқади. Бу ерда C_i , T – компонентлар концентрацияси ва реактордаги температура, чиқаётган оқимники ҳам шундай «Моддалар манбаи – кимёвий айланиш, яъни ΣN_i , манба $=W_i(C, T)\nu_p$. Жараён стационар ҳолатда боради: $dN_i/dt=0$ ва $d/dt=0$. (2.127) тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$0 = V_0 C_{i0} - V_0 C_i + W_i(C, T) \nu_p. \quad (2.130)$$

Реакциянинг шартли вақти бўлган ва номи унинг ўлчамидан келиб чиққан нисбат $\nu_p/V_0 = \tau$ ни аниқлаймиз (агар V_0 [$\text{м}^3/\text{с}$] ва ν_p [м^3] бўлса), унда τ [с] бўлади. Бу ерда τ – икки катталиқ нисбати ва физик мохиятга эга бўлмайди. Ифода кўринишидан τ оқимнинг ҳажмда бўлишининг ўртача вақтдаги аниқлиги бўлиб, одатда V_0 ни нормал шароитда ўлчайдилар, реактордаги температура ва реакцион аралашма ҳажмда унда нормал шароитдагидан фарқланади. (2.130) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$(C_i - C_{i0})/\tau = W_i(C, T). \quad (2.131 \text{ а})$$

Реактордаги иссиқлик манбаи-кимёвий айланиш $Q_p r(C, T)\nu_p$ ва иссиқлик алмашинув $K_r F_r (T_x - T)$. Реакцион аралашма иссиқлик сифими c_p жараёнда ўзгармайди. (2.128) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$0 = V_0 c_p T_0 - V_0 c_p T + Q_p r(C, T) v_p + K_t F_t (T_x - T)$$

Реакция шартли вақтининг тушунчаси τ ва иссиқлик алмашину-ви солиштирма юзаси $F_{\text{сол.}} = F_t / v_p$ дан фойдаланган ҳолда оламиз:

$$c_p (T - T_0) / \tau = Q_p r(C, T) - K_t F_t (T - T_x) \quad (2.131 \text{ б})$$

Бошланғич шароитлардаги концентрация C_0 ва температура T_0 (2.131 ва б) тенгламаларга киради. Бундай жараён ва уни ифодаловчи тенгламаларни **идеал аралаштириш режими (модели)** нинг узлуксизлиги – ИА-у – дейилади.

2.1-расмдаги 4–7 ва 9–11 реактордаги жараёнлар узлуксиздир. Реактордан ўтувчи оқимнинг аралашмайдиган режимини кўриб чиқамиз. Кесим бўйича тезлик профили текисликда ётади. Буни четга чиқишлар масштаби реакцион зона масштабидан анча кичик бўлганда қабул қилиш мумкинки, мазкур ҳолат кўпгина реакторларда амалга ошади. Оқимнинг бундай режими поршенли ёки идеал сиқиб чиқариш, деб аталади.

Реакторни S кесимли трубка сифатида қабул қиламиз, ундан катталиги V_0 бўлган оқим (2.40, в-расмга қаранг.) Оқим йўналиши бўйича координата – 1. Реакцион аралашма оқими ўта боришида кимёвий айланишлар туфайли компонентлар концентрациялари C_i ва умумий ҳолатда оқим температураси T ўзгаради. Бир вақтнинг ўзида девор орқали иссиқлик ташитгич билан иссиқ алмашилиши мумкин. Бу ҳолда элементар ҳажм – dl қалинликдаги қисм ва $dv_p = S dl$ ҳажмга тенг бўлади. Унга оқим билан i компонент $V_0 C_i$ микдорида киради ва $V_0 (C_i + dC_i)$ микдорда чиқади. Ажратилган ҳажмда модда манбаи – кимёвий айланиш ΣN манба, $i = W_i(C, T) dv_p$ ҳисобланади. Жараён стационар ҳолда ўтади ($dN_i/dt = 0$), реакцион аралашма ҳажми ўзгармайди ва (2.127) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$0 = V_0 C_i - V_0 (C_i + dC_i) + W_i(C, T) dv_p.$$

Юқорида келтирилган τ ифода ва тегишлича $dt = dv_p / V_0$ дан фойдаланиб, куйидаги тенгламани оламиз:

$$dC_i / dt = W_i(C, T). \quad (2.132 \text{ а})$$

Рсакторнинг бутун кесми $u = V_0/S$ даги тезлик; / кссимгача рсактор ҳажми $v_p = /S$ ва реакциянинг шартли вақтини оқим тезлиги билан қуйидагича боғлаш мумкин: $\tau = v_p/V_0 = l/u$.

Иссиклик тенгламаси (2.128) учун $dq/dt = 0$ жараён стационардир; $V_0 c_p T$ – элементар ҳажмга кирувчи иссиқлик оқими, ва $V_0 c_p (T + dT)$ – ундан чикадиган оқим:

$$Q_p r(C, T) dv_p + K_r dF_r (T_x - T)$$

иссиқлик манбаи (ажратилган ҳажмдаги ёки тоза dF_r да борувчи реакция ва алмашинуви). Кейин:

$$0 = V_0 c_p T - V_0 c_p (T + dT) + Q_p r(C, T) dv_p + K_r dF_r (T_x - T);$$

$dF_r/dv_p = F_{\text{сол.}}$ – иссиқлик аламашинишнинг солиштирма юзаси; диаметри $D_{\text{тр}}$ бўлган трубка учун:

$$D_{\text{тр}} : F_{\text{сол.}} = \pi D_{\text{тр}} / (0,25 \pi D_{\text{тр}}^2 l) = 4/D_{\text{тр}}.$$

Ўзгаришлардан сўнг оламиз:

$$c_p \frac{dT}{dT} = Q_p r(C, T) - K_r F_{\text{сол.}} (T - T_x). \quad (2.132 \text{ б})$$

Икки дифференциал тенгламалар (2.132 а) ва 2.132 б) ни туташтириб шароитлар берилади, булар реакторга киришдаги концентрация C_{i0} ва температура T_0 дир:

$$\tau = 0 \text{ бўлганда } C = C_{i0} \text{ ва } T = T_0. \quad (2.132 \text{ в})$$

Бундай жараён ва уни ифодаловчи тенгламалар *идеал сиқиб чиқариш режими* (модели) – ИСЧ дейилади.

Реактордаги икки фазадаги оқим жараёни. Математик модель жараённинг ҳар бир фазаси ифодасини ўз ичига олади. Моделни тузиш илгариги берилганга ўхшаб ўтказилади, фақат фазалар орасидаги масса ва иссиқлик алмашинувлар қўшилади. Улар моддалар манбалари ва фазадаги иссиқлик сифатида, масалан, ифодалар сифатида берилиши мумкин.

$$\beta S_{\text{сол.}} (C_2 - C_1); \quad (2.133 \text{ а})$$

$$\alpha S_{\text{сол.}} (T_2 - T_1), \quad (2.133 \text{ б})$$

бу ерда α, β фазалараро алмашинув коэффициентлари; $S_{\text{сол.}}$ – фазалар контакти юзаси, бу фазалар ҳажм бирлигида олинади; C_1, C_2 контактлашувчи фазалардаги концентрациялар; T_2, T_1 – шу фазалар температуралари.

Ифодалардан биринчисининг турли агрегат ҳолатлардаги фазалар системасида қўлланилишига, масалан, «газ-суюқлик»ка аҳамият берамиз. Турли фазалардаги компонент концентрацияларини ҳисоблаш тўғри бўлмайди – уларда ўлчамлар ҳар хилдир: [моль/м³ газ] ва [моль/м³ суюқлик]. Газ фазада концентрация ўрнига унинг келтирилган катталиги $C_i = K_A P_i$, бу ерда K_A – абсорбция константаси, P_i эса – компонентнинг парциал босими (2.4.3 бўлимга қаранг). Бир фазада кирувчи компонентлар ва бошқаси билан таъсирланувчилар учун (2.133 а) дагидан бошқа ифодани ҳам айланишнинг кузатилган тезлигига қўллайдилар. Энди (2.129 а, б, в) ва 2.132 а, б, в) тенгламалар билан ифодаланувчи жараёнларни кўрамиз. Булар реактордаги жараён хоссалари ҳақида маълумотлар бериши керак. Бундай моделларни баъзан «идеал реакторлар» деб атайдилар. Шунга қарамай бундай моделлар кўпгина реал саноат реакторлар кўрсаткичларини олдиндан билиб олишга имкон бермоқда.

2.6.2. Кимёвий реакторлар ва уларнинг математик моделлари классификацияси

Тузилиши ва таркиби бўйича мураккаб ҳисобланган реакторлар бир неча белгиларига қараб классификацияланади. Мана шу ўқув курси доирасига кирувчи кимёвий реакторларда ўтувчи жараёнларни ўрганиш билангина чекланамиз.

Кимёвий реакторлар классификацияси

А. Материал оқимларни ташкил этиш:

1. Материал оқимларни ташкил этиш:

Реагентлар фазалари миқдори: бир фазали

кўп фазали

2. Оқимларнинг реактор орқали ҳаракати:

оқар

оқмас

ярим оқар

3. Реакцион зонадаги оқимлар ҳаракат режими идеал сиқиб чиқариш:

идеал аралашиш

ноидеал

Б. Иссиқлик окимини ташкил этиш:

1. Реактордаги иссиқлик режими:

изотермик
адиабатик
иссиқлик билан
алмашинув автотермик

2. Иссиқлик алмашинув усули:

реакцион зонада
реакцион зонадан
ташқарида

Реакторда боровчи кимёвий жараёнлар ўтиш шароитлари умуман олганда реагентлар ҳаракатини (материал окимларга) ва реакторда иссиқлик режимини ташкил қилиш (иссиқлик окимларини) билан боғлиқдир.

Кимёвий жараён типи, турли фазавий ҳолатлардаги окимлар контактининг зарурати реакторларни бир ва кўп фазалиларга ажратишни тақозо этади. Идеал аралаштириш ва сиқиб чиқаришдаги олинган математик моделлар ҳам реактордаги жараён харақатига окимлар ҳаракати таъсири ҳар хиллигини тасдиқлайди. Умуман олганда юқорида айтилган икки режим (оқар ва оқмас схемалар) дан бошқа оқмас режим ҳам бўлиши мумкин – бунда компонентларнинг бир қисми жараён бошида, иккинчи қисми эса реакторга жараён давомида солинади. Окимларнинг икки хили ҳам юқорида айтилди (аралаштириш ва сиқиб чиқариш). Реал шароитларда улардан четга чиқиш – оким ҳаракатининг ноидеаллиги туфайли рўй бериши мумкин.

Иссиқлик режимини ташкил этишда иссиқлик режимининг ўзини ва иссиқлик алмашиниш усулини ажратиш оламиз. Адиабатик режимда реакциянинг барча иссиқлиги реакцион аралашмани иситишга (ёки совитишга) сарфланади. Иссиқлик алмашиниш режимида четдаги иссиқлик ташитгичга узатилади. Изотермик режимда температура бутун реактор бўйлаб бир хил сақланади. Бундай режим сунъийдек кўринсада, у реактордаги жараённинг кўпгина хоссаларини тушунишда муҳим ўрин тутди. «Ички иссиқлик алмашиниш» автотермик реактор ажратилган. Бунда

жараён ташки иссиқлик ташитгичсиз боради. Унда оқим ҳаракати туфайли оқимнинг турли қисмлари орасида иссиқлик алмашинуви амалга ошади (реактор кирувчи ва ундан чиқувчи орасида). Иссиқлик алмашинувининг турли усуллари орасидан иккитаси: реакция зонада иссиқлик алмашилиш юзаси орқали (бир вақтнинг ўзида реакция ҳам амалга ошадиган) – бу 2.1-расмдаги 1,9,10 реакторлардаги каби ва кўп қаватли реактор 11 даги оралиқ иссиқлик алмашинуви (2.1 -расмдаги) усулини қўллаш билан борадиганлари ажратилади, бу реакция зона ва иссиқлик алмашилиш зонаси ажратилган ҳолатдир. Кимёвий реактордаги жараённи чуқур ўрганиш ксрак бўлганда (масалан, конструкциялаш ва ҳоказоларда) тўғри келиши мумкинлигини эслатиб ўтамыз.

Математик моделлар классификацияси олинган тенгламалар типини бўйича ўтказилади.

Кимёвий реакторлардаги жараённинг математик моделларини тузишда оқимнинг икки тури–идеал аралашуш ва сиқиб чиқариш қаралганди. Реактантларнинг реактор орқали ўтишидаги ҳаракатини ташкил қилишнинг икки усули – оқар ва оқмас схемаларда кўрилиб, учта математик модел ажратилган:

$$\begin{array}{c} \text{ИА-д} \\ dC/dt = W(C) \\ (a) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{ИА-у} \\ (C-C_0)/\tau = W(C) \\ (b) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{ИС-ч} \\ dC/d\tau = W(C) \\ (c) \end{array}$$

(бу ерда тенгламалар фақат бир компонент учун ёзилган).

Реакторлардаги жараёнларни ифодаловчи математик моделлар миқдори реакторларникидан анча камлиги билан характерланади. Бу реакторларнинг турли типлардаги умумий хоссаларини топиш ва умумлаштиришга имкон беради. Реактордаги жараёнлар хоссаларини уларнинг математик моделларидан топамиз, яъни тенгламалар хоссаларини ўрганамиз ва уларни реактор хоссаларига ўтказамиз. Агар (2.134) тенгламага диққат қилсак, унда даврий идеал аралаштириш (a) ва идеал сиқиб чиқариш (c) реакторларидаги тенгламалар математик жиҳатдан бир хиллиги кўринади. Табиийки, бу моделларнинг хоссалари ҳам бир хилдир. Лекин улар томонидан ифодаланаётган жараёнлар принципаал ҳар хил даврий ностационар ва узлуксиз стационарлар. Моделлари бир хил хоссали

реакторлардаги жараёнларнинг хоссалари ҳар хиллиги модел хоссаларини жараён хоссаларига интерпретацияланганда фарқланиши аниқланган.

Шундай қилиб, кўрилатган кимёвий реакторларнинг хилма-хиллиги бир мунча чекланган математик моделларнинг хоссаларини ўрганишга мўлжалланади [мазкур ҳолда фақат иккитаси дифференциал тенгламалар (2/234 а) алгебраик тенгламалар (2.134 с)] ёки алгебраик тенгламалар (2.134 в).

2.6.3. Кимёвий реактордаги жараёнлар таҳлили

Кимёвий реактордаги жараён таҳлили – жараён шароитлари ва характеристикалари (хоссалари) таркибий қисмларининг реактор иши кўрсаткичларига таъсири ҳамда жараён ва режимнинг ўзига ҳослик томонларини тадқиқ қилишдир.

Жараён шароитлари – дастлабки реакцион аралашма таркиби (реагентларнинг бошланғич концентрациялари), қираётган оқим катталиги (реактор юкламаси), қирувчи оқимлар температураси, хладагент (иссиқлик олиб чиқиладиган жараён учун) ёки реактордаги температура (изотермик жараён учун).

Жараён таркиблари хоссалари – кимёвий жараён характеристикалари: айланиш схемаси ва реакциялар типси (кинетик тенгламалар кўриниши), активланиш энергияси, иссиқлик эффекти; ноизотермик жараёнлар учун – иссиқликни олиб чиқиш параметрлари (иссиқлик узатиш коэффициентлари, иссиқлик алмашилиш юзаси, реактантларнинг иссиқлик-физикавий хоссалари).

Жараён кўрсаткичлари – айланиш даражаси x , селективлик S , маҳсулот чиқиши E ҳамда реактордаги концентрациялар, айланиш даражаси ва температура профиллари, буларнинг вақт бўйлаб ўзгаришлари. Ушбу кўрсаткичларни билиб, кейин бошқа кўрсаткичлар – реакторнинг конструктив параметрлари, энергетик сарфлар, иктисодий характеристикалар ва бошқаларни аниқлаш мумкин бўлади.

Жараён ва режимнинг ўзига хос хусусиятлари – жараён хоссалари ва шароитларнинг кўрсаткичлари таъсири, жараёни бошқариш (кутилган кўрсаткичларга эришиш учун хоссалар ва ша-

ронгларни ўзгартириш), критик режимлар (масалан, уларнинг мавжуд бўлиши, бскарорлик).

Жараёни таҳлил қилиш учун математик моделлаштириш усулидан фойдаланамиз. Кимёвий реакторда жараён таҳлилида қуйидаги кетма-кетликни қўллаш мумкин.

1. Жараён математик моделини асослаш ва тузиш. Юқорида кўрсатилганидек, битта математик модель турли реактордаги жараёнларни ифодалаши мумкин.

Математик модел тенгламасини кейинги тадқиқотларга мослаб ўзгартириш;

Таҳлилга тегишли боғланишларнинг математик модел тенгламасини ечиш. Кейин аналитик ечим олиш қулай бўлган моделлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бу уларни сифатлаш, таҳлил қилишга имкон яратади, тенгламаларнинг асосий хоссаларини аниқлашга ёрдам беради. Баъзан тенгламаларни ечишнинг график усулидан ҳам фойдаланиш мумкин бўлади. Амалиётда ҳисобли экспериментдан кенгрок фойдаланилади.

Умумий таҳлил учун қулай бўлган ва тенгламаларни ечишдаги натижаларни график кўринишдаги ҳолда бериш.

Тадқиқ қилинаётган жараёнга интерпретациялаш, яъни тенгламалар ўзгарувчилари ва коэффициентлари, жараён физик характеристикалари ва параметрлари орасидаги боғланишларни тенгламалар (моделлар) хоссаларини реакторга ўтказишга кераклигини ажратиш.

Жараён ва моделнинг ҳақиқий таҳлили, бунда математик модел хоссаларини тенгламалар параметрларини ўзгартириш билан ечимга ўтиш ва модел хоссаларини реактордаги жараёнга кўчириш.

Турли типдаги реактордаги жараёнларни солиштириш.

Жараёнинг кейинги таҳлили – математик модел тенгламаларининг ўзига хос томонларини топиш ва бу орқали режимларни ўрнатиш.

Кимёвий реакторлардаги жараёнларни таҳлил қилишда уларнинг мураккаблашиб боришларига аҳамият берилади, жараёнда сони кўпайиб боровчи ҳодисалар ҳисобга олинади. Аввалига изо-

термик жараёнлар, ксйин иссиқлик кўчиши билан борадиган жараёнлар кўрилади (ноизотермиклар).

2.7. КИМЁВИЙ РЕАКТОРДАГИ ИЗОТЕРМИК ЖАРАЁН

2.7.1. Даврий идеал аралашиш ва идеал сиқиб чиқариш режимлари

Даврий идеал аралашиш ва сиқиб чиқариш режимларида ишлайдиган реакторлардаги жараёнлар (ИА-д ва ИСЧ) куйидаги тенгламалар билан ифодаланади:

ИА-д	ИСЧ
$dc/dt = W(C)$	$dC/d\tau = W(C)$
$t = 0 \text{ да } C = C_0$	$\tau = 0 \text{ да } C = C_0$

Математик жиҳатдан бу икки тенглама ўхшашдир. Улар фарқи мустақил ўзгарувчи ҳисобланмиш t ёки τ лардир. Физик жиҳатдан бу ўзгарувчилар принципиал жиҳатдан турличадир: астрономик вақт, $\tau = l/u$ – чизиқли катталик ҳисобланган реактор узунлиги пропорционал бўлган ўзгарувчан катталикдир. Моделни таҳлил қилаётганимиз сабабли бундан буён куйидаги кўринишдаги тенгламадан фойдаланамиз:

$$dC/d\tau = W(C); \tau = 0 \text{ да } C = C_0, \quad (2.135),$$

бунда $\tau = t$, t ни жараён моделига боғлиқ деб ҳисоблаймиз. Таҳлилни турли типдаги реакциялар ўтиш ҳолатларига мослаб ўтказамиз.

Оддий қайтмас реакция $A = R$. Айлаиш тезлиги $W(C)$ биринчи тартибли реакция учун

$$W(C) = -kC, \quad (2.136)$$

ёки айланиш даражасига ўтиб, ёзамиз,

$$W(C) = -kC_0(1 - x). \quad (2.136 \text{ a})$$

(2.126) ни (2.135)га қўямиз.

$$dC/d\tau = -kC; \tau = 0 \text{ бўлганда } C = C_0. \quad (2.137)$$

(2.137) тенгламадаги C ва τ ўзгарувчан миқдорларга бўлинади (ажралади). Бу тенгламани интеграллаймиз:

$$\int_{C_0}^C dC/C = k \int_0^{\tau} d\tau \quad \text{ёкин} \quad \ln C/C_0 = -k\tau.$$

Ечимни иккита боғланиш кўринишида ифодалаймиз:

$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C}; \quad C = C_0 e^{-k\tau} \quad (2.138)$$

Агар айланиш даражаси x ни ишлатсак, унда (2.135) тенглама куйидаги кўринишга ўтади

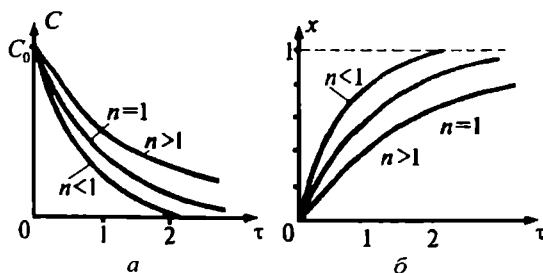
$$dx/d\tau = k(1-x); \quad \tau=0 \text{ да } x=0 \quad (2.139)$$

ва унинг ечими куйидагича бўлади.

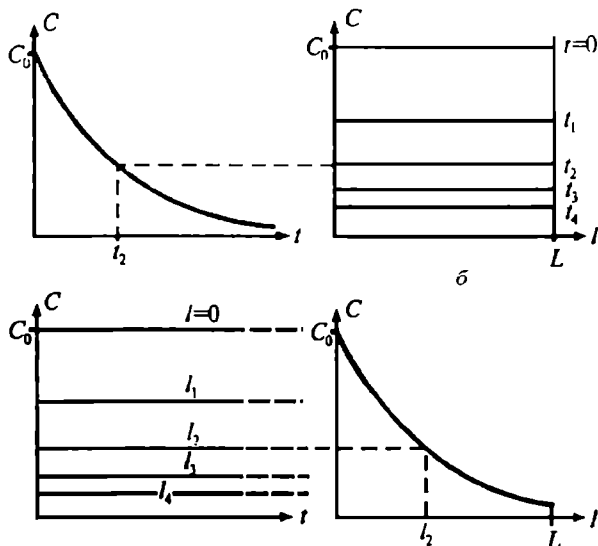
$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{1-x} \quad \text{ва} \quad x = 1 - e^{-k\tau}. \quad (2.140)$$

(2.138) тенгламадаги $C(\tau)$ нинг ва (2.140) тенгламадаги $x(\tau)$ нинг график кўринишлари 2.41-расмда кўрсатилган ($n=1$). Бу боғланишлар $C(\tau)$, учун экспоненциал суратда ва $x(\tau)$ учун унинг кўзгудаги кўриниши – асимптотик равишда $\tau \rightarrow \infty$ да $C=0$ га ёки $x=1$ га тегишлича интилади. Қайтмас реакция учун дастлабки модда аста-секин ўзининг тўла айланишига сарфланиб боради.

(2.138) тенгламаси ечими интерпретацияси (2.137) нинг математик модели тенгламаси идеал аралашуш ва идеал сиқиб чиқариш жараёнлари учун куйидагича бўлади. ИС-д жараёни ностационар ўтади, $\tau \equiv t$ бўлиб, вақт t ўтиши билан дастлабки модда C нинг концентрацияси 2.42, а-расмдагидек (2.138) тенгламаси боғланишида камайиб боради. Лекин вақтнинг ҳар бир моментиди реакторнинг барча нукталарида концентрация бир хил бўлади. Агар



2.41-расм. $C(\tau)$ (а) ва $x(\tau)$ (б) нинг турли тартибли n оддий қайтмас реакциялар билан боғлиқлиги.



2.42-расм. Концентрация C нинг вақт t (а, б) билан ва реактор узунлиги l (б, г) билан даврий идеал аралаштиш (а, б) реакторида ва оддий оқимли идеал сиқиб чиқариш реакторида (в, г) ўзгариши.

реактор ҳажми ичида ихтиёрий чизикли ўлчам l ни олсак, унда вақтнинг турли лаҳзаларидаги боғланишлар C (1) 2.42, б-расмда кўрсатилганидек кўринишга эга бўлади – буларнинг ҳар бирида $c(l) = \text{const}$ дир. ИСЧ режимида жараён стационар ҳолатда ўтади. C нинг концентрацияси реактор узунлиги l бўйича ўзгаради, бу τ ($l = u\tau$) га пропорционаллиги 2.42.2-расмдан кўринади. Лекин реактордаги l нинг ҳар бир кесими $C(\tau) = \text{const}$ дир (2.42, в-расм). Шундай қилиб, $C(\tau)$ ёки $x(\tau)$ боғланишлар ИА режимда вақт ичида жараён шароитларнинг $C(\tau)$ ёки $x(\tau)$ ларга таъсирини кўрсатади ва C ва X нинг ИСЧ режимда реактор узунлиги бўйича тарқалишини билдиради.

Реакция тартиби таъсири. n -тартибли реакция тезлиги $W(C) = kC^n$ ифодаси билан ёзилади, (2.135) тенглама қуйидаги кўринишга ўтказилади.

$$dC/d\tau = -kC^n \text{ ёки } dx/d\tau = kC_0^{n-1}(1-x)^n. \quad (2.141)$$

(2.141) тенгламадаги C ва τ ўзгарувчиларга бўлинади ва интеграллашдан кейин оламиз:

$$\frac{1}{n-1} (C^{1-n} - C_0^{1-n}) = -k\tau; \quad \frac{1}{1-n} [1 - (1-x)^{1-n}] = kC_0^{n-1}\tau \quad (2.142)$$

(2.142) тенгламадан $C(\tau)$ боғланишни оламиз:

$$C = [C_0^{1-n} - (1-n)k\tau]^{1/(1-n)} \quad (2.143)$$

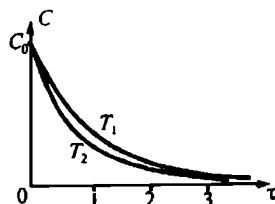
(2.143) тенгламадан τ ортуви билан концентрация C сарфланади. Тегишлича, $x = (C_0 - C)/C_0$ ўсади. $n < 1$ ва $n > 2$ учун $C(\tau)$ нинг ўзгариши турлича бўлади. Агар $n < 1$ бўлса, унда (2.143) тенгламадан реакция охиригача бориши кўринади, яъни $\tau = C_0^{1-n} / k(1-n)$ нинг сўнгги кийматида $C = 0$ (ёки $x = 1$) га эга бўламиз. τ 1 бўлгандаги ҳолат учун (2.143) тенгламани қуйидаги кўринишга ўтказамиз.

$$C = 1/[C_0^{1-n} + (n-1)k\tau]^{1/(n-1)}$$

бундан $\tau \rightarrow \infty$ бўлганда $C \rightarrow 0$ бўлади, яъни τ ортуви билан концентрация C асимптомик равишда биринчи тартибли реакция учун нолга интилади. Тегишлича боғланишлар $C(\tau)$ ва $x(\tau)$ $n < 1$ ва $n > 1$ лар учун 2.41-расмда кўрсатилган.

Температура таъсири. (2.137) ёки (2.141) моделида фақат тезлик константаси k температура T га боғлиқ бўлади: $k = k_0 \exp(-E/RT)$ нисбатдан у температура билан катталашади. Жараён юқори температурада ўтказилганида реакция тезлиги юқори бўлишини ўйлаш табиийдир ва концентрация C вақт бўйлаб (τ) тезроқ камаяди. Ҳақиқатан $C(\tau)$ (2.138) ва (2.143) боғланишларда кузатиш мумкин: τ нинг бир микдорида ва k кўпайганда, яъни юқорироқ температурада C камаяди. $C(\tau)$ боғланишнинг жараёнда T_1 дан T_2 гача ўзгариши 2.43-расмда кўрсатилган.

Оддий қайтмас реакциянинг ўтишида температуранинг оширилиши доимо реактордаги жараён интенсивлигига ижобий таъсир кўрсатади – айланиш даражасининг бсрилган меъёрига етиши учун τ камаяди (оқар режимда реактор ҳажми ёки даврий реактордаги жараён вақти). Жараёни иложи борица максимал температурада ўтказиш мақсадга мувофиқдир.



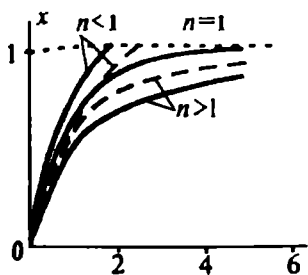
2.43-расм. Температура T нинг $C(\tau)$ ($T_2 > T_1$) га боғлиқлиги.

Бошланғич концентрация C_0 нинг реактордаги жараёнга таъсирини икки кўрсаткич бўйича баҳолаймиз. Буларнинг бири – жараён интенсивлиги, яъни реакторда айланишга берилаётган модданинг миқдори. Реакция тезлиги концентрация кўпайиши билан ортади ($r = kC^n$ кўринишидаги – бу ерда қаралаётган кинетик тенгламалар учун). C (ва C_0) ортиши билан айланаётган модда миқдори, жараён интенсивлиги ортиб боради.

Таъсир этувчи иккинчи кўрсаткич C_0 – аниқ юкламада айланиш даражасининг реакторга таъсир этадиган ўзгаришидир. Концентрация ортиши билан реакция тезлиги кўпаяди, яна айланиши керак бўлган модда миқдори ҳам ортади. (2.140) тенгламадан биринчи тартибли реакция жараёни $x(t)$ боғланишга таъсир этмаслиги кўринади. Агар реакция биринчи тартибли бўлмаса, реакторда бошланғич концентрация айланиш даражасига таъсир кўрсатмайди, бу 2.44-расмда ўз аксини топган. Б ҳолда C_0 жараён модели (2.141) га коэффициент сифатида $k C_0^{n-1}$ киради. Агар $n > 1$ бўлса, унда C_0 нинг $x(t)$ га таъсири температура T ники сингари бўлади: C_0 ҳам, T ҳам (яъни k) t нинг камайига (белгиланган t да реактордаги айланиш даражасининг ошувиغا) олиб келади. $n > 1$ бўлганда реакция тезлиги айланаётган модда миқдоридан тезроқ ўсади.

Агар $n < 1$ бўлса, унда C_0 нинг таъсири температураникига тескари бўлади: реактордаги айланиш тўхтай бошлайди (реакция тезлиги концентрация ўсуви билан реакция аралашмадаги модда миқдорига қараганда камроқ ўсади).

Оддий қайтар реакция $A \rightleftharpoons R$. Реакция тезлиги



2.44-расм. C_0 нинг $x(t)$ га n тартибли реакция учун таъсири. Узлуксиз чизик C_{01} да, пунктир – $C_{02} > C_{01}$ бўлганда.

$$r(C) = k_1 C_A - k_2 C_R$$

Икки реагент концентрациясига боғлиқ бўлиб, умумий ҳолатда жараёни ифодалаш учун (2.135)га ўхшаш икки тенгламадан – ҳар икки реагент учун фойдаланилади. Битта ўзгарувчи билан – A реагентнинг айланиш даражаси x ни олган ҳолда ишлаш қулайроқ ҳисобланади, бунда $C_A = C_0(1-x)$; $C_R = C_0 x$ (C_0 – A нинг бошланғич концентрацияси). Жараён модели қуйидагича бўлади.

$$dx/d\tau = k_1(1-x) - k_2x; \tau=0 \text{ бўлганда } x=0 \quad (2.144)$$

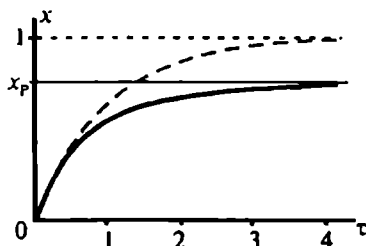
$dx/d\tau = k_1 - (k_1 + k_2)x$ кўринишга ўтиб, мазкур тенгламани интеграллаймиз:

$$-\frac{\ln[k_1 - (k_1 + k_2)x] - \ln k_1}{k_1 + k_2} = \tau.$$

ёки

$$x = \frac{k_1}{k_1 + k_2} [1 - e^{-(k_1 + k_2)\tau}]. \quad (2.145)$$

τ ортиши билан айланиш даражаси, табиийки, ортади ва $\tau \rightarrow \infty$ да (2.145) тенгламадан оламиз: $x \rightarrow k_1 / (k_1 + k_2)$. 2.2.2 ва 2.2.3 бўлимлардан қайтар реакция $K_m = k_1/k_2$ учун мувозанат константаси ва айланишнинг мувозанатдаги даражаси $x_m = K_m / (1 + K_m)$. Бундан x нинг реакторда эришадиган тўла қиймати x_m га тенг бўлади. Реакция мувозанатгача ўтиши табиий. $x(\tau)$ боғланиш 2.45-расмда келтирилган. Бу ерда солиштириш учун пунктир билан қайтар реакция учун $x(\tau)$ боғланиши келтирилган.

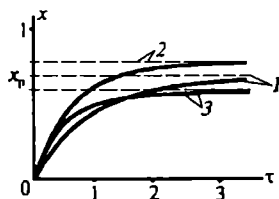


2.45-расм. Оддий қайтар реакция учун айланиш даражаси x нинг τ га боғлиқлиги (пунктир – қайтмас реакция учун).

Кўрилатган реакция тўғри ва тескари йўналишда биринчи тартибга эга ва бошланғич концентрация айланиш даражасига таъсир кўрсатмайди.

Температура таъсири. Унга константалар k_1 ва k_2 лар боғлиқ бўлиб, буларнинг ҳар бири температура билан ортади. Константаларнинг ўзгариши реакция тезлигига турлича таъсир этади: k_1 тезликни оширади, k_2 эса камайтиради. Йиғинди эффект эса k_1 ва k_2 ларнинг температура билан интенсив ўзгаришига боғлиқдир. Бу экзо- ва эндотермик реакциялар учун ҳар хилдир. 2.2.3-бўлимда $Q_m = E_2 - E_1$ (2.40 тенгламага қаранг). Экзотермик реакция учун ($Q_m > 0$, $E_2 > E_1$) ва k_2 (тескари реакция тезлиги ҳам) температура билан k_1 га қараганда (тўғри реакция тезлиги ҳам) тезроқ ўсади. Экзотермик реакция учун бу нисбат тескари бўлади: x_m камаяди.

Қайтар реакция учун $x(\tau)$ боғланиши ўзгариши T га қараб қуйидагича талкин қилинади.

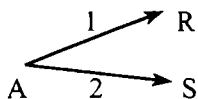


2.46-расм. T_1 (1) ва $T_2 > T_1$ (2,3) температураларда $x(\tau)$ нинг боғланиши. Реакциялар: эндотермик (2) ва экзотермик (3). Пунктир x_m нинг мазкур шаронглар учун айланишининг мувозанат даражалари.

Боғланиш $x(\tau)$ $x=0$ ($\tau=0$ да) дан x_m гача бир хил ўсиб боровчи функция бўлиб хизмат қилади ($\tau \rightarrow \infty$ ҳолатда). Т ортиши билан аввалига, x нолга яқин бўлганда реакция тезлиги ортади – тескари реакция аҳамияти (бу сзда $x \approx 0$) деярли ҳисобга олинмаса бўлади. Реакция бир мунча интенсив боради (2.46-расмда графикнинг чап қисми). т ортиши билан айланиш даражаси x асимптотик равишда мувозанатдаги x_m га яқинлашади. Ле-Шателье принципига кўра температура ортуви билан эндотермик реакцияда мувозанат маҳсулот ҳосил бўлиш томонига сурилади, яъни x_m ўсади. Эндотермик реакция интенсивроқ ўтади – бу 2.46-расмдаги 2 эгри чизигидан кўринади.

Бу ҳолатда k_1 темпсратура ортуви билан k_2 га қараганда тезроқ ўсади ва тўғри реакция айланишининг умумий тезлигига ҳиссаси x нинг барчаларида ошганлиги кўринади. Экзотермик реакция учун температуранинг мувозанатга таъсири тескаридир: бунда x_m камайтирилади. Реактордаги T нинг ортуви билан интенсив боровчи жараён, кейин ўз интенсивлигини пасайтиради – бу 2.46-расмдаги 3 эгри чизикдан кўринади. Бу ҳолда k_2 температура билан k_1 га қараганда кўпроқ ўсиши ва тескари реакциянинг айланишининг умумий тезлигидаги ҳиссаси x_m га яқин бўлганда кўпайди.

Мураккаб реакция, айланишнинг параллел схемаси



Иккала реакция биринчи тартибли. Бундай реакция компонентлари A , R ва S лар (2.38) тенгламага биноан қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$W_A = -k_1 C_A - k_2 C_A = -(k_1 + k_2) C_A; \quad W_R = k_1 C_A; \quad W_S = k_2 C_A.$$

Мстаматик жихатдан жараён куйидаги тенгламалар билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} dC_A/d\tau &= -(k_1 + k_2)C_A; \\ dC_R/d\tau &= k_1 C_A; \\ dC_S/d\tau &= k_2 C_A. \end{aligned} \right\} \quad (2.146)$$

$\tau = 0$ бўлганда $C_A = C_0$, $C_R = C_S = 0$ (2.146) системаси биринчи тенгламасининг ечими (2.135) тенгламасига ўхшашдир:

$$C_A = C_0 e^{-(k_1 + k_2)\tau} \quad (2.147 \text{ а})$$

(2.147а) ни (2.146) системасининг иккинчи тенгламасига қўямиз: $dC_R/d\tau = k_1 C_0 \exp[-(k_1 + k_2)\tau]$, уни интеграллаймиз:

$$C_R = \frac{k_1}{k_1 + k_2} C_0 [1 - e^{-(k_1 + k_2)\tau}]. \quad (2.147 \text{ б})$$

Шунга ўхшаш C_S учун оламиз:

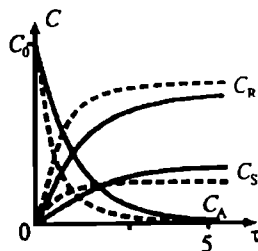
$$C_S = \frac{k_2}{k_1 + k_2} C_0 [1 - e^{-(k_1 + k_2)\tau}]. \quad (2.147 \text{ в})$$

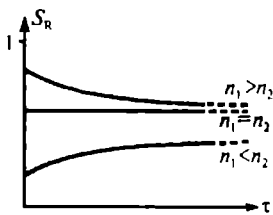
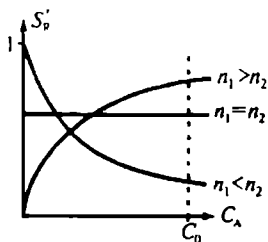
Реагентлар концентрацияларининг τ га боғлиқлиги 2.47-расмда кўрсатилган. Иккала хусусий реакциялар биринчи тартибли. S'_R нинг дифференциал селективлиги R маҳсулоти бўйича C_A нинг концентрациясига боғлиқ эмас ва тенг $S'_R = k_1/(k_1 + k_2)$. Бунда $n_1 = n_2 = 1$ ва $n_1 = n_2$ (2.47-тенглама ва 2.48 а-расмга қаранг) чизикдир. Шу боис интеграл танланганлик.

$$S_R = C_R/(C_R + C_S) = k_1/(k_1 + k_2)$$

C_A га боғлиқ бўлмайди, жараён ўтиши билан ўзгармайди (τ ортиши билан). Бу 2.48, б-расмда $n_1 = n_2$ чизиғи билан кўрсатилган.

2.47-расм. ИСЧ реакторида мураккаб параллел реакцияда реагентлар концентрациясининг ўзгариши. Узлуксиз чизиклар – T_1 температурада, пунктирдагилар – $T_2 > T_1$ ва $E_1 > E_2$ бўлганда.





2.48-расм. Дифференциал селективлик S'_R нинг параллел реакцияларда концентрация C_A (а) ва интеграл селективлик S'_R нинг τ (б) га ИСЧ реакторида (ёки ИА-ю) хусусий реакциялар n_1 ва n_2 ларнинг турли нисбатларидаги боғлиқлиги.

2.48, а-расмда S'_R нинг C_A га қараб ўзгариши хусусий реакциялар n_1 ва n_2 ларнинг турли нисбатларида берилган. Реактордаги дастлабки компонент А нинг C_A концентрацияси C_0 дан бошлаб камаяди. Реактордаги жараённинг боришида τ нинг ортиши ва C_A нинг камайиши билан интеграл селективлик ўрта интеграл катталики S'_R сифатида ўзгаради, бу 2.48, б-расмда кўрсатилганидек, C_0 ва C_A нинг мазкур қиймати оралиғида бўлади.

Реактордаги температура ортуви билан жараён, табиийки, интенсивлашади. R ва S маҳсулотларининг интенсив суръатда ҳосил бўлиши хусусий реакцияларнинг активланиш энергиялари бўлган E_1 ва E_2 ларнинг нисбатларига боғлиқ бўлади. 2.47-расмда пунктир чизиқ билан температура оширилганда концентрациялар профиллари $C(\tau)$ ва $E_1 > E_2$ шартида ўзгариши кўрсатилган. Бу ҳолда C_R ва C_S концентрациялари нисбати R нинг фойдасига бўлади.

Мана шу натижалардан амалий хулосалар ҳам келиб чиқади. Реакциялар тартиби тенг бўлганда параллел айланиш схемаси ($n_1 = n_2$) реакторлар эришиладиган айланиш даражаси жараён селективлигига таъсир этмайди. Агар ($n_1 > n_2$) бўлса, унда айланишнинг юқори даражасига эришиш R маҳсулоти бўйича селективликнинг камайиши боис ижобий эмасдир. Агар $n_1 < n_2$ бўлса, унда айланишнинг даражаси ортуви R маҳсулоти бўйича селективликка ижобий таъсир кўрсатади. Температуранинг ортиши $E_1 > E_2$ бўлганда интенсивликка ҳам, селективликка ҳам ижобий таъсир кўрсатади. Акс ҳолда ($E_1 < E_2$) температуранинг пасаяви интенсивликка салбий таъсир этган ҳолда селективликни оширади.

Мураккаб реакция, айланишнинг кетма-кет схемаси:



Иккала хусусий реакция биринчи тартибли ва жараён математик жиҳатдан тенгламалар системаси билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} dC_A/d\tau &= -k_1 C_A; \\ dC_R/d\tau &= k_1 C_A - k_2 C_R; \\ dC_S/d\tau &= k_2 C_R; \end{aligned} \right\} \quad (2.148)$$

$$\tau = 0 \text{ бўлганда}$$

$$C_A = C_0, C_R = C_S = 0$$

(2.148) системадаги биринчи тенгламанинг ечими илгари олинганди:

$$C_A = C_0 e^{-k_1 \tau} \quad (2.149)$$

(2.149) ни иккинчи тенгламага қўямиз:

$$dC_R/d\tau = k_1 C_0 e^{-k_1 \tau} - k_2 C_R. \quad (2.149 \text{ а})$$

Бу ўнг қисми қуйидаги кўринишга эга чизикли дифференциал тенгламалар:

$$y'_x + P(x)y = Q(x),$$

унинг умумий ечими маълумотнома адабиётларида мавжуд:

$$y = e^{-\int P(x)dx} \left[\int Q(x) e^{\int P(x)dx} dx + A \right],$$

бу ерда A – интеграллаш константаси.

(2.149 а) тенглама учун:

$$P(x) \equiv k_2; Q(x) = k_1 C_0 e^{-k_1 \tau};$$

$$e^{-\int P(x)dx} \equiv e^{-\int k_2 d\tau} = e^{-k_2 \tau};$$

$$\int Q(x) e^{\int P(x)dx} dx \equiv \int k_1 C_0 e^{-k_1 \tau} e^{k_2 \tau} d\tau = \frac{k_1}{k_1 - k_2} C_0 e^{(k_2 - k_1)\tau}$$

Ушбу ифодаларни умумий ечимга қўйиб ва бошланғич шарт $C_R(0) = 0$ дан интеграллаш константаси A ни аниқлаш учун фойдаланган ҳолда оламиз:

$$C_R = -\frac{k_1}{k_1 - k_2} C_0 \left[e^{-k_1 \tau} - e^{-k_2 \tau} \right]. \quad (2.149 \text{ б})$$

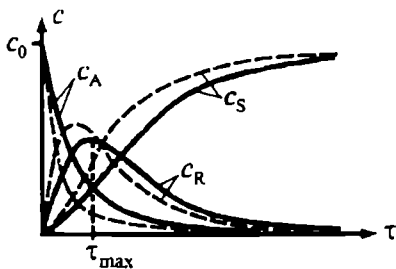
(2.149 б) ии (2.148) системасининг учинчи тенгламасига қўямиз ва интеграллаймиз:

$$C_S = C_0 \left[1 - \frac{k_2 \exp(-k_1 \tau) - k_1 \exp(-k_2 \tau)}{k_2 - k_1} \right]. \quad (2.149 \text{ в})$$

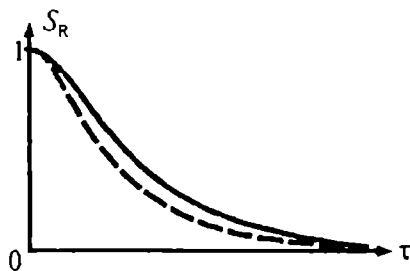
(2.149 а-б) нинг боғланишлари график кўринишда 2.49-расмда кўрсатилган. Жараёнда А компонент сарфланади, унинг концентрацияси C_A камаяди. C_R нинг концентрацияси аввалига ўсади – R интенсив равишда А дан ҳосил бўлади.

Реакция ўта бориши билан C_A ва R нинг ҳосил бўлиши камаяди. Бир вақтнинг ўзида R нинг йиғилиши унинг кейинги айланишини тезлаштиради. Қандайдир моментларда ($\tau_{\max}$ га қаранг, 2.49-расм) R нинг ҳосил бўлиш ва сарфланиш тезлиги тенглашади ва кейин R асосан S нинг ҳосил бўлишига кетади – бунда C_R концентрацияси максимумдан ўтиб, камаяди. S нинг ҳосил бўлиш тезлиги аввалига камроқ – S бўлувчи R компоненти ҳамдир. Кейин S нинг ҳосил бўлиш интенсивлиги ўсади ва охирида битта сўнгги маҳсулот S қолади. Оралик маҳсулот R бўйича интеграл селективлик айланиш чуқурлашуви билан камаяди (2.50-расм).

Температура ортуви билан барча жараёнлар интенсив ўтади. Агар бунда биринчи хусусий реакция тезлиги иккинчи ($E_1 > E_2$) никига қараганда тезроқ ўсса, R нинг максимум чиқишига (C_R концентрацияси) олдинроқ эришилади, балки катталиги бўйича ҳам



2.49-расм. ИСЧ реакторин ёки (ИЛ-л) реакторида кетма-кет реакция ўтишидаги реагентлар концентрацияларининг ўзгариши. Узлуксиз чизиклар T_1 температурада, пунктирда – $T_2 > T_1$ ва $E_1 > E_2$ бўлганда.



2.50-расм. Интеграл селективлик S_R τ га боғлиқлиги (кетма-кет реакцияда). Узлуксиз чизик – T_1 температурада, пунктир – $T_2 > T_1$ ва $E_1 > E_2$ бўлганда.

юкори бўлади. Жараён селективлиги ҳам юкори бўлади. Бу 2.49 ва 2.50-расмда пунктирда кўрсатилгандир. Бу ерда $E_1 > E_2$ бўлса, температура ни ошириш мақсадга мувофиқ, бунда нтенсивлик ва R нинг чиқиши ва селективлик ортади. Сўнгги маҳсулотни (S) ошириш учун эса умумий айланишни ошириш мақсадга мувофиқдир.

2.7.2. Оқар реакторда идеал аралашуш режими

Идеал аралашуш оқар реакторидаги изотермик жараён қуйидаги тенглама билан ифодаланади (2.131 а).

$$(C - C_0)/\tau = W(C) \quad (2.150)$$

Оддий қайтмас реакция $A=R$. Биринчи тартибли реакция $W(C) = -kC$ ўтганда (2.150) тенглама қуйидаги кўринишга ўтади.

$$(C_0 - C)/\tau = kC \quad (2.151 а)$$

ёки айланиш даражаси $x = (C_0 - C)/C_0$ га ўтилганида,

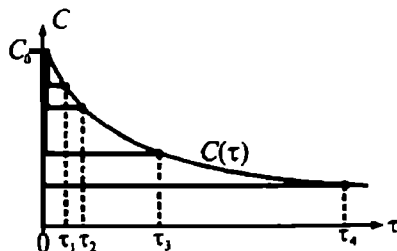
$$x/\tau = k(1 - x). \quad (2.151 б).$$

(2.151 а, б) тенгламаларни ечиб, реактордаги концентрация ва айланиш даражасини топамиз:

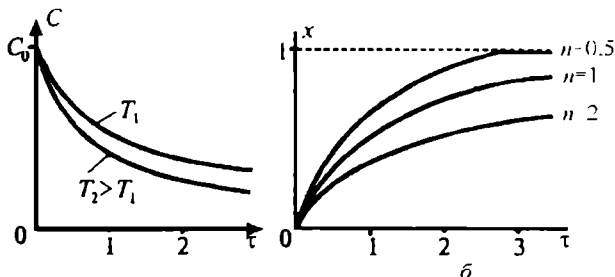
$$C = C_0/(1 + k\tau); \quad x = k\tau/(1 + k\tau). \quad (2.152)$$

(2.150) тенгламанинг C га нисбатан биринчи тартибли бўлмаган реакция учун (нафақат $n=0,5$ ёки 2 бўлганда) аналитик ечими чеklangандир. $\tau = W(C)/(C - C_0)$ ни аниқлаш қулайроқ ҳисобланади.

Олинган ечимни интерпретация қиламиз. Идеал аралашуш оқар реакторида $\tau = v_v/V_0$ – мазкур реактор учун белгиланган катталиқ реагентларнинг концентрацияси унинг барча нукталарида бир хил ва C га тенг, киришда эса – C_0 дир. Бу киришда концентрация C_0 дан C



2.51-расм. Концентрация C нинг идеал аралашуш оқар реакторда турли τ ларда тарқалиши.



2.52-расм. $C(\tau)$ нинг T_1 ва $T_2 > T_1$ (а) ва $x(\tau)$ (б) температураларда турли n тартибли реакцияларда ва идеал аралашув реакторидаги боғлиқлиги.

сакрашни англатади (C_0 дан C га ўтиш амалда кичик бўлганлигидан уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади). Бундай кўринишда концентрацияларнинг $C-\tau$ координатларида бўлиниши пиллапоясимон чизикдир. 2.51-расмда шундай боғланиш турли катталикларда берилган, яъни турли ҳажмдаги V_p ёки битта реакторда турли юклама V_0 да келтирилгандир. Синик чизикларнинг охири нуқталарини бириктириб, 2.51-расмда кўрсатилганидек, (2.152) нинг график ифодаси сифатида $C(\tau)$ нинг эгри чизигини оламиз [ёки 2.150 умумий ҳолатда]. Шунинг учун $C(\tau)$ боғланишни турли реакторлар режимлари йиғмаси сифатида кўрсатиш, лекин идеал сиқиб чиқариш ёки даврий реактордаги сингари битта концентрация ўзгаришидек деб олиб бўлмайди.

Мисол сифатида 2.52, а-расмда температура таъсири, 2.52, б-расмда реакция тартибининг $C(\tau)$ боғланишга таъсири кўрсатилган.

Оддий қайтар реакция $A \leftrightarrow R$ (2.150) жараёнининг модели айланиш даражаси қўлланилганда қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$x/\tau = k(1-x) - k_2x,$$

ёки

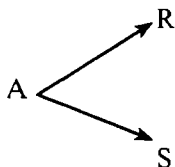
$$x = \frac{k_1\tau}{1+(k_1+k_2)\tau} \quad (2.153)$$

бўлганда x нинг юқори қиймати тенг бўлади. $x = k_1/(k_1+k_2)$ 2.7.1 бўлимда кўрсатилганидек, у айланишнинг мувозанатдаги даражасига тўғри келади.

$x(\tau)$ боғланиш кўриниши ва унга температуранинг таъсири ИСЧ режими сингари бўлади.

Мураккаб реакциялар

Жараён ифодаси ва модел тенгламаси ечимини келтирамиз (биринчи тартибли хусусий реакциялар). Айлананишнинг параллел схемаси:



$$\begin{array}{l|l} (C_0 - C_A)/\tau = -(k_1 + k_2)C_A & C_A = C_0/[1 + (k_1 + k_2)\tau] \\ C_R/\tau = k_1 C_A & C_R = k_1 \tau C_0/[1 + (k_1 + k_2)\tau] \\ C_S/\tau = k_2 C_A & C_S = k_2 \tau C_0/[1 + (k_1 + k_2)\tau] \end{array}$$

Айланишнинг кетма-кет схемаси $A \rightarrow R \rightarrow S$

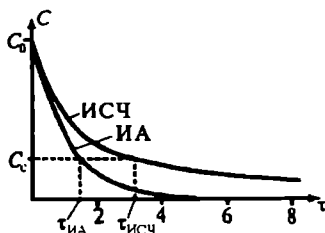
$$\begin{array}{l|l} (C_0 - C_A)/\tau = -k_1 C_A & C_A = C_0/(1 + k_1 \tau) \\ C_R/\tau = k_1 C_A - k_2 C_R & C_R = k_1 \tau C_0/[(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)] \\ C_S/\tau = k_2 C_R & C_S = k_1 k_2 \tau^2 C_0/[(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)] \end{array}$$

$C(\tau)$ боғланишнинг сифат характери, унга температуранинг таъсири ҳамда τ нинг ўзгариши билан селективлиكنинг ўзгариши идеал сиқиб чиқаришни сингари бўлади (2.47–2.50-расмларга қаранг). Бунга ўқувчимизнинг ўзи икорор бўлиши таклиф этилади.

2.7.3. Ўзлуксиз жараёнларда идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқаришни солиштириш

Оқар реакторларни идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш режимларида такқослаймиз. $C(\tau)$ ва $x(\tau)$ боғланишларни сифат характери ҳамда жараён параметрларининг уларга таъсири мос келади. Кўрсатилган жараёнларни миқдорий такқослаймиз.

Буларнинг инсентивлиги бўйича такқослаймиз: қайси режимда ўзга шароитлар тенглигида айланиш даражаси бир хиллигига реактор ҳажми камли-



2.53-расм. $C(\tau)$ нинг идеал сиқиб чиқариш (ИСЧ) ва идеал аралашуш (ИА) оқар реакторларидаги боғланиши.

гида эришилади (V_0 , C_0 , T). 2.53-расмда бир хил масштабда $C(\tau)$ боғланиш ИА-у ва ИСЧ режимларида биринчи тартибли реакция учун тезлик константаси $k=1$ бўлади.

Графиклардан бир хил айланиш даражасига эришиш учун ёки бир хил сўнгги концентрация C_0 идеал сиқиб чиқариш режимида τ ИСЧ идеал сиқиб чиқариш режимидаги τ ИА катталиклдан кичиклиги кўринади, яъни $\tau_{\text{ИСЧ}} < \tau_{\text{ИА}}$. Тегишлича реакторлар ҳажмлари ҳам шундай нисбатда олинади, яъни ИСЧ режимида жараён ИА режимидагидан интенсивроқ бўлади. Бошқа реакцияларда ҳам мазкур натижаларни тасдиқлаш учун (2.135) ва (2.150) жараёнларнинг математик моделларини график усулда ечамиз. Буларни тегишли куйидаги кўринишда ифодаalayмиз.

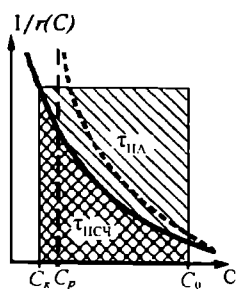
$$\tau_{\text{ИСЧ}} = \int_{C_c}^{C_0} \frac{dC}{r(C)} \quad (2.154 \text{ а}) \quad \text{ва} \quad \tau_{\text{ИСЧ}} = \frac{C_0 - C_T}{r(C_T)} \quad (2.154 \text{ б})$$

Бу ерда $W(C) = -r(C)$ дан фойдаланилган.

Реакция тезлигининг тескари кўриниши $1/r$ концентрация C бўйича 2.54-расмда эгик эгри чизиги билан берилган. $r(C)$ кўпинча концентрация C билан монотонда ўсиб борувчи функциялиги боис, камаювчи функция ҳисобланади. $C \rightarrow 0, r^{-1}(C) \rightarrow \infty$ бўлганда $r^{-1}(C)$ қайтар реакция учун $r^{-1}(C) \rightarrow \infty$ бўлади $C \rightarrow C_m$ да, бу 2.54-расмда пунктирда кўрсатилган.

Эгри чизик майдони интегралланган функция $r^{-1}(C)$ C_c ва C_0 оралиғида бу функциянинг интегралига тенг бўлади, $\tau_{\text{ИСЧ}}$ га тенг – (2.154 а) тенгламага қаранг ва 2.54-расмдаги тегишли штрихланган майдончага қаранг.

ИА режимидаги шартли вақт $\tau_{\text{ИА}}$ реакция тезлиги катталиги тескари қийматининг сўнгги концентрация $r^{-1}(C_0)$ ва концентрациялар фарқи $C_0 - C_c$ ларнинг кўпайтмасига тенгдир. $C - r^{-1}$ координаталарида бу кўпайтма



2.54-расм. Реакция тезлиги тескари катталигининг концентрация C га боғлиқлиги ва идеал аралашуш ($\tau_{\text{ИА}}$) ва идеал сиқиб чиқариш ($\tau_{\text{ИСЧ}}$) реакторлардаги шартли вақтини аниқлаш. Пунктир чизиги – қайтар реакция – $1/r(C)$ учун.

томонлари $C_0 - C_k$ ва $\tau'(C_k)$ бўлган тўғри тўртбурчак майдони бўлиб, бу 2.54-расмда кўрсатилган.

Камаювчи барча боғланишлар учун $\tau'(C)$ доимо $\tau_{ИСЧ} < \tau_{ИА}$ дир. исч ва ИА ларни сон жнхатдан солиштиришни биринчи тартибли реакция ўтганида қуйида келтирилган маълумотлардан фойдаланиб амалга ошириш мумкин (к_т нинг киймати келтирилган бўлиб, жараён моделида бу параметрни доимо ажратиш мумкин бўлади):

x	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95	0,99
k _{тИСЧ}	0,051	0,105	0,22	0,69	1,61	2,3	3,0	4,6
k _{тИА}	0,053	0,111	0,25	1,00	4,00	9,0	19	99

Келтирилган маълумотлардан $x < 0,1$ бўлганда идеал аралashiш ва сиқиб чиқариш режимидаги жараёнлар интенсивлиги бир хиллиги кўринади (фарқ 5% дан кам). x катталашуви билан фарқ тез ўсади.

x = 0,9 бўлганда ИСЧ режими ИА га қараганда 4 барабар юкоридир ва x = 0,99 га етганда 20 барабардан ортиқдир.

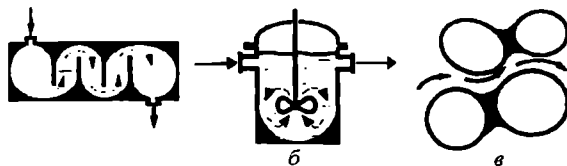
Тсгишлича реакторлар ҳажмлари ҳам фаркланади. Рсакторларни нафақат интенсивлик бўйича, балки жараён селективлиги бўйича ҳам солиштирадilar.

2.7.4. Реакторлардаги нондеал режимлар

Идеал режим-аралashiш ва сиқиб чиқаришни ташкил этиш амалда анча қийинчилик туғдиради. Реал ҳаётда идеал режимдан четга чиқишлар бўлиб турадики, бунинг ўз сабаблари бор.

Идеал режимдан четга чиқиш сабаблари. Буларга қуйидагилар қиради.

Турғунлик зоналари реакцион зона конфигурацияси барча қисмларда бир хил бўлмаганда вужудга келади. 2.55-расмда турғунлик зоналари кўрсатилган (булар штрихланган) бўлиб, улар аппаратура геометрияси



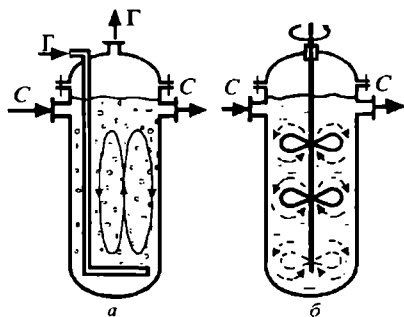
2.55-расм. Реакторларда турғунлик зоналари ҳосил бўлиш вариантлари (кораланган, а, б) ва донатор каватда (в).

(шакл-шамойили) билан боғлиқ (а, б) ва донатор каватда вужудга келади (в). Буларда реакцияга кирувчи аралашма ушланиб қолади, модданинг асосий ҳажм билан (иссиклик билан ҳам) алмашинуви чекланган, айланиш бу шароитда ўзга шароитларда амалга ошади.

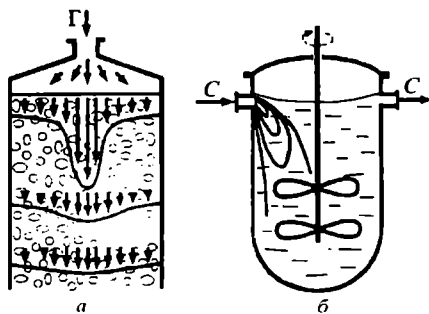
Бу умумий айланишга таъсир этиши ва ҳатто аварияларга олиб келиши мумкин. Каталитик жараёнларда 2.55, α -расмда кўрсатилаганидек, турғун зоналарда каталитик комплекслар йиғилиб қолади. Нордон оксидловчи муҳит вужудга келиб, реактор девори кимёвий коррозияга учрайди, деворлар дарз кетиб, аварияларга олиб келувчи ҳодисалар бўлиб туради.

Циркуляцион оқимлар аралаштирилувчи реакторларда охириги интенсив аралашув ҳисобига вужудга келади. Бу колоннали барботаж аппаратларида баландлик H нинг диаметри $D_{ан}$ га нисбати учдан юқори бўлганда кўринади ($H/D_{ан} > 3$). (2.56, α -расм). Газнинг кўтарилувчи пуфакчалари суюкликнинг бирмунча юқори циркуляциясини ва аралашувини таъминлайди. $H/D_{ан} \approx 1$ бўлганда ҳажмий реакторларда деярли идеал аралашув амалга ошади, лекин колоннали аппаратларда (буларда одатда $H/D_{ан} = 5 \div 6$ га тенг бўлади) циркуляция вақти реакция ўтиш вақтига тенглашади ва идеал аралашув моделини қўллаш жараёнини ифодалаш учун асос бўлмайди.

Бир неча циркуляцион зоналарнинг вужудга келиши ҳам эҳтимолдан холи эмас, масалан, бу кўп пиллапояли аралаштиргичга эга колоннали аппаратда амалга ошуви мумкин (2.56, б-расм).



2.56-расм. Колоннали реакторлардаги циркуляцион оқимлар.

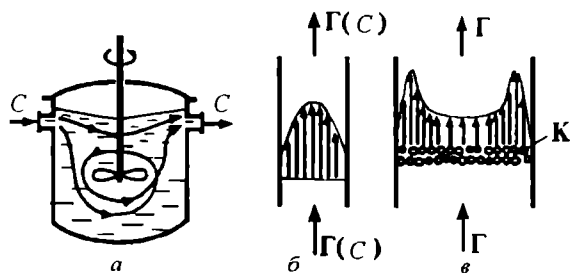


2.57-расм. Реакторга оқим киришида унинг бир жинсли тарқалмаслиги донатор каватда (а) ва аралаштирилувчи суюклик реакторида (б) кўриниши.

Оқим таркалувининг бир жинсли эмаслиги одатда реакторга кираётган реакцияон аралашма шароитларининг ҳар хиллиги билан тушунтирилади. Мисол 2.57, *а*-расмда кўрсатилган реакторга кираётган реакцияон аралашманинг донатор каватга (катализаторга) эгалиги. Кириш патрубкисида, газ йўлидаги сингари, оқим тезлиги 10–20 м/с, реакторда эса кўпинча 1 м/с атрофидадир. Кирувчи сочманинг динамик босими оқимни донатор каватга ҳайдайди.» Газ тезлиги кават чеккасида кичикдир. Фақат донатор каватнинг бироз ичкари-сида оқим кесим бўйлаб таркалади. 2.57, *б*-расмда кўрсатилганидек, ҳатто интенсив аралаштирувчи реакторда ҳам киритилаётган реакцияон аралашма унинг масаласи билан тезгина аралашиб кетмайди. Агар реакция бир мунча интенсив бўлсада, аралаштириш зонасида эса у ҳажмдагига караганда ўзгачароқ ўтади. Масалан, бу апатитнинг реакторда кислотдаги парчаланишида амалга ошуви мумкин.

Бундай жараёнда кислота концентрациясини сақлаб туриш талаб қилинади, нормадан ошиб кетганда кальций сульфатнинг чўкишини кўпайтириб юборади. Ҳар хил воқеалар олди олинмаса (чўкма юзани беркитиб қўйиши, эришни тўхтатиб қўйиши мумкин), фосфорни ажратиш камайиб кетиши мумкин.

Реакцияон аралашманинг бўлиш вақтини таркатиш аралаштирилувчи реакторларда доимо учраб туради (2.58, *а*-расм). Кирувчи оқимнинг қандайдир қисми тезгина чиқишга улгуради. Модданинг айланишига вақт кам бўлади. Оқимнинг бир қисми реакцияон зонада кўпроқ вақт қолиб кетади. Чиқишда оқимнинг барча қисмлари аралашиб кетади. Агар



2.58-расм. Аралаштирилувчи реакторда (*а*) модда ҳаракатининг бўлиши мумкин бўлган траскториялари ва оқимнинг тешик трубади реактор (*б*) ва донатор кават (*в*) кесими бўйича оқим тезлигининг тарқалиши.

реакцион арлашманинг ҳар бир порцияси қимёвий актга учраса, унда бўлиш вақтининг тарқалиши умумий айланишга катта таъсир кўрсатмайди. Лекин узундан-узун, кўп босқичли айланишлар ҳам содир бўлиши эҳтимолдан холи эмас. Полимерланиш жараёни шундай жараёнлардан ҳисобланади. Полимер занжири узунлиги реакцияни ўтказиш вақтига боғлиқ бўлади. Полимер молекулалари узунлиги ҳар хил бўлиб қолиши молекуляр-масса таркибига сифат жиҳатидан салбий таъсир кўрсатиши аниқланган.

Трубкалар реакторда оқим трубка ўқи ва девор бўйлаб ҳар хил тезлик билан ҳаракатланади (2.58, б-расм). Донатор насадкалар реакторда (масалан, катализаторлида) кесим бўйича тезлик барабарлашади (насадка ҳисобига). Барибир, девор ёнида газ кўпроқ ўтади (2.58, в-расм).

Марказий қисмдаги қаватда ва четда модданинг турли вақтда бўлиши турли айланишларга сабаб бўлади, қават кесими бўйича концентрация градиентлари вужудга келади. Бу кесим бўйича диффузион кўчишларга сабаб бўлади. Агар бу ҳодиса интенсив бўлса, унда концентрация кесим бўйича тенглашади, жараёни илсал сикиб чиқариш модели билан ифодалаш мумкин бўлади.

Оқим реакторида доимо диффузион кўчиш рўй бериб туриши орқасида узунлик бўйича концентрация градиенти рўй бериб туради. Бундай кўчиш механизми нафақат молекуляр бўлиб, балки модда оқими D , dC/dl ни диффузиянинг қандайдир эффектив коэффициент D , билан ҳам аниқланиши мумкинлиги маълум. Бу оқимни конвектив билан солиштирилса, унда буни моделни тузишда ҳисобга олиш керак бўлади.

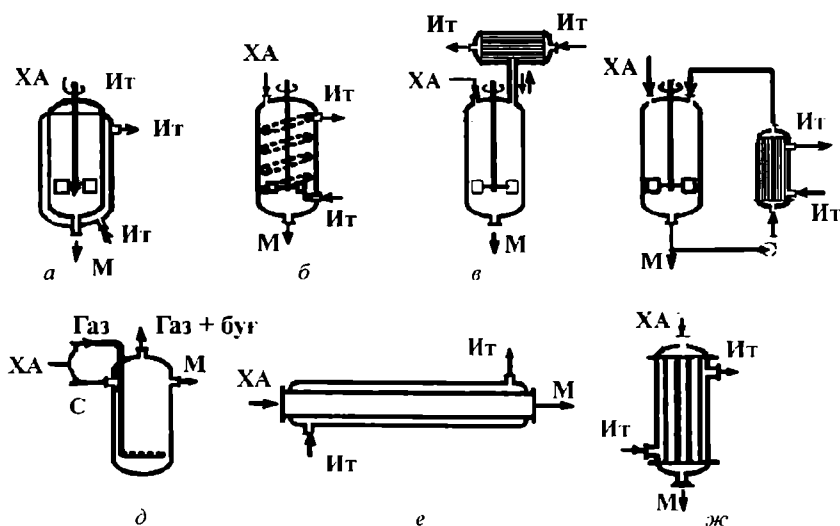
Реактордаги оқимнинг ноидеаллигини ҳисобга олиш бир қатор босқичларни ўз ичига олади. Биринчи босқич – реактор ҳажмидаги оқимлар тезлиги майдонини аниқлаш (масалан, диффузион оқимники). Бунда тезлик вкторларини эксперимент ёрдамида ўлчаш ёки аэро- ёки гидродинамик синовлардан фойдаланиш. Иккинчи босқич оқим структураси ва кўчиш ҳодисасини тўла ақс эттирувчи моделни тузиш. Учинчи босқич – жараён кўрсаткичларидаги оқимнинг идеалликдан четга чикувини олинган модел ёрдамида таҳлил қилиш. Бундай таҳлил асосий оқим бўйича диффузион кўчишини агар $Lu/D_p > 50$ (бу ерда L – реактор узунлиги) амалда ҳисобга олинмаслиги мумкинлигини кўрсатди.

2.8. КИМЁВИЙ РЕАКТОРДАГИ НОИЗОТЕРМИК ЖАРАЁН

2.8.1. Реакторда иссиқлик алмашинишни ташкил этиш ва температура режимлари

Кимёвий айланиш доимо реагентлар энтальпияси ўзгариши билан боради, бунда иссиқлик ажралади ёки ютилади, натижада таъсирлашувчи аралашма температураси кўтарилади, Атроф билан иссиқлик алмашинуви ҳам киради, унинг ёрдамида реакция, ётиш зонасида ксрак температура шароитлари яратилади.

Илгари 2.6.2-бўлимдан кимёвий реакторларнинг иссиқлик режимлари бўйича классификацияси берилганди. Реакцион зона билан иссиқлик алмашинишнинг техник счимлари умумий кўриниши 2.59-расмда кўрсатилган. *а, б, в, ж* схемаларда иссиқлик олиб кетилиши иссиқлик алмашиниш юзаси орқали реакция зонанинг ўзидан иссиқлик ташитгич орқали амалга оширилади. *в, г*, схемаларда иссиқлик алмашиниш юзаси реакция зонадан чиқарилган. Схема *в* да иссиқлик реакцияон аралашманинг бир қисми буғланиши ҳисобига чиқарилади, у конденсацияланади ва реакторга қайтарилади, *г* схемада реакцияон аралашма реакцияон

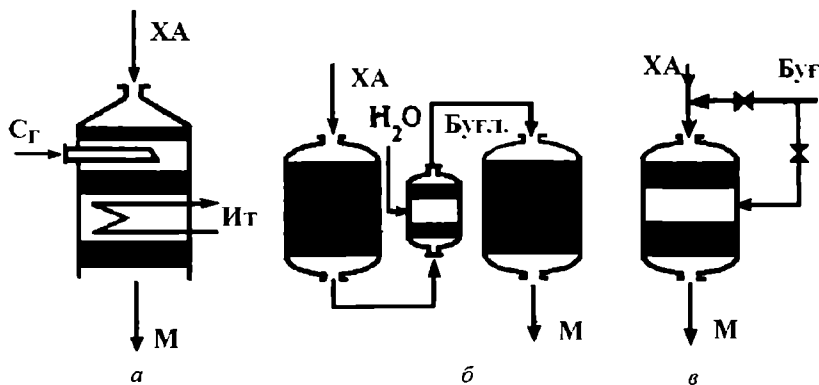


2.59-расм. Кимёвий реакторлардаги реакцияон зонада иссиқлик алмашинишни ташкил этиш. Х_А—хом ашё; М—маҳсулотлар; Ит—иссиқлик ташитгич.

зона билан иссиқлик алмаштиргич оралиғида айланади, шу жойда иссиқлик алмашиниш рўй беради. Схемада иссиқлик факат суюқлик бугланиши, одатда барботирловчи компонент бўлган эритувчи ҳисобига чиқарилади. Газ компонентни «сиккан» ҳолда, яъни реактордаги босимни ўзгартириб, газ оқимидаги олиб кетилаётган буг микдорини ўзгартириш мумкин ва буг билан олиб кетилаётган иссиқлик микдорини ўзгартириш мумкин.

Кўп қаватли реакторда ёки кетма-кет қўйилган реакторларда иссиқлик қаватлараро бўшлиқдан (ёки реакторлар оралиғидан) юза иссиқлик алмаштиргичлар ёрдамида чиқарилади, бунда совук (қайноқ) реакцион аралашма ёки унинг компонентларини киритишдан ҳам фойдаланилади.

Схемалар 2.60-расмда келтирилган. SO_2 ни оксидлаш реакторида катализаторнинг иккинчи қаватидан кейин (*а* схема) ва кейингиларидан иссиқлик алмаштиргич юзалар орқали чиқарилади, биринчи қаватдан кейин эса совук реакцион аралашма киритиш билан амалга оширилади. Бунинг учун ҳам ашёнинг маълум қисми керакли температурагача иситилади ва биринчи қаватга йўналтирилади, қолган қисми иситилмаган ҳолда, биринчи қаватдан кейинги иссиқ оқимга совутилган ҳолда қўшилади. Аммиак ишлаб чиқаришдаги (*б* схема) CO нинг буг конверсиясида реакцион аралашма биринчи қаватдан кейин реагентлардан бири – суюқ ҳолдаги сувни сочиш ҳисобига совутилади. Сувни сувнинг



2.60-расм. Кўп қаватли реакторларда ва кетма-кет реакторларда оралик иссиқлик алмашинишни ташкил этиш. *ХА*, *М*, *Ит* – 2.59-расмдагидек. *Сг*–совук газ, *Буг.л.*–буғлатгич.

буғланиши ҳисобига амалга ошади. Синтетик каучук мономерлари ишлаб чиқариш реакторларида (в схема) экзотермик дегидрирлаш реакциялари амалга ошади. Бунда бутан, бутилен, этилбензол ва бошқалардан фойдаланилади. Инсерт суюлтирувчи сифатида сув буғидан фойдаланилади. Биринчи қаватдан кейин реакция ара-лашма температураси юқори температурали ўткир буғ киритиш билан кўтарилади.

Кўп қаватли реакторлар ва реакторлар системаси кимё техноло-гияси системаси қисми сифатида кейинроқ кўрилади. Бу ерда битта реакция зонадаги жараёни қараймиз. Худди изотермик жараён-ники сингари жараён анализи иссиқлик алмашилиш реакторида олинган моделлар чегарасида ўтказилади.

2.8.2. Даврий идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш оқимли иссиқлик алмашинувчи режимлар

Илгари оқимсиз идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш реак-торларидаги жараёнлар математик моделлари ўхшашлиги кўрсатиб ўтилганди. Идеал сиқиб чиқариш жараёни ифодасидан фойдалана-миз (2.132 а-в):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= W(C, T); \\ c_m \frac{dT}{dt} &= Q_m r(C, T) - K_T F_{\text{сол.}} (T - T_x); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } C &= C_k, T = T_k. \end{aligned} \right\} \quad (2.155)$$

Идеал аралашув реакторидаги даврий жараён учун шартли вақт τ , астрономик вақт $t \equiv \tau$ дир. Оддий реакция ўтганда $W(C, T) = -\tau(C, T)$ га тенг бўлади. Айланиш даражасига ўтиб $x = (C_0 - C)/C_0$, (2.155) системани қуйидаги кўринишга ўтказамиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{r(C, T)}{C_0}; \\ \frac{dT}{dt} &= \frac{Q_m C_0}{c_m} \frac{r(C, T)}{C_0} - \frac{K_T F_{\text{сол.}}}{c_m} (T - T_x); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } x &= x_k, T = T_k, \end{aligned} \right\} \quad (2.156)$$

Бу сярда ишлатилган ифодалар: C_0 – таъсирлашмаган аралашмадаги дастлабки компонентнинг реакторга кираверишидаги бошлангич концентрацияси; C_k – мазкур компонентнинг реакторга кираверишидаги концентрацияси, у C_0 дан фаркланиши мумкин, агар реакторга қисман таъсирлашган аралашма берилса (унда $x_k \neq 0$).

$Q_m Q_0 / c_m = \Delta T_{ад}$ ифодаси – **адиабатик иситиш** илгари учраганди (2.5.4 бўлимда). Реакция тезлиги $r(C, T)$ нинг дастлабки концентрация C_0 га нисбатини айланиш даражаси x билан ифодалаймиз ва белгилаймиз: $r(C, T)/C_0 = r(X, T)$.

Куйидаги нисбат

$$K_T F_{сол.} / c_m = B \quad (2.157)$$

иссиқликни чиқариш параметридир.

Мазкур белгилашлар туфайли (2.156) система яхшироқ кўринишга эга бўлади.

$$\left. \begin{aligned} dx/d\tau &= r(x, T); \\ dT/d\tau &= \Delta T_{ад}(x, T) - B(T - T_k); \\ \tau &= 0 \text{ бўлганда } x = x_k, T = T_k. \end{aligned} \right\} \quad (2.158)$$

Ушбу системада факат учта параметр: $\Delta T_{ад}$, B ва T_k реактордаги иссиқлик ҳодисаларини характерлайди. Агар схемаси мураккаб бўлган реакция амалга ошса, унда (2.158) системасининг дифференциал тенгламасининг ўнг қисмидаги биринчи қўшилувчилар бундай кўринишга эга бўлади:

$$\sum_j r_j(x, T) \quad \text{ва} \quad \sum_j \Delta T_{адj} r_j(x, T),$$

бу ерда j индекси j хилдаги хусусий реакцияга тегишлидир.

Жараён анализи.

Умумий кўринишда аналитик ечимни олиш қийин бўлсада, жараён анализини ўтказишга ҳаракат қиламиз.

Адиабатик режимда атроф билан иссиқлик алмашинмайди, яъни $B=0$ ва (2.158) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\left. \begin{aligned} dx/d\tau &= r(x, T); \\ dT/d\tau &= \Delta T_{ад} r(x, T); \\ \tau &= 0 \text{ бўлганда } x = x_k, T = T_k. \end{aligned} \right\} \quad (2.159)$$

Ушбу системанинг иккинчи тенгламасини биринчига бўламиз ва $dT/dx = \Delta T_{ad}$ ни оламиз. Уни x_k билан x ва T_k билан T оралигида интеграллаймиз. Реакцион аралашма иситилишн ($T-T_k$)ни айланиш даражаси x га етгунча оламиз:

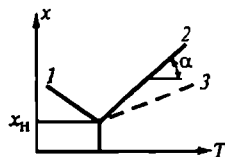
$$T - T_k = \Delta T_{ad}(x - x_k). \quad (2.160)$$

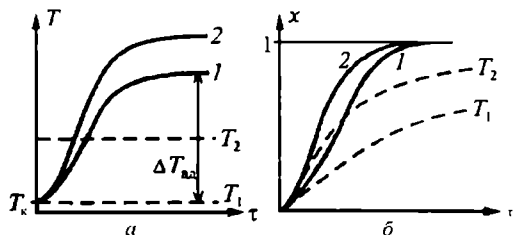
Агар бошланғич реакция аралашма фақат хом ашёдан иборат бўлса ($x_k = 0$) ва реакция охиригача ўтказилса ($x = 1$ гача), унда реакция аралашма $T - T_k = \Delta T_{ad}$ га исийди (адиабатик иситиш катталиги-га), бу T_{ad} ибораси моҳиятига жавоб беради.

(2.160) тенгламада x ва T нинг чизикли боғлиқлиги кўринади, бунда кинетик боғланиш кўринишининг аҳамияти йўқ. Жараён натижаси (охирги температура T) кимёвий таъсирлашувчи система (айланиш даражаси x) га боғлиқ бўлади, лекин айланиш йўлига боғлиқ бўлмайди, қандай ўтишида кинетиканинг роли бўлмайди, Диаграмма « $T-x$ » (2.61-расм)дан ва реактордаги жараён анализидан фойдаланамиз, адиабатик жараёнда $x(T)$ боғлиқлиги – қайрилган тўғри чизикдан иборат бўлиб (аниқроғи қийшайиш бурчаги танген-си x билан), адиабатик иситиш катталиги тескарисига тенг бўлади: $\operatorname{tg} \alpha = 1/\Delta T_{ad}$. Экзотермик реакция учун қийшайиш ижобийдир ($Q_m > 0$ ва $T_{ad} > 0$), эндотермик реакция учун манфийдир ($Q_m < 0$ ва $T_{ad} < 0$). ΔT_{ad} қанчалик катта бўлса (масалан, дастлабки реагент C_0 концен-трацияси оширилганда), тўғри чизик қийшайишининг нисбатан қиялиги реакция аралашма тезроқ иситиши ёки совитиши билдира-ди (2.61-расмдаги экзотермик реакция учун кўрсатилган пунктир чизик).

t га боғлиқ равишда T ва x нинг ўзгариши 2.62- ва 2.63-расмлар-да кўрсатилган. Реакция ўтиши билан (t ўсиши билан), табиийки, пропорционал равишда температура T ўсади (ёки эндотермик ре-акция учун камаяди). Максимал иситиш $x \rightarrow 1$ ганда амалга ошади ва ΔT_{ad} га тенг бўлади. Бошланғич концен-трациянинг ва тегишлича

2.61-расм. Адиабатик жараён учун « $T-x$ » графиги:
1 – эндотермик реакция; 2 – экзотермик реакция ΔT_{ad}
бўлганда; 3 - $\Delta T'_{ad} > \Delta T_{ad}$ ҳолат учун шунинг ўзи.





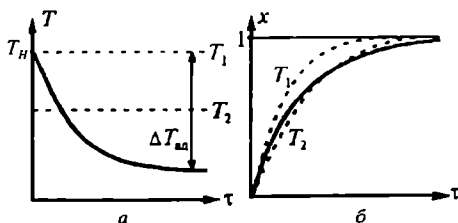
2.62-расм. Температура T (а) ва айланиш даражаси x (б) нинг ИСЧ режимидаги профиллари. Узлуксиз чизиклар – Тал (1) ва $T_{ad} > T_{al}$ (2) бўлганда экзотермик адиабатик жараён; пунктир чизиклар – T_1 ва T_2 температуралардаги изотермик жараён.

ΔT_{ad} нинг ошуви температуранинг кўп ўсуви ва айланишнинг тезлашувига олиб келади (2.62-расмдаги 2-эгри чизик).

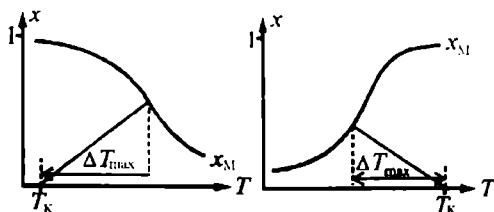
Изотермик жараён билан солиштириш.

Натижа изотермик жараён температурасига боғлиқдир. Изотермик жараён $T_0 = T_k$ температурада амалга оширилаяпти, дейлик. У адиабатик изотермик жараённинг ўзгарувчи температурасидан пастда ва эндотермик жараёнда эса юқорида ўтади. Биринчи ҳолда изотермик жараён камроқ интенсив, иккинчи ҳолда айланиш тезроқ ўтади (2.62 ва 2.63-расмлардаги 1 пунктир чизиклар). Агар $T_0 > T_k$ бўлса, унда изотермик режимда аввалига жараён адиабатик экзотермикдан интенсивроқ бўлади. Температура адиабатик жараёнда T_0 нинг қийматига етганида у анча интенсивлашади (2.62-расмдаги 2 пунктир чизик).

Экзотермик жараёнда $T_0 < T_k$ бўлганда акс ҳолатни кўрамиз (2.63-расмдаги 2 пунктир чизик). Агар реакция қайтар бўлса, унда « x - τ » ва « T - τ » боғланишларининг умумий характери сакланади,



2.63-расм. Температура (а) ва айланиш даражаси x (б) нинг ИСЧ режимидаги профиллари. Туташ чизиклар-экзотермик адиабатик жараён; пунктир чизиклар – T_1 ва T_2 температуралардаги изотермик жараён.

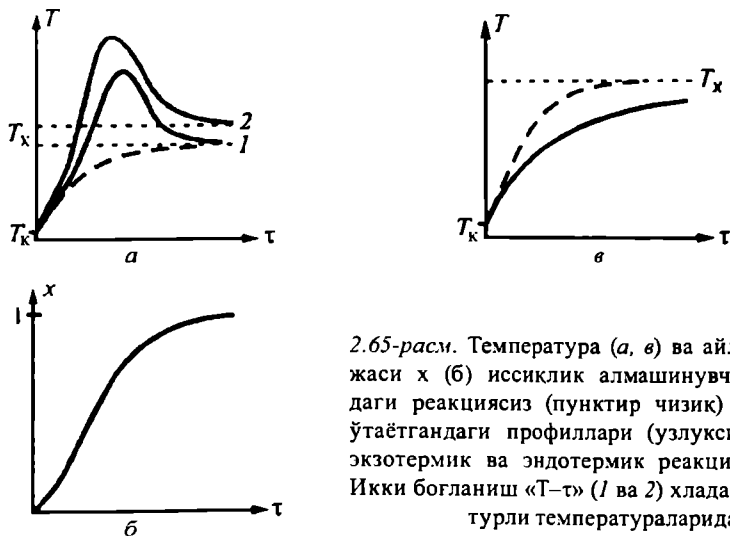


2.64-расм. Максимал адиабатик исиш $\Delta T_{\max}$ ни кайтар экзотермик (а) ва эндотермик (б) реакцияларда аниклашга доир: x_m – мувозанатдаги айланиш даражаси; тўғри чизиклар ИСЧ режимидаги адиабатлар.

лекин жараён факат мувозанатгача давом этади. Максимал исиш $T - T_m = \Delta T_{\text{ад}}[x_m(T) - x_k]$ га тенг бўлади.

Уни 2.64-расмдаги « $T-x$ » графигидан аниклаш мумкин, бунда $x_m(T)$ ва тўғри чизик $x(T)$ боғланишлари (2.160) тенглама билан ифодаланувчи адиабатик жараён учун берилганлигини эътиборга олиш керак бўлади. Бу боғланишларнинг ксишувидан $T_{\max}$ ни қаватдан шу графикда кўрсатилгандек топилади.

Иссиқликни реактордан олиб чиқиш жараёни ни кўриб чиқамиз. (2.158) системасидаги тенгламаларни компью-



2.65-расм. Температура (а, в) ва айланиш даражаси x (б) иссиқлик алмашинувчи реактордаги реакциясиз (пунктир чизик) ва реакция ўтаётгандаги профиллари (узлуксиз чизиклар экзотермик ва эндотермик реакциялар (а, б). Икки боғланиш « $T-\tau$ » (1 ва 2) хладагент T_x нинг турли температураларида.

тер ёрдамида счиш мумкин. «Т–т» боғланиши экзотермик жараён учун 2.65, *а*-расмда кўрсатилган. Кирувчи реакцион аралашма температураси одатда хладагент T_x никидан пастда бўлади. Аввалига реакция ўтмаяпти, бунда оқим исияпти ва температура аста-секин T_x га яқинлашаяпти, деб қабул қиламиз. (2.65, *а*-расмдаги пунктир чизик). Агар реакция ўтаётган бўлса, унда температура реакция иссиқлиги ҳисобига ўсади. T_0 га етганда температура янада ўсади. T_x га етганда ҳарорат янада кўтарилади.

Лекин жараён интенсивлиги дастлабки реагентлар сарфи туфайли пасаяди, иссиқликни чиқариш эса унинг ҳаракатлантирувчи кучи (температуралар фарқи $T - T_x$) туфайли ўсади. Иссиқлик ажралиши ва олиб чиқилиши тенглашганда температура максимал қийматга эга бўлади, кейин у реакция тамомланишида T_x га тушиб қолади. Аралашма эндотермик реакция кетганда реакция бормадан кўра секинроқ исийди (2.65, *в*-расмда).

Реактор ичидаги температура экзотермик реакция ўтаётганида катта аҳамиятга эга бўлади ва уни назорат қилиш реактор режими бошқаришда муҳим рол ўйнайди. Бу кесим хавфли бўлиб, «қайноқ нукта» номини олган. Биринчидан, унинг температураси $T_{кн}$ жараёнда керагидан ортиқча бўлмаслиги керак, унинг камайиши умумий температурани пасайтиради ва жараёнинг интенсивлигини ҳам пасайтиради. Шу боис $T_{кн}$ ни рухсат этилган доирада сақлаш мақсадга мувофиқдир. Иккинчидан, $T_{кн}$ ҳолати реакторни эксплуатация қилиш борасида ўзгаради, температура (жараён)ни назорат қилиш қийинлашади. Учинчидан, шаронтнинг ўзгариши $T_{кн}$ катталигига таъсир кўрсатади, ҳатто озгина ўзгариш ҳам максимал рухсат этилган температурадан ортиб кетиши мумкин. T_x ўзгаришининг температуралар профилига таъсири 2.65, *а*-расмда кўрсатилган.

Реал объект – реактор учун моделни тадқиқ қилиш натижалари интерпретацияси. Тадқиқ қилинган модель жараёни идеал сиқиб чиқариш ва даврий идеал аралашув реакторларини ифодалайди. Биринчи режим учун $x(\tau)$ ва $T(\tau)$ боғланишлари айланиш даражаси ва температурани реактор узунлиги бўйича кўрсатади, лекин булар вақт бўйича доимийдир; иккинчи режим учун x ва T лар

вакт бўйича ўзгаради, лекин реактор ҳажми вақтнинг ҳар моментинда бир хилдир. Концентрациялар тарқалиш (айланиш даражаси) ва температура реакторлар ҳажми бўйича ва вақт бўйича изотермик жараённи сингаридир.

2.8.3. Идеал аралашув оқим реакторида температура режимлари

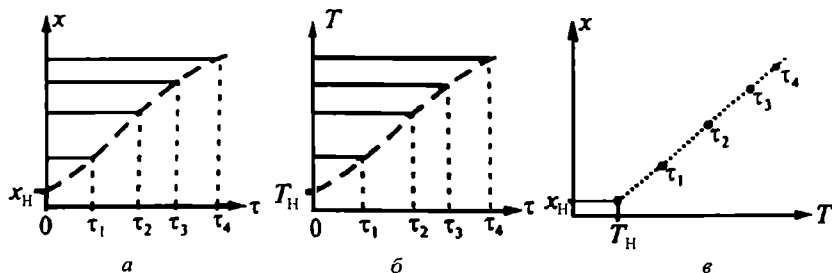
Жараён анализи. Идеал аралашув оқим реакторида жараён математик (231 а, б) тенгламалари билан ифодаланади. Киритилган параметрлар $\Delta T_{ад}$ ва B лардан фойдаланиб, ифодаси (x, T) ни ишга солиб, жараённи система қилиб ифодалаймиз

$$\left. \begin{aligned} x/\tau &= r(x, T) \\ T/\tau &= \Delta T_{ад} r(x, T) - B(T - T_x) \end{aligned} \right\} \quad (2.161)$$

Адиабатик режимда (иссиқлик чиқариш параметри $B=0$):

$$\left. \begin{aligned} (x - x_K)/\tau &= r(x, T); \\ (T - T_K)/\tau &= \Delta T_{ад} r(x, T) \end{aligned} \right\} \quad (2.162)$$

Иккинчи тенгламани биринчисига бўлиб, x билан T орасидаги чиқиқли боғланишни оламиз: $T - T_K = \Delta T_{ад}(x - x_K)$, у идеал сиқиб чиқариш режими мос келувчи (2.160) тенгламасига мос келади. Ҳар иккала режимда иситиш катталиги бир хил айланиш даражасида мос келади, яъни сўнгги натижа жараён йўлига боғлиқ бўлмайди.



2.66-расм. Айланиш даражаси $x(\tau)$ (а) ва температура $T(\tau)$ (б) профиллари, «Т-х» (в), шартли вақт- τ_i (экзотермик реакция)нинг ИА реакторларида турли катталиклари учун графиги.

Температура ва айланмиш даражасининг реактордаги профили изотермик режим сингари пиллапоясимон таркалишга эга бўлади (2.7.2-бўлимга қаранг) – бу 2.66, а, б-расмдан кўринади. «Т-х» графигида реактордаги режим икки нукта билан белгиланган – x_k , T_k бўлганда бошланғич ва реакторда берилган τ билан олинувчи x ва T лар орқали (2.66, в). τ лар ҳар хил бўлганда нукталар гуруҳи $T(\tau)$ ва $x(\tau)$ эгри чизикларда ётади, (2.162) системасида ифодаланади ва «Т-х» координатасида $T=T_k+T_{ад}(x-x_k)$ тўғри чизикда ётади, бу 2.66, в-расмда пунктир чизикда кўрсатилган.

Биринчи тартибли реакция бўлганда ва $x_k=0$ ҳолатда (2.162) системаси ечимини кўриб чиқамиз:

$$\left. \begin{aligned} x/\tau &= k(T)(1-x); \\ (T-T_k)/\tau &= \Delta T_{ад} k(T)(1-x) \end{aligned} \right\} \quad (2.163)$$

Мазкур системада реакциянинг тезлик константаси $k(T)$ температура T га боғлиқлиги кўрсатилган. (2.163) системадаги икки тенгламадан биттага ўтамиз, бунинг учун (2.163) системанинг биринчи тенгламасидан x ни T нинг функцияси сифатида қабул қиламиз:

$$x = \frac{k(T)\tau}{1+k(T)\tau}$$

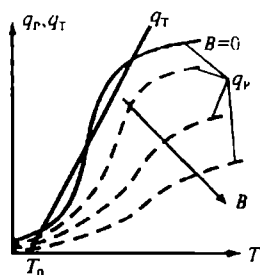
ва иккинчи тенгламага қўямиз:

$$T-T_0 = \Delta T_{ад} \frac{k(T)\tau}{1+k(T)\tau} \quad (2.164)$$

Шунга ўхшаш тенглама (2.125) 2.5.4-бўлимда таҳлил қилинган эди (катализаторнинг ғоваксиз донасидаги иссиқлик ходисалари). Агар $k(1)\tau$ ни k/β_d кўринишида белгиласак, унда (2.125) ва 2.164 тенгламалар тўла равишда мос келадилар. (2.125) тенглама анализидан тенгламанинг битта ёки учта ечими бўлиши мумкинлиги аниқланди. Демак, бир хил шароитда идеал аралашув реакторида жараён учун битта ёки учта режим бўлиши кўринади. Учта режимдан икkitаси барқарор ва биттаси бекарор.

2.5.4-бўлимда стационар режимга таъриф берилганди, барқарорлик шартини олинган эди, оқим температураси ўзгарганда стационар режимлар учун гистерезис кўрсатилди. Бу барча ҳулосалар ва улар интерпретациялари бу ерда адиабатик жараёнлар учун идеал аралашув реакторларида қўллansa бўлади.

2.67-рас. Оқимли реакторнинг ПА адиабатик режимида (узлуksиз чизиклар) ва иссиқликни олиб чиқиш В параметрида стационар режимлар сонинг аниқлашга доир. (Стрелка В нинг катталиги ортиши йўналишини кўрсатади).



Иссиқликни чиқариш билан борувчи жараён. Иссиқликни чиқаришнинг стационар режимлар сонига таъсирини кўриб чиқамиз. Биринчи тартибли реакция ўтаётганда (2.161) системани (2.164) тенгламани олишдагидек ўзгартирамиз:

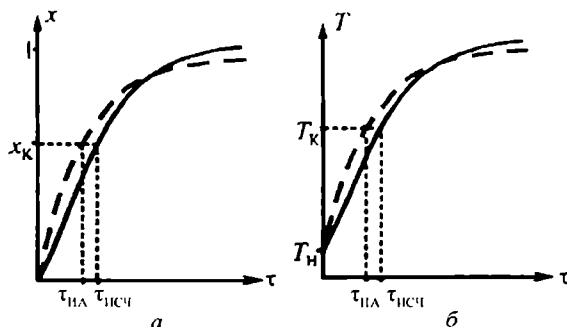
$$-\underbrace{T - \frac{T_0 + B\tau T_x}{1 + B\tau}}_{q_T} = \underbrace{\frac{\Delta T_{ad}}{1 + B\tau} \frac{k(T)\tau}{1 + k(T)\tau}}_{q_p}. \quad (2.165)$$

(2.125) даги сингари тенгламанинг чап қисми q_T билан иссиқликни чиқариш, ўнг қисми эса иссиқлик ажралиш q_p сифатида белгиланган. 2.67-расмда узлуksиз чизиклар $q_p(T)$ ва $q_T(T)$ нинг боғлиқлиги адиабатик режим учун ($B=0$), пунктир чизик билан эса иссиқликни олиб чиқиш режими ($B \neq 0$) кўрсатилган. Иссиқликни олиб чиқиш шароитида доимий коэффициент τ да $\Delta T_{ad}/(1 + B\tau)$ – адиабатик режимдагидан кичик ва S-шаклли эгри чизик қиярокдир.

Иссиқликни олиб чиқиш орқасида реакторда максимал иссиқ адиабатикдагидан кам бўлади ва $T_{ad}/(1 + B\tau)$ га тенг бўлади. Параметр В нинг айрим қийматида битта стационар режим бўлиши мумкин. T_0 ва T_x ларни танлаб [параметр қиймати $(T_0 + B\tau T_x)/(1 + B\tau)$ да тўғри чизик $q_T(T)$ абсцисса ўқини кесиб ўтади], бундай реакторда ихтиёр бсрилган айланишни барқарор ҳолда олиш мумкин.

Стационар режимларнинг бир хил эмаслиги ва nobарқарорлиги лаборатория тадқиқотларидан реакторга масштаби тарзда ўтказилганда сезилади. Лабораторияда танланган температура маълум сабабларга кўра саноат микёсида тўғри келмай қолиши мумкин.

Идеал аралашув ва сиқиб чиқариш оқимли режимларини адиабатик жараёнда солиштириш.



2.68-расм. $x(\tau)$ (а) ва $T(\tau)$ (б)ларнинг оким реакторида ИСЧ (яхлит) чизиклар ва ИА нинг адиабатик реакторларида (пунктир) боғликлиги.

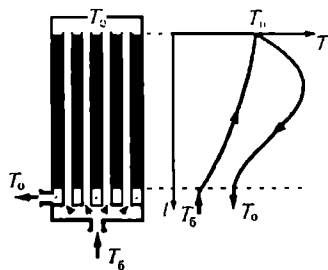
ИА режимида турли айланиш даражалари амалга ошади, деб фарз қиламиз. Бу режимлардаги жараён интенсивлигини солиштирамиз, яъни «х-г» нинг боғликлиги жараёнларнинг бир хил параметр ва шароитларида олиб борилди. Аввалига экзотермик жараёни қараб чиқамиз. Тегишлича боғланишлар 2.68-расмда келтирилган. Идеал аралашув режимида жараён сўнгги шароит (температура ва концентрация)да ўтади, идеал сиқиб чиқариш режимида эса жараённинг ўтиш шароитлари бошидан охиригача ўзгариб туради. Шу боис ИСЧ режимида хом ашёнинг ўртача концентрацияси юқори, ўртача температура эса камдир. Айланиш тезлигига температура ижобий таъсир кўрсатади ва концентрациянинг салбий таъсиридан кучлироқ бўлади. Мана солиштирайлик: айтайлик, $T_k = 500 \text{ K}$; $\Delta T_{ад} = 200 \text{ град}$; $x = 0,5$ бўлсин. ИСЧ режимида жараённинг ўртача ўтиш шароитлари $x = 0,25$; $T = T_k$ $T_{ад}x \approx 550 \text{ K}$ га тенг. ИА режимида: $x = 0,5$; $T = 600 \text{ K}$ га тенг. ИА режимида: $x = 0,5$; $T = 600 \text{ K}$. Реакция тезлиги $1-x$ га пропорционал; ИСЧ режимида ИА дагига қараганда 1,5 барабар юқоридир. Лекин температуранинг 50 градус фарқи ИА режимида реакция тезлиги бўйича 4 баровар ютилади, бу «концентрацион» йўқотишлардан юқоридир. Идеал аралашув режими идеал сиқиб чиқаришга қараганда бир мунча интенсив, яъни айланишнинг бир хил даражасига эришув борасида ИА реакторида сарфланадиган шартли вақт камдир.

ИА режимида жараён фақат айланиш даражаси юқори бўлган тақдирдагина, яъни концентрацион фактор таъсири кучли бўлган-

дагина камрок интенсивликка эга бўлади. Бу 2.68-расмдан кўриниб турибди. Эндотермик жараёнда ИСЧ режими ИА режимига қараганда доимо интенсивроқдир.

2.8.4. Автотермик реактор

Реакцион зонадан иссиқликни олиб чиқадиган трубади реактор варианты 2.69-расмда кўрсатилган. Иссиқлик ташитгич бўлиб реакцион хом ашёнинг ўзи хизмат қилади. Хом ашё реактор трубкаларига узатилади, у ерда экзотермик реакция иссиқликлги билан иситилади. Трубкачалардан ўтган оқим трубалараро бўшлиққа йўналтирилади, шу ерда реакция амалга оширилади (катализаторда). Ажралаётган иссиқлик девор орқали «совутгичга», яъни янги реакцион аралашмага берилади. Реакторнинг шундай схемасини аммиак синтезида кўриш мумкин. Катализаторнинг трубкада эмас, балки трубалараро бўшлиқда жойлаштирилиши режим учун аҳамиятли бўлмасдан, балки конструктив томонлардан ҳисобга олинади.



2.69-расм. Автотермик реактор схемаси ва ундаги температуралар профили.

Математик жиҳатдан жараён (2.155) реакцион аралашмани иситиш тенгламаси билан тўлдирилган тенгламалар системасида ифодаланади:

Мазкур тенглама (2.155) системанинг иккинчи тенгламасига ўхшайди. Унда ўнг томонда биринчи кўпайтма йўқ – реакция янги реакцион аралашма иситилганда ўтмайди. Чап қисмида «минус» ишораси турибди – катализатор қаватида иситилаётган оқим унинг ҳаракатига тесқаридир. Пастдаги x индекслар мазкур катталикнинг «совутгичга» нисбатини англатади. Шартли вақт $x = v_x/V_0$, иссиқлик алмашинуви солиштирма юзаси $F_{\text{сол. } x} = F_r/v_x$. Агар $r = v_p/V_0$ ва $F_{\text{сол.}} = F_r/v_p$ ифода реакцион бўшлиққа қўлланилса, унда (2.166) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

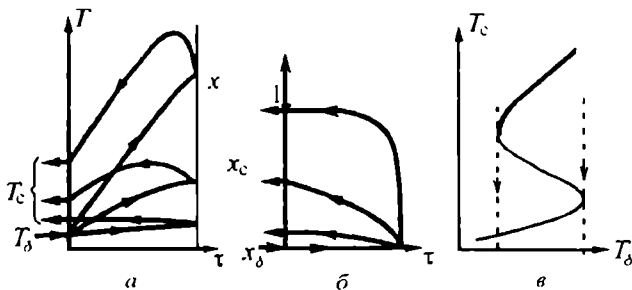
$$-c_m(dT_x/d\tau_x) = -K_r F_{\text{сол. } x}(T_x - T) \quad (2.166)$$

ва (2.158) билан биргаликда шундай реактордаги жараёнини фойдалайди:

$$\left. \begin{aligned} dx/d\tau &= r(x, T); \\ dT/d\tau &= \Delta T_{ad} r(x, T) - B(T - T_x); \\ dT_x/d\tau &= -B(T - T_x); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } T &= T_x \quad (x = x_0); \\ \tau = \tau_0 \text{ бўлганда } T_x &= T_0 \quad (x = x_0). \end{aligned} \right\} \quad (2.167)$$

Дастлабки чегара шarti $T = T_x$ трубкалардан чиққан T_x температурали оқим шу ернинг ўзида катализатор қаватига йўналтирилади, иккинчи чегара шarti – оқимнинг реакторга киришдаги ҳолати $\tau = 0$ тенг бўлади. Трубкаларда айланиш рўй бермаганлиги сабабли $x = x_k$ дир. Иккинчи чегара шarti трубкага кирувчи оқим температураси T_k ни аниқлайди. (2.167) системада чегара шartлари қаватнинг турли чегараларида берилган. Бундай системани сонли интеграллаш учун «отиш» усулини қўллашади: $\tau = 0$ бўлганда T_0 температуранинг қиймати танланади, яъни чегара шartларидан фойдаланилади: $\tau = 0$ бўлганда $T = T_x = T_0$; $x = x_k$ интеграллаш сўнггида $\tau = \tau_k$ тенглигида $T_x = T_k$ шarti бажарилиши амалга ошади. Реакцион донда температуралар профили иссиқликни олиб чиқиш реакторларида экстримал боғланиш кўринишида бўлади. Хладагент температураси (янги реакцион аралашманики) трубкалар бўйлаб ўсиб боради. 2.69-расмнинг ўнг томонида температуралар профиллари кўрсатилган. Реакцион зонада жараён иссиқликни чиқариш билан, реакторда эса адиабатик режимда боради, чунки ташқи иссиқлик ташитгичдан фойдаланилмайди. Шу боис кириш ва чиқиш оқимларида оқимлари температура фарқи адиабатик иситиш ΔT_{ad} га тенг бўлади. Бундай режим ва реактор *автотермик* дсб юритилади.

Юқорида берилган усул билан (2.167) системани T_0 нинг турли катталикларида T_0 нинг бир хил бошланғич шароитларида счимили олиш мумкин. Бу 2.70, а, б-расмларда кўрсатилган. Битта стационар режим паст ҳароратли, камроқ айланиш билан; бошқаси – тўла айланиш ва реактор ичида катта иситиш билан боради. Иситиш адиабатик иситишниқидан бир неча барабар юқори бўлиши мумкин. Учинчи режим булар оралиғида ўртача бўлади. У бекарор ва шу боис



2.70-расм. Автотермик реактордаги стационар режимлар.

амалга ошириб бўлмайди. T_c ни ўзгартириб, S – симон боғлиқликни оламиз (2.70, в-расм).

T_k нинг маълум микдоридаги ўзгаришларида учта режим мавжуд бўлса (расмда қуюқ қилиб берилган) ва бошланғич температура T_1 гача пасайса, унда жараён «ўчади» – температура қайтмас ҳолда стрелка бўйлаб пасаяди. Илгариги режимга чиқиш учун реакторни махсус иситиш зарур бўлади. Аммиак синтези реакторида бундай ҳодисалар ҳақиқатан учраб туради.

2.9. САНОАТ КИМЁВИЙ РЕАКТОРЛАРИ

2.9.1. Кимёвий реакторларни ҳисоблаш ҳақида умумий фикрлар

Кимёвий жараён ва реакторлар математик моделлари келтирилган ўзгарувчан параметрлар (айланиш даражаси, шартли вақт, нисбий ўлчами)ни ва константа, параметр ва жараён шароитларининг комбинацияланган коэффицентларини ўз ичига олади. Жараён кўрсаткичлари ва шароитлари, реактор иши ўлчанувчи катталиклар – булар унум, юклама, концентрация, температура, реактор ўлчами ва ҳажми билан аниқланади. Жараён кўрсаткичларидан модел параметрлари ва ўзгарувчиларига ўтилганда қанчалик аниқлик билан иш кўрилса, ҳисоблар ҳам шунчалик аниқ бўлади. Моделлар параметрлари ва ўзгарувчилари тенгламалар келтирилган маълумотлар асосида топилади. Бунда қуйидагиларга аҳамият бериш лозим бўлади.

Параметрларга кирувчи катталиклар ўлчамлари. Буларни шундай танлаш керакки, унда физик катталиклар параметрлар ва модел ўзгарувчилари ўрнига қўйилганда тенгламанинг барча аъзолари ўлчамлари бир хил бўлсин. Бунини мисолда тушунтирамиз. $v_A A + v_B B = v_R R$ реакция учун кинетик тадқиқотлар ўтказилди ва кинетик тенгламаси $r = k C_A$ олинди. Реакция тезлиги маҳсулот ҳосили бўйича ўлчанди $[r \text{ R/л} \cdot \text{мин}]$. А концентрацияси мольда олинган, ўлчамлари $[A \text{ моль/аралашма моли}]$. Реактор учун дастлабки маълумотлар қуйидагичадир: ҳажм $v_p [m^3]$; реакторга $v_0 [m^3/\text{соат}]$ миқдорида реакция аралашма узатилади. Ҳажм $v_p [m^3]$; реакторга $V_0 [m^3/\text{соат}]$ миқдорида бошланғич концентрацияси C_0 (ҳажмий улуш) бўлган реакция аралашма узатилди. Реактордаги жараён идеал аралашув модели билан ифодаланади:

$$\frac{C_A - C_0}{\tau} = W(C_A) \quad \text{ёки} \quad \frac{C_0 - C_A}{\tau} = k(C_A), \quad \text{ёки} \quad \frac{x}{\tau} = k(1 - x). \quad (2.168)$$

Бу уччала тенглама бир-бирига тенг маромдадир. Ҳисоблар учун оддийроқ бўлган учинчи тенгламадан кўпроқ фойдаланилади. (2. 168) тенгламанинг охиригида ўнг ва чап томондаги ўлчамлар бир-бирига мос келмайди. Хато қилмаслик мақсадида қуйидаги йўللاردан фойдаланилади:

1. Қайта ҳисоблаш коэффициентларини киритиш:

– ўнлик қўшимчалар (кило-, деци-, милли- ва бошқалардан фойдаланиш; ўлчов бирликлари (жоуль-калория, тонна-килограмм, соат-секунд ва бошқаларни) ишлатиш;

– физик ва физик-кимёвий константалар (зичлик $\rho [г/л]$, молекуляр масса $M [г/моль]$, молекуляр ҳажм $22,4 [л/г-моль]$ стехиометрик коэффициент $\nu [моль]$ ва бошқаларга ўрин бериш)дан фойдаланиш.

Бу барча коэффициентлар маълумотнома адабиётларида мавжуддир.

2. ўлчамсиз катталикларни уларнинг дастлабки ўлчамларига қўйиш: масалан, [улуш]-ўрнига $[л/л]$ ёки $[кг/кг]$ қўйиш.

3. ўлчамга фаза ҳолатини кўрсатиш: $[Ж/л, \text{град}]$ ёки $[Ж/лс-град]$ («г», «с» индекслари газ ва суюқ фазаларга оиддир).

4. Ўлчамларда компонент номини белгилаш: $\nu [моль \text{ К}]$ $M [г/моль \text{ А}]$ ва х.к. Натижада ўлчамлар мос тушмаслиги туфайли хатолар анча камаяди.

Кўрилган мисолда реакция тезлиги g нинг ўлчанган катталикларни компонент W_A нинг айланиш тезлиги орқали ифодаланади:

$$(g/M_R) \cdot (v_A/v_R) = W_A$$

$$\left[\frac{g}{\text{л} \cdot \text{мин.}} \right] / \left[\frac{\text{моль } R}{g \cdot R} \right] \cdot \left[\frac{\text{моль } A}{\text{моль } R} \right] = \left[\frac{\text{моль } A}{\text{л} \cdot \text{мин.}} \right]$$

Қайта ҳисоблаш коэффициентларини киритган ҳолда улар ўлчамларини шу срдасқ тенглама остида ёзган маъқул бўлади— бунда хатога йўл қўйилмайди. Концентрация C_A ни моль сифатида қараймиз:

$$C_A/22,4 = C_A.$$

$$\left[\frac{\text{л } A}{\text{л } \text{см}} \right] / \left[\frac{\text{моль } A}{\text{л } A} \right] = \left[\frac{\text{моль } A}{\text{л } \text{см}} \right]$$

нинг ўлчамига кирувчи вақт g ва V_0 (ва t) бир хил бирликда, масалан, минутларда ёзилиши керак.

Жараён шароитлари ва модел параметрлари кўпинча ҳар хил формада берилади. Реактор учун белгиланган маълумотлар ичида кўпроқ унум, юклама, маҳсулот чиқиши, ҳажм, геометрик ўлчам ва бошқалар учрайди. Реактордаги жараёни ҳисоблашда ишлатиладиган математик моделлар тенгламаларида одатда айланиш даражасини, реакциянинг шартли вақти ва параметрларини физик катталикларнинг комбинацияси сифатида адиабатик иситиш $T_{ад}$, иссиқликни чиқариш параметр B , аралашма ҳажми ўзгариш коэффициенти ва бошқаларга қўллаган ҳолда фойдаланилади. Булар орасида ўтиш талаб қилинади.

Масалан, реакторнинг унуми U ва хом ашё таркиби берилган (асосий реагент C_0 миқдори). Айланишнинг берилган даражали x да реактор ҳажми v_p (ёки маҳсулот чиқиши E) ни топиш керак. Реактор ҳисоби унинг модели бўйича бажарилади, бунда реакциянинг шартли вақти g , C_0 ва бошқа параметрлар тегишлича ўлчамларда ҳисобга олинади. Унум U реактор юкласи V_0 билан, бошланғич концентрацияси C_0 , айланиш даражаси x ва стехиометрик коэффициентлар v_A ва v_R билан ушбу нисбат орқали боглиқдир: $Y = V_0 C_0 x v_A / v_R$ (агар яна селективлик S берилган бўлса, унда $(Y = V_0 C_0 x S v_A / v_R)$ дир, бу ҳолда реакторга тушувчи юклamani аниқлаш мумкин: $V_0 = Y / V_0 C_0 v_A / v_R$.

Бунда v_0 ни ҳисоблаганда ўлчамларга аҳамият бериш керак ва қайта ҳисоблашда керакли коэффициентларни киритиш зарур бўлади.

C_0 ва x ни билган ҳолда контактнинг шартли вақтини ҳисоблайдилар. Юклама v_0 олдин ҳисоблаб қўйилади ва реакторнинг керакли ҳажми $v_p = V_0 \tau$ дир.

Кўрсатилган қоидаларга кунт билан қараш ва ҳисобларда эҳтиёт бўлиш талаб этилади.

2.9.2. Кимёвий жараён ва реакторларни оптималлаш

Оптимал деганда «энг яхши» маъносини тушуниш керак бўлади. «Оптимал режим», «оптимал реактор» дейилганда қайси ҳолатда энг яхши, қайси кўрсаткич энг катта аҳамиятли эканлигини билиш (талаб этилади. Бундай кўрсаткичлар сифатида реактор ҳажми, айланиш даражаси, маҳсулот чиқиши, жараён селективлиги ва бошқалар бўлиши мумкинлиги туфайли оптимал режимни аниқлаш вазифалари ҳам бир нечта бўлиши табиий (қайси кўрсаткич оптималлаштирилаётганлигига ҳам боғлиқ). Оптималлаштириш вазифаси жараён ва реакторни тайёрлашнинг деярли ҳар бир босқичида келиб чиқади. Масалан, катализатор ишлаб чиқаришда ёки танлашда оптимал ғовак структура аниқланади, бунда катализатор донасида максимал айланиш тезлиги ҳисобга олинади. Реактор танлаб, оптимал концентрация ва температура аниқланади, бунда максимал айланиш ёки унда маҳсулот чиқиши шундай бўлсин. Реактор учун минимал харажатлар қилинган ҳолда оптимал конструктив ўлчамлар топилади. Кимёвий жараён ва реакторларни оптималлаштириш кўп вариантли вазифалардан эканлигини эслатиб ўтамыз.

Оптималлаштириш – бирор қандайдир функциянинг оптималлаштириш критерийси маълум миқдорда ўзгарувчанлигига йўл берадиган экстремал катталиги (минимал ёки максимал)ни тенгламалар ёки тенгсизлик билан аниқлашдир.

Оптималлаштириш вазифаси – тўла равишда математик амалдир. Жараён бўйича тажрибалар ёки ҳисоблар ўтказиб, мана бу вариант оптимал, деб бўлмайди. Танланган вариант қандайдир талабларга жавоб беради (кўпинча интуитив ҳолатда) ёки ишлаб

чиқарувчининг хохишини кондиради. Буни хали оптималлаштириш деб бўлмайди.

Оптималлаштириш математик амал сифатида вазифанинг қўйилиши (формулировкаси) ва унинг ечимини ўз ичига олади.

Оптималлаштириш вазифасининг қўйилиши қуйидагиларни кўзда тутлади.

1. Оптималлаштириш критерийси F ни баҳолаб, унинг экстремал катталигини топиш ксрак бўлади. Юкорида айтилганидек, тадқиқот ёки ишланма босқичларига боғлиқ равишда *турлича критерийлар* танланиши мумкин. Бу жараёнинг максимал ёки минимал микдордаги бирор кўрсаткичи, яъни яхшиси бўлиши мумкин. Биргина критерийни танлаш мақсадлидир, акс ҳолда кўп критерийлар бўлса мослашиш бўлмайди. Бир вақтнинг ўзида максимал айланиш билан реакторнинг ҳажми минимал бўлиши (оптималлаштиришнинг икки критерийси) мумкин эмас. Биринчи шарт учун катта реактор, иккинчиси учун эса кичик даражадаги айланиш зарур бўлади.

2. Шундай ўзгарувчиларни танлаш керакки, унда критерий F экстримал қийматга эга бўлсин. Бу жараён шароитлари ёки унинг параметрлари бўлиб, уларни алмаштириш мумкин. Уларни бошқарувчи параметрлар деб атайдилар ва u ҳарфи билан ифодалядилар.

3. Оптималлаштириш критерийси F нинг бошқариш параметрлари u билан математик боғланишини, яъни $F(u)$ нинг боғлиқлигини аниқлаш. Оптималлаштириш критерийси функціонал боғланиш $F(x,u)$ орқали берилади.

Шундай қилиб оптималлаштириш вазифаси қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$F(x, u) = \text{extr}(u); \quad (2.169)$$

$$f(x) = 0. \quad (2.169 а)$$

4. Ўзгарувчиларга қўйиладиган чекланишларни аниқлаш. Масалан, температура иссиқликка чидамлилиқ борасида материал турига боғлиқлиги, концентрация унинг ўзидан-ўзи ўт олиш чегарасидан паст бўлиши, селективлик берилгандан паст бўлмаслиги каби ва бошқа талабларга қаралади. Шу боис оптималлаштириш вазифаси тенгсизликлар билан тўлдирилди:

$$u_{\min.} \leq u \leq u_{\max.}; \quad x_{\min.} \leq x \leq x_{\max.} \quad (2.169 б)$$

Масалан, $T \leq T_{\max}$; $C_{\text{ак}} \geq C \geq C_{\text{ало}}$ ($C_{\text{ак}}$, $C_{\text{ало}}$ – куйи ва юкори алангаланмиш чегаралари); $S > S_{\min}$ ва х.к.

(2.169) – (2.169 б) тенгламалари оптималлаштиришнинг умумий вазифаси кўйилишидир.

Оптималлаштириш вазифаси ечимни (2.169) нинг шартларининг кўшимча боғларда (2.169 б) ва чекланишларда (2.169, б) и нинг киймати аниқлашдир. Умумий ҳолда ечимни функция экстремумини аниқлаш орқали бажарилади:

$$\partial F(x, u) / \partial u = 0$$

Мазкур тенглама билан ҳақиқий ечимни топиш ҳар доим ҳам амалга ошавсрмайди. Энди кимёвий реактордаги жараённи чуқурроқ анализ қилишнинг бир неча вазифасини кўриб чиқамиз.

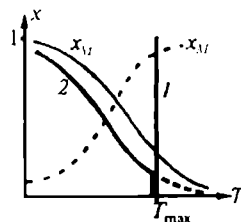
Назарий оптималлаштириш. Кимёвий жараён ифодаланган (асосан кинетик модели), назарий оптималлаштириш ўтказилади. Айланиш тезлиги реагентлар концентрацияси билан температурага боғлиқ бўлади. Айланиш пайтида реакцияон аралашма таркиби ўзгаради, савол келиб чиқади: реакция ўта бориши билан температурани қандай ўзгартириш керакки, бсрилган айланиш максимал интенсивлик билан ўтказилсин. Оптималлаштириш критерийси деб τ олинади, бошқарувчи параметр эса T дир:

$$F(u) \equiv \tau(T) = \int_0^x dx / r(x, T); T \leq T_{\max}. \quad (2.170)$$

Оддий қайтмас қайтар реакциялар. Оддий реакция ўтувчи жараёнда барча компонентлар концентрациялари реакция стехиометриясига қараб ўзгаради ва реакцияон аралашма таркиби биргина мустақил ўзгарувчи – асосий компонентнинг айланиш даражаси x , бу бошқа ўзгарувчиларга боғлиқ эмас. Бундай жараённи *боғланмаган жараён* деб атайдилар. Жараённинг максимал интенсивлиги (минимал τ айланиш тезлиги x нинг ҳар бир кийматида максимал бўлгандагина эришилади.

Оддий қайтмас ва қайтар эндотермик реакциялар тезлиги температура билан ўсади (2.15, a ва 2.19, a -расмларга қаранг). Унинг максимал кийматига максимал бўлувчи температура $T_{\max}$ да эришилади. Мана шу жараённинг оптимал температурасидир: $T_{\text{опт.}} = T_{\max}$. (x нинг ихтиёрий кийматида). Тегишлича боғланиш $T_{\text{опт.}}(x)$ бу реакци-

2.71-рас. Оддий реакциялар учун оптимал температуралар: 1 қайтар экзотермик ва қайтмас; 2 қайтар ва эндотермик (пунктир); x_M реакциялар учун мувозанатдаги айланиш даражаси.

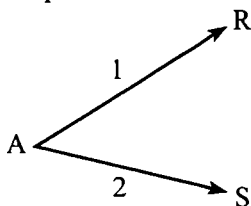


ялар учун 2.71-расмдаги 1 тўғри чизик билан кўрсатилган. x максимал температурада мувозанатдаги қийматдан юқори бўла олмайди, бу мазкур расмдаги $T_{\max}$, x_p билан кесишидан топилади. x нинг бу қийматлари учун счим йўқдир. Қайтар экзотермик реакция тезлиги температурага экстримал боғлиқдир (2.18, а-расмга қаранг).

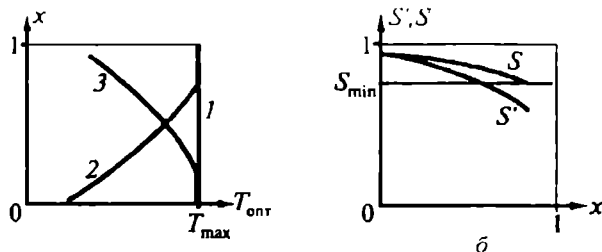
$T_{\text{опт.}}$ қийматлари максимал реакция тезлигида x кўпайиши билан камаяди, бу 2.18, б-расмда ва 2.71-расмда қайтарилган (2 эгри чизик). $T \leq T_{\max}$ бўлиб чекланилганда аввалига $T_{\text{опт.}} = T_{\max}$ бўлади ва кейин камаяди.

Айланишнинг мураккаб схемаси учун максимал интенсивлигини аниқлашда жараён селективлигининг компонент бўйича чекланишини қўйиш керак бўлади, у R билан белгиланади: $S \geq S_{\min}$. Бу ерда селективликка бўлган чекланиш бажарилмаслиги мумкин. *Боғланган жараён* – унинг икки кўрсаткичи (x ва S) жараёнда ўзаро боғлиқдир. Оптималлаштиришнинг бу вазифасини аниқроқ бажариш учун махсус математик аппарат зарур бўлади. Бу ерда фақат натижани келтирамиз ва айланишнинг катталиги оптимал температура билан ўзгариш характери тушунтирамиз.

Айланишнинг параллел схемаси:



Агар хусусий реакциялар активланиш реакциялари E_1 ва E_2 лар бир-бири билан $E_1 > E_2$ нисбатда боғланган бўлса, унда температура ортиши билан интенсивлик ҳам, жараён селективлиги ҳам яхшиланади, яъни $T_{\text{опт.}} = T_{\max}$ (2.72, а-расмдаги 1-тўғри чизик). Агар $E_1 < E_2$



2.72-расм. Оптимал температура $T_{\text{опт}}$ (а)нинг параллел (1,2) ва кетма-кет (1,3) айланиш схемалари учун (1- $E_1 > E_2$; 2, 3 $E_1 < E_2$) ва интеграл S ва дифференциал S' селективликлар (б) жараёндалигининг параллел схемаси учун кўрсатилган.

бўлса, унда T нинг ошуви жараённинг интенсивлигига олиб келади, селективлигига салбий таъсир кўрсатади. Бу ҳолда, аввалига концентрация ва шу боис айланиш тезлиги юқорилигида интенсивлик камайиши ҳисобига селективликдан ютиш мумкин. Айланиш вақтида (x ортганда) айланиш тезлиги пасая бориши ҳисобига температура оширилади, бу селективликдан ютқазилиши ҳисобига боради. S нинг интеграл қиймати $S_{\text{мин}}$ дан кам бўлмайди. Оптимал температура $T_{\text{опт}}$ ўсиб боради (2.72, а-расмдаги 2 эгри чизик. Дифференциал S ва интеграл селективлик S ларнинг ўзгариши 2.72, б-расмда кўрсатилган).

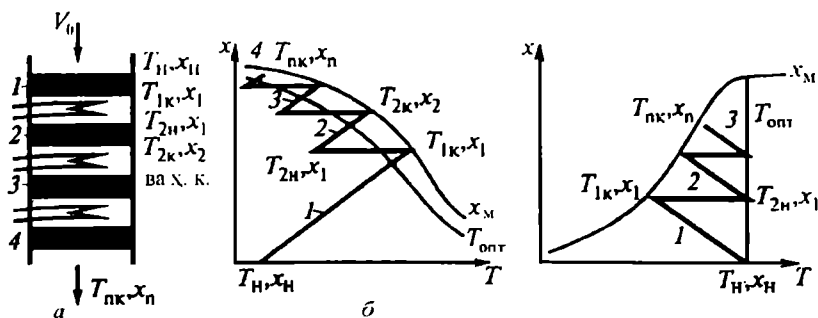
Айланишнинг кетма-кет схемаси: $A \xrightarrow{1} R \xrightarrow{2} S$.

Агар $E_1 > E_2$ бўлса, унда оптимал температура параллел схеманики сингари максималга тенг бўлади: $T_{\text{опт}} = T_{\text{макс}}$ (2.72-расмдаги 1 тўғри чизик). Кетма-кет схемада оралик маҳсулот R бўйича жараёнда реакция ўтган сари камая бориши туфайли (2.50-расмга қаранг), унда айланиш даражаси $S \geq S_{\text{мин}}$ шартининг бажарилиши 2.72, б-расмда кўрсатилганидек, чеклангандир. Агар $E_1 < E_2$ бўлса, унда жараёни минимал температурада бошлаш мумкин бўлади. Айланиш тезлиги максимал бўлади. Айланиш селективлиги ҳали оралик компонент R йиғилмаганлиги боис бирга яқин бўлади. У йиғилган сари температура камайтириб борилади. Жараён интенсивлиги пасайиши R нинг S га айланишининг тўхташи билан боради ($E_1 > E_2$), яъни селективликда ютилади. Жараён охиридаги интенсивликнинг пасайиши бошидаги юқорилиги билан компенсацияланади. Жараёнда $T_{\text{опт}}$, S ва S' ларнинг ўзгариши 2.72-расмда кўрсатилган. Назарий оптимал-

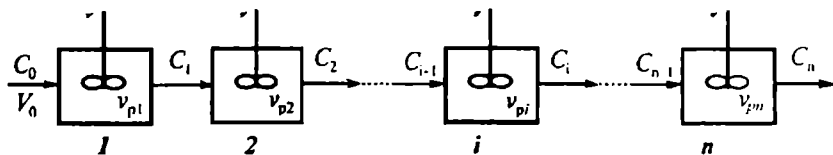
лаштирини реактор типини таълашда принципиал масалаларни ҳал қилишга ёрдам қилишини эслатиб ўтамиз. Масалан, SO_2 нинг SO_3 гача оксидланиши – бу қайтар экзотермик каталитик реакциядир.

Оптимал температура айланиш даражаси ортиши билан камайиб боради (2.71-расмдаги 2 эгри чизик). Рсакция ўтиши билан реактордаги температура ҳам камайиб бориши кузатилади. Бунга фақат оралик ҳолда совутиш билан ишлайдиган кўп қаватли реакторлардагина эришилади. Реактор схемаси 2.73, а-расмда кўрсатилган. «Т-х» графикда қаватдаги аднабатик жараёнда қия ҳолдаги тўғри чизикдир (2.61-расм ва 2.160 тенгламага қаранг). Иссиқлик алмаштиргичдаги қаватлар орасида температура пасаяди, айланиш бўлмайди – х ўзгармайди. «Т-х» координаталарида иссиқлик алмаштиргичдаги жараён горизонтал чизик билан ифодаланади. Жараён режими кўп қаватли реакторда – графикдаги синик чизикдир (2.73, б-расм). У Тофт эгри чизиги атрофида жойлашади ва температура қаватдан-қаватга сари пасаяди. Шундай аппарат типини эндотермик жараён учун ҳам қўллаш мумкин (синтетик каучук саноатида мономерларни углеводородлардан дегидрирлаб олишда), қаватлар оралигидаги оқим иситилади ва температураси максимал бўлиши керак (2.73, в-расм).

Реакторларни оптималлаштириш. Реакторда иссиқлик алмашилиш шароитлари, реагентларни узатиш унинг конструкциясига қараб аниқланади, бунда жараён кўрсаткичларини яхшиловчи ре-



2.73-расм. Реактор танлаш ва унинг режмийни оптималлаштиришга доир: оралик иссиқлик алмаштиргичларга эга кўп қаватли реактор (а); «Т-х» графиклари қайтар экзотермик (б) ва эндотермик (в) рсакциялар учун; x_m айланишнинг мувозанатдаги даражалари; $T_{опт}$ – оптимал температуралар.



2.74-расм. Идеал аралашув реакторлар каскади.

жимларни танлаш лозим бўлади. Жараённинг математик нфодасига эга бўла туриб ва оптималлаштириш усулларини ишга солиб, бунни амалга ошириш мумкин бўлади. Оптимал режимни таҳлил қилиш мумкин бўлган баъзи мисолларни кўриб ўтамиз.

Бир хил температурали идеал аралашув реакторлар каскади. Схема ва керакли белгилар 2.74-расмда кўрсатилган. Бундай схема суюқ фазали реакторларнинг кетма-кетлиги ёки катализаторнинг псевдосуюқланган кўп қаватли реакторлар учун характерлидир. Реакторларни танлаганда улар ҳажми кичикроқ бўлишига эришиш керак, яъни $\sum v_{pi} = \min$. Юклама v_0 , бошланғич C_0 ва охири C_n концентрациялар берилган. $v_p = v_{0\tau}$ бўлганлигидан оптималлаштириш критерийси $\sum_i v_{pi}$ ни $\sum_i \tau_i = \min$ га алмаштириш мумкин. Бошқарувчи ўзгарувчилар сифатида ҳар бир реактордан кейинги концентрациялар бўлган $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{n-1}$ ($C_n = C_0$ – берилган) ларни танлаймиз. Температура барча реакторларда бир хил бўлиб, тезлик константалари k ҳам тенг деб олинади, шу боис:

$$(C_1 - C_0)/\tau_1 = -kC_1;$$

$$(C_2 - C_1)/\tau_2 = -kC_2;$$

$$(C_i - C_{i-1})/\tau_i = -kC_i;$$

Системадан $-k\tau_i = (C_i - C_{i-1})/C_i$ ни оламиз. Оптималлаш критерийси $\sum_i \tau_i$ дан эквивалент критерийга ўтамиз:

$$\sum_i k\tau_i = \sum_i \frac{C_{i-1} - C_i}{C_i} = \sum_i \left(\frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 \right) = \min C_i \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (2.171)$$

Шундай қилиб масалани ечиш учун $n-1$ номаълумни топиш керак. (2.171) функция экстремумига қуйидаги система жавоб беради:

$$\frac{\partial}{\partial C_i} \sum_k \tau_i = \frac{\partial}{\partial C_i} \sum \left(\frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 \right) = 0; \quad i=1, 2, \dots, n-1 \quad (2.172)$$

Ҳар бир C_i да i даги τ ва $(i+1)$ даги реактор боғлиқлиги билан характерланади, яъни иккита кўпайтма йиғинди белгиси сифатида олинади. Бу (2.172) счимини сингиллаштиради:

$$\frac{\partial}{\partial C_i} \sum \left[\left(\frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 \right) + \left(\frac{C_i}{C_{i+1}} - 1 \right) \right] = -\frac{C_{i-1}}{C_i^2} + \frac{1}{C_{i+1}} = 0$$

сўнгги тенгламадан эса:

$$\frac{C_{i-1}}{C_i} = \frac{C_i}{C_{i+1}} \quad \text{ёки} \quad \frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 = \frac{C_i}{C_{i+1}} - 1, \quad \text{ёки} \quad k\tau_i = \tau\tau_{i+1} + 1, \quad (2.173)$$

хамда нисбат келиб чиқади:

$$C_i + 1 = C_i^2 / C_{i+1}; \quad i=1, 2, 3, \dots, n-1 \quad (2.174)$$

Таҳлил натижаси куйидагичадир. (2.173) дан барча реакторлар тенглиги кўринади; $v_{p1} = v_{p2} = \dots = v_{pn}$. Бу фақат биринчи тартибли реакциялар учундир. Айланиш кинетикаси ўзгачарок бўлса, унда оптимал бўлиб, реакторлар ҳажмининг ҳар хиллиги ҳисобга олинади: реакция тартиби биринчидан юқори бўлганда ортиб боровчи ($v_{p1} < v_{p2} < v_{p3} \dots$), тартиби биринчидан кам бўлса, унда ($v_{p1} > v_{p2} > v_{p3} \dots$) камаювчи ҳисобланади.

Оралик иссиқлик алмаштиргичли адиабатик реакторлар каскади. Бундай турдагиларга олтингугурт диоксидининг оксиди, аммиак синтези, углевод оксиди конверсияси ва реакторлар киради, уларда қайтар экзотермик реакция амалга ошади. Реактор схемаси ва «Т-х» графиги режими 2.73, а, б-расмда кўрсатилган.

v_0 ҳажмли реакцион аралашма катализаторнинг биринчи каватига киради. Бошланғич температура катталиги T_{16} ва айланиш даражаси x дир. Қаватдан чиқишда T ва x қийматлари тенг. Иссиқлик алмаштиргичдан кейин температура камаяди ва иккинчи қават олдида T_2 га тенг бўлади, айланиш даражаси табиийки, ўзгармайди. Кейин бундай «реакция – иссиқлик алмашинув» кетма-кетлиги қайтарилади. Рсактор n қаватдан иборат. Жараённинг максимал интенсивлиги шарти (оптималлик критерийси F) барча қаватлардаги катализатор ҳажми минимал бўлишидир:

$$F = \sum_i \tau_i = \min \quad (2.175)$$

бу x_c реакторда берилган айланишга эришиш демакдир.

Бошқариш параметрлари қилиб $x_i (i=1, 2, n-1)$ ларни оламиз – ҳар бир қаватдаги жараёни шундай айланиш даражасида олиб бориш керак бўлади (чиқишда охириги қаватда $x_{nc} = x_c$ дсб шарт берилган) ва температура T_i ҳар бир қават олдида ($i=2, \dots, n$; кираверишда температурада T_{i0} одатда берилади). Адиабатик жараёнинг қаватдаги ифодасидан [(2.159) ва (2.160) тенгламаларга қараиш] қуйидагилар келиб чиқади.

$$\tau_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{dx}{r(x, T)} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx; \quad (2.176)$$

$$T = T_{i0} + \Delta T_{ад.} (x - x_{i0}), \quad (2.177)$$

бу ерда $f(x, T) = 1/r(x, T)$ – реакция тезлигининг тескари қиймати.

Шундай қилиб, вазифа $2(n-1)$ нинг ўзгарувчилари $x_i (i=1, 2, 3, \dots, n-1)$ ва $T_{i0} (i=2, 3, \dots, n)$ ларни оптималлаш критерийсининг минимум қийматини топишга келиб тақалади (2.175). Вазифа анча оғир бўлиб, бошқаришнинг параметрлари кўп ва критерий ҳам интеграл ифодадир. Тайёргарлик таҳлилига тўхталамиз. Оптимал режимида:

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial T_{i0}} = 0; \quad i=2, \dots, n; \quad (2.178 \text{ а})$$

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial x_i} = 0; \quad i=1, 2, \dots, n-1; \quad (2.178 \text{ б})$$

T_{i0} қаватдаги бошланғич температурага фақат шу қаватнинг τ_i –си боғлиқ бўлади, бу T_i б нинг интеграл ости функциясига киришидадир (2.176) ва (2.177) ларга қараиш. (2.178, а) нинг шартини қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial T_{i0}} = \frac{\partial \tau_i}{\partial T_{i0}} = \frac{\partial}{\partial T_{i0}} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx = 0. \quad (2.179)$$

Параметр α бўйича аниқ интегрални интеграллаш қоидасини эсга соламиз:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \int_{a(\alpha)}^{b(\alpha)} f(x, \alpha) dx = f(b) \frac{db}{d\alpha} - f(a) \frac{da}{d\alpha} + \int_{a(\alpha)}^{b(\alpha)} \frac{\partial f(x, \alpha)}{\partial \alpha} dx. \quad (2.180)$$

T_{i6} га ўзгарувчи T боғлиқ бўлади, у интеграл ости функция $f(x, T)$ га кириди, уни T_{i6} бўйича мураккаблиги учун интеграллаймиз. Унда (2.179) тенглама қуйидагича кўринишга эга бўлади:

$$\frac{\partial}{\partial T_{i6}} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{\partial f}{\partial T} \frac{dT}{dT_{i6}} dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f T(x, T) dx = 0, \quad (2.181)$$

бу ерда (2.17) дан $\partial T / \partial T_{i6} = 1$ олинди, $F_i(x, T) = \partial f(x, T) / \partial T$ лиғини ҳам ҳисобга оламиз.

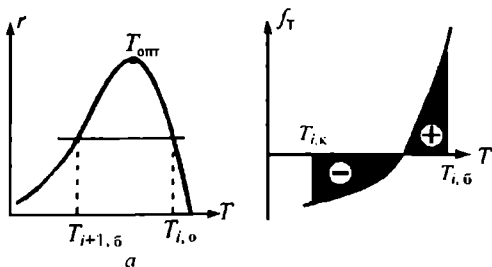
(2.181) шартининг бажарилиши мумкинлиги қайтар экзотермик реакциянинг температурага боғлиқлигидан келиб чиқади. Бу 2.75, α -расмдан кўринади. Функция f_T ни интеграллаш « T - x » графигида адиабатик тўғри чизик бўйича олиб борилади.

Чизик бўйлаб тезлик ортиб боради, унга тескари бўлган катталик $f(x, T)$ камаяди, яъни $f_T < 0$ бўлади. Оптимал температурага етгач реакция тезлиги секин камаяди, $f_T > 0$ бўлади, шу йўсинда интегралнинг нолга тенг қийматига эришиш мумкин бўлади (2.181). Лекин бунинг учун жараён албатта оптимал температуралар чизигининг чапидан бошланиши, тамомланиши ўнгдандир. Шу боис (2.178 б) тенгламадан келиб чиқади:

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \tau_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{i+1}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx + \frac{\partial}{\partial x_i} \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, T) dx = 0$$

Ушбу ифода $(i+1)$ қаватдаги температура $x_i: T = T_{i+16} + \Delta T_{ад}(x - x_i)$ га боғлиқ бўлади. Дифференциаллаш қоидаидан фойдаланиб, сўнгги ифодани ўзгартирамиз:

$$f(x_i, T_{ic}) - f(x_i, T_{i+1,6}) + \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{\partial f}{\partial T} \frac{dT}{dx_i} dx = 0.$$



2.75-расм. Қайтар экзотермик реакция тезлиги r (а) нинг функция f_T (б) га боғлиқлиги.

Бу срада $dT/dx_i = \Delta T_{a,i}$ ва $\int_{x_i}^{x_{i+1}} f_T dx = 0$ бўлгани учун сўнгги ифодадаги учинчи қўпайтма нолга тенг бўлади, шу боис оламиз:

$$f(x_i, T_{i0}) = f(x_i, T_{i-1,0}) \text{ ёки } r(x_i, T_{ix}) = r(x_i, T_{i-1,0}) \quad (2.182)$$

бундан охиргидан олдинги ва бошдагидан кейинги қаватлардаги реакция тезликлари тенглиги кўринади. Бу ҳам r нинг T га экстремал равишда боғликлигидан келиб чиқади (2.75, a -расмга қаранг). i қаватда тамомланувчи жараён T_{i0} да оптимал температуранинг ўнг томонида бўлиб, T_{i-1} бўлганда бошланиши ундан чапда бўлиши керак. Реактордаги оптимал режим оптимал температуралар чизиги атрофида жойлашуви кўринади, бу табиий натижадир.

Трубкасимон реактор. Трубкасимон реактордаги оптималлаш унчалик кийин иш эмас. Бу ердаги биргина бошқарилувчи параметр — бу хладагент температураси T_x дир. Газ таркиби ва киришдаги температура одатда берилади. Кўпгина амалий ҳолатларда T_x ни қаватдаги максимал температурани рухсат этиладиган температурадан ошиб кетмайдиган қилиб танлайдилар.

Режимни оптималлаштириш билан бир қаторда реакторнинг асосий конструктив ўлчамлари — диаметри ва баландлиги, катализатор доналари ўлчами ва бошқаларни оптималлаштириш вазифаси ҳам келиб чиқади. Лекин булар реакторни лойиҳалаш масалаларидир.

2.9.3. Кимёвий реакторларнинг конструктив элементлари

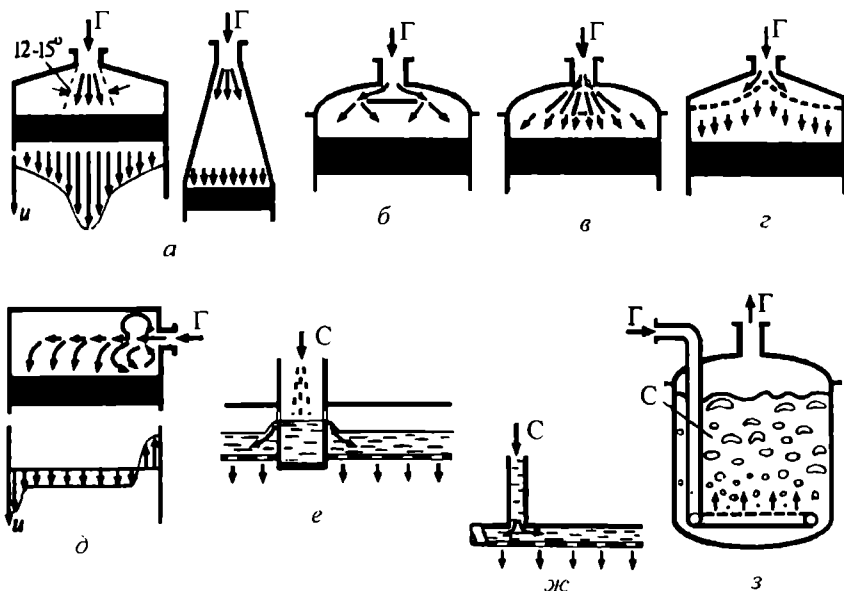
Кимёвий реакторларни лойиҳалаш унда ўтадиган жараёнлар учун зарур шароитларни яратишни кўзда тутати. Режимни танлаш ва жараённинг ташкил этилишини аниқлаш илгари муҳокама этилган эди. Реактор конструкция мана шу режимларни амалга оширишни таъминлаши зарур. Реал аппаратда жараён учун танланган шароитлардан ташқари чиқиш ҳам содир бўлади. Четга чиқишларнинг икки хили кўпроқ учрайди. Биринчиси — жараён шароитларининг ўзгариб туриши оқимлар сони, дастлабки хом ашё таркиби, босим ва температурадир. Берилаётган режимни таъминлаш саноатни автоматлаштириш билан боғлиқ бўлган жараён шароитларини

бошқариш вазифасидир. Иккинчи хил четта чиқиш (буни фазовий деб номлаймиз) реакторнинг конструктив ўзига хосликлари билан боғлиқдир.

Реактор кесими бўйича оқим тақсимотининг бир хилмаслиги. Булар ҳақида 2.7.4-бўлимда бир оз гапирилганди. Кираётган оқим кесим бўйича барабар тарқалмайди ва реакцион зонанинг айрим қисмлари бир хил бўлмаган шаронзда ишлайди.

Бундай ҳолатдан махсус таркатмалар (буларнинг айримлари 2.76-расмда келтирилган) қўйиш билан чиқиш мумкин.

Трубадан чиқаётган сочма очилиш бурчаги 12° га тенглиги маълум. Модданинг реактор кесими бўйича барабар тарқалишига эришиш учун кириш патрубкисидан жуда узун конуссимон ўтиш жойи қилиш керак (2.76, а-расм). Унинг узунлигини аппарат диаметри ва кириш патрубкиси нисбатини 5 га ва ундан ортиқ қилиб олиб ҳисоблаш мумкин бўлади. Шу боис қирувчи оқимни бўладиган «қайтарувчи» пластина 2.76, б-расм ёки бўлмаса оқимни кесим бўйича таркатувчи конуслар системаси (2.76, в-расм) ёки профилланган тўр (2.76, г-расм) дан фойдаланиладики, бунда оқим реактор

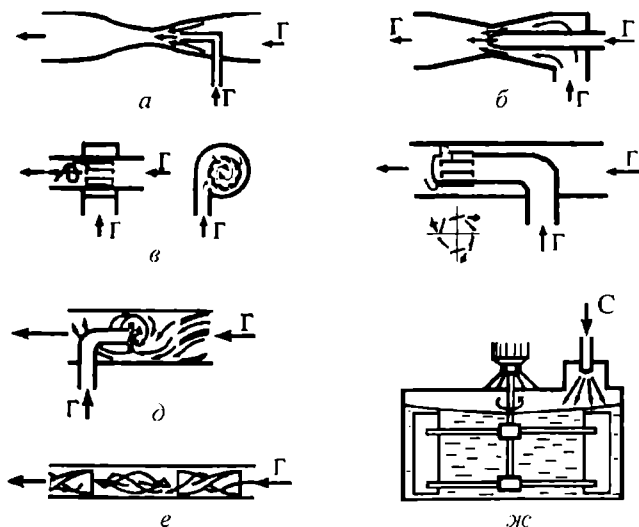


2.76-расм. Кимёвий реакторлардаги оқимлар таркатгичлари кўриниши.

кесими бўйича текис таркалади. Ҳагто ёнаки киритгич ҳам барабар таркалишни кафолатлай олмайди (2.76, *д*). Оқимлар узлишсини енгиллаштириш ускуналаридан фойдаланиш ҳам фойдадан холи бўлмайди. Бундай ускуналар аэрогидродинамик моделлаш (совук физик моделларда – яъни реакциясиз шароитда) усуллари билан амалиётга киритилади.

Оқимларнинг аралашуви бир қараганда оддий вазифага ўхшайди. Лекин икки оқим бир трубага йўналтирилганда турбулентний оқим билан 12, балки 20 калибр (диаметр)гача суриладилар. Бу, аввалам бор, катта харажатлар билан боғлиқ.

Мана қаранг, SO_2 ни оксидлашда катализатор қаватлари орасида реакция аралашма совук газ билан совутилади. Реактор диаметри 12 метр. Оқимларнинг аралашуви учун 150 метрдан ортиқ масофа зарур бўлишини ҳисоблаш мумкин. Иккинчидан, қўшилаётган моддалар портловчи аралашма ҳосил қилиши ҳам мумкин (нитрат кислота ишлаб чиқаришда аммиак ҳаво билан, органик синтезда углеводородлар ҳаво билан ҳ.к). Оқимнинг қайсидир қисмларида ҳам портловчи аралашмалар ҳосил бўлиб қолиши тасодифдан холи эмас, албатта. Учинчидан, оқимларнинг тўла аралашиб кетишига қадар жойларда ноҳуш реакциялар амалга ошуви мумкин. Исик



2.77-расм. Оқимлар ва реакторлар аралаштиргичлари.

буғнинг улгеводородлар дегидрирланнши вақтида жойлардаги пениб кетиш холлари учраб туради.

Окимлар аралашувиши (мисоллар 2.77-расмда кўрсатилган) газ йўлларини профиллаш оркали (оким кириши олдида) амалга ошириш мумкин. Бунинг учун Вентури трубасидан (2.77, *а*-расм), битта тез окимни иккинчисига инъекциялаш (2.77, *б*-расм) махсус ускуна кўйиш (2.77, *в*, *г*-расм) ва учрашувчи окимлар бериш (2.77, *д*-расм) дан фойдаланиш мумкин. Статик аралаштиргичларни ҳам қўллаш яхши натижалар беради. Сўнгги мисолда трубада катор винтсимон кўшимчалар кўйилади. Буларнинг ҳар бири окимни турли томонга навбатма-навбат буриб туради. Бундай ускуналарда ҳатто аралашиб кетувчи фазалар ҳам қаватланмайди, реакцияон аралашма аралаштиргичли реакторга узатилганда ҳам жойларда концентрацион бир хилликка эришилмайди.

Форсунка оркали суюкликнинг сочилиши (2.77, *жс*-расм) реагентни кўп нуктага бўлиб киритишга шароит яратади ва унинг аппаратда асосий масса билан интенсив аралашувига эриштиради. Бундай аралаштиришларда ҳам аэрогидродинамик моделлашдан фойдаланилади.

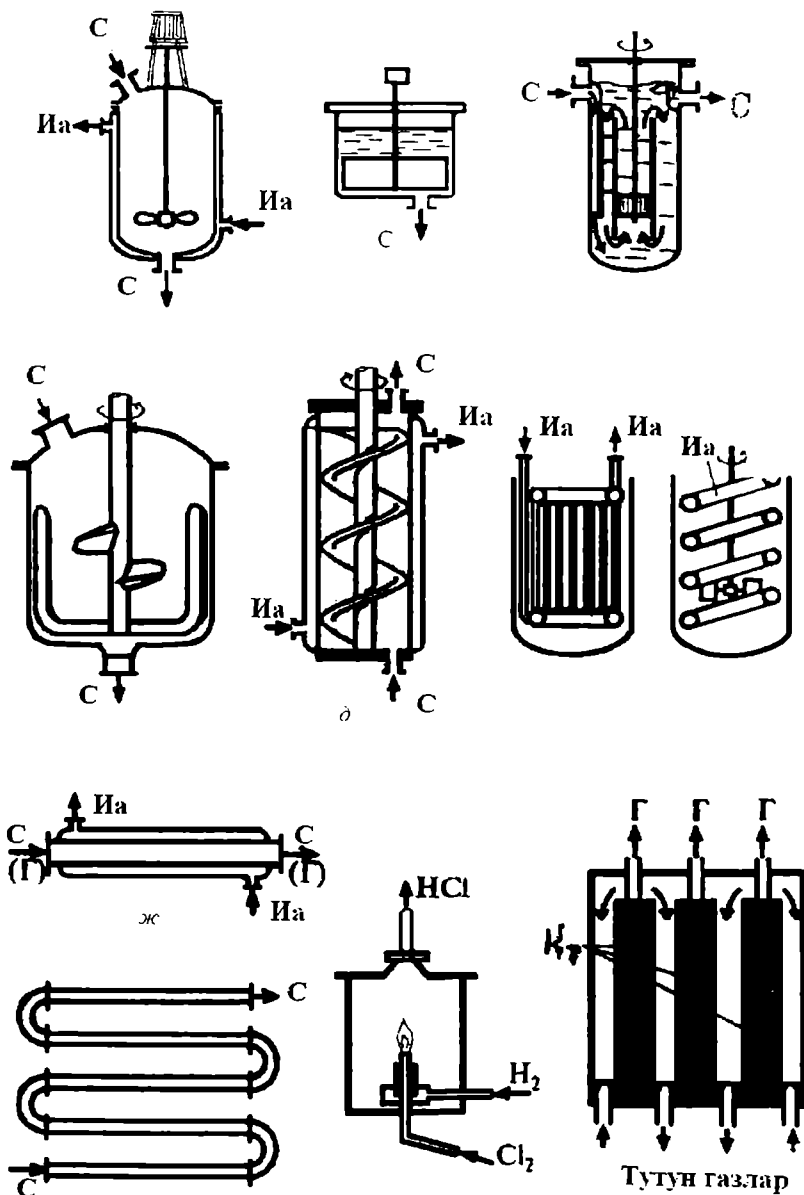
2.9.4. Саноат кимёвий реакторлари схема ва конструкциялари

Саноат реакторларини аввало ишлатиш соҳаси, жараён характери, кўриниши, модели, концентрация ва температура тарқалиши каби жиҳатидан қарашга тўғри келади.

Гомоген жараёнлар учун қўлланиладиган реактор—ҳажмий (2.78, *а-е*, *и*, *к*-расм) ёки трубасимон (2.78, *жс*, *з*-расм) ларга бўлинади. Ҳажмий аппаратлар (даврий ва окимли) турли конструкцияларга эга бўлиб, мисалкалар билан жиҳозланади, булар пропеллерли (278, *а*), парракли (278б *б*-расм), турбинали бўлиб, интенсив аралаштиради (2.78, *в*-расм).

Ёпишқок суюкликлар учун алоҳида типдаги аралаштиргичлар ишлатилади (2.78, *а*, *д*-расм).

Реакторлар температураси қоплама оркали ушлаб турилади (2.78, *а*, *д*-расм), булар иссиқлик алмаштиргичлар бўлиб, эмесвинк



2-78-расм. Гомоген жараёнлари реакторлари схемаси.

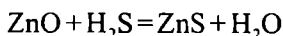
ёки «белнич гилдираклари» кўришидадир. 2.78 *а* ва *в*-расмлардаги реакторлар органик синтез жараёнларида, 2.78, *б*-даги расмдагиси бўёқ саноатида, 2.78, *г* ва *д*-дагилари полимерлар ишлаб чиқаришда қўлланилади. 2.78, *а*, *б*, *г*-расмдаги реакторлар даврий жараёнлар учун мўлжалланган. 2.78, *в*, *д*-расмда схемаси келтирилган.

2.78, *ж*-расмдаги трубкасимон реакторда иссиқлик алмаштиргич копламада айланади. 2.78, *ж* ва *з*-расмдаги реакторлар 3-хорпрен (2.78, *ж*-расм) ишлаб чиқаришда, гликолла синтезида (2.78, *з*-расм) қўлланилади. Трубкасимон реакторлар нефтни қайта ишлаш саноатида терминг крекингида ишлатилади. Змеевик кўринишидаги реактор ёниш камерасига жойлаштирилади, буларни трубкасимон печлар деб юритадилар.

Хлор ва водороддан хлорид кислота (HCl) синтези аланга реакторида (2.78, *и*-расм) ўтказилади. Коксلاш печи (2.78, *к*-расм)ни гомоген қаттиқ фазали реактор хилига киритилади. Бунда хом ашё (кўмир) кокслаш камерасига солинади, у вертикал ҳолдаги иситиш каналлари бўйлаб ҳаракатланувчи тутун газлари билан ташқаридан иситилади. Газсимон маҳсулот узлуксиз ташқарига чиқариб турилади.

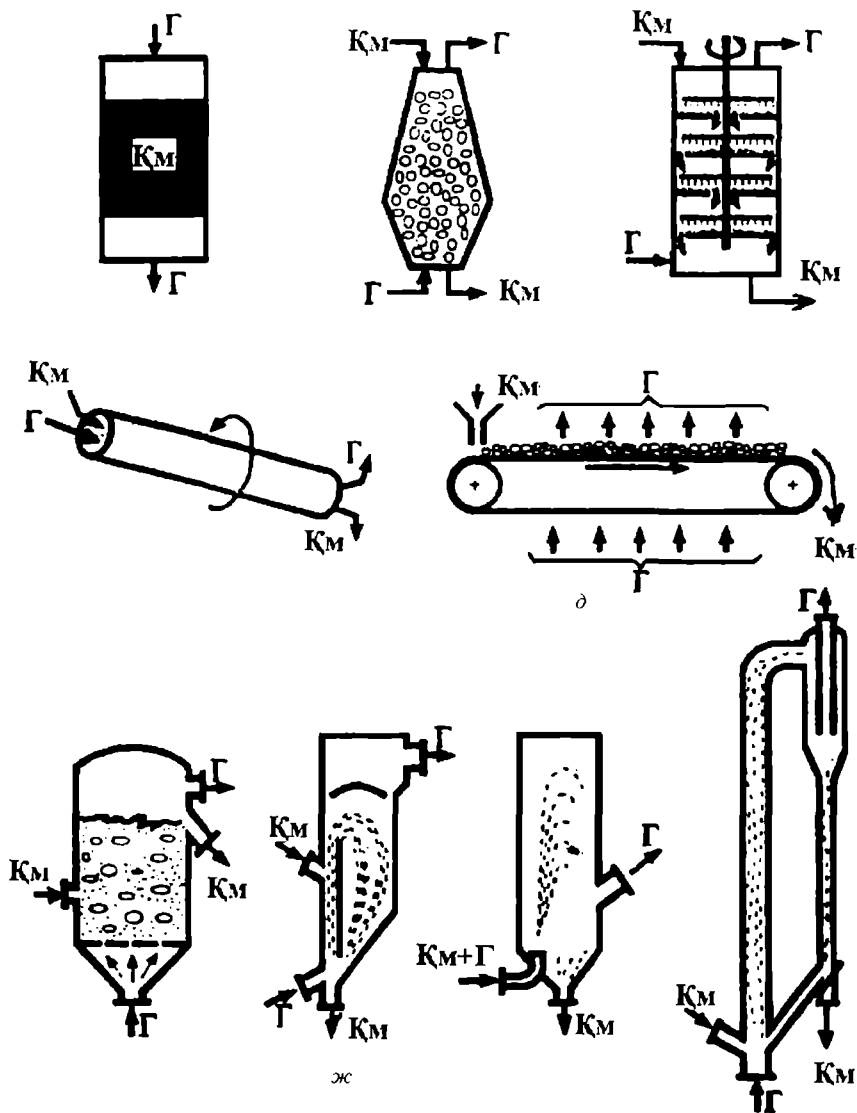
Қаттиқ фазали гетероген жараёнлар учун реакторлар (2.79-расм).

Оддий хилдаги реактор (2.79, *а*-расм) га қаттиқ модда солинади, газ эса сокин қават орқали циркуляцияланади. Бундай реакторларда газ ва суюқликларнинг кўпгина адсорбцион жараёнлари, жумладан, табиий газ олтингугуртли бирикмалар («олтингугурт»дан) тозаланади. Аввало у водород сульфид (H_2S) гача қайтарилади, кейин рух оксиди билан ютилади:



H_2S нинг ютилиши қаватнинг тор қисмида, қаватма-қават амалга ошади. Дастлабки қаватлардаги сорбентлар ишлаб бўлгач, реакция зонаси давом этиб боради (2.80-расм). H_2S «ўтиб кетиши» бошлангач (сорбент уни тўла юта олмай колганидан кейин) ютгични янгилайдилар.

Бундай жараённинг камчилиги – унинг даврийлигидир. Баъзан қаттиқ материянинг реакцияда бўлиш вақтини барабарлаштириш мақсадида механик усуллардан ҳам фойдаланишга тўғри келади. 2.79, *в*-расмдаги реакторда йўналтирувчи куракли сўргичлар ёрда-



2.79-расм. Каттик фазали гетероген жараёнлар реакторлари схемаси.

мида материал бир полкадан иккинчи полкага сурилади (тўкилади). Олтингугурт колчедани куйдириш реактори шундай тузилишга эга. Материал транспортер орқали ҳам узатилади (2.79, *а*-расм). Материал узлуксиз ҳаракатда бўлган ёнлама (бурчак остидаги) айланма труба (2.79, *д*) дан кенг фойдаланилади. Бундай реакторнинг классик мисоли қилиб цемент клинкерни олинадиган печни кўрсатиш мумкин. Иккиламчи суперфосфат ўғити олишда ишлатиладиган аммиак нейтрализатори ҳам шу хилдаги реактор ҳисобланади.

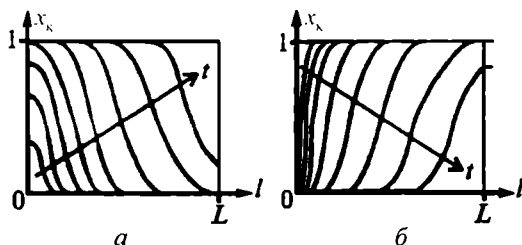
«Газ-қаттиқ модда» хилидаги кимсвий жараёнлар қаттиқ реагент майдаланганда интенсив бориши маълум. Кўрсатилган реакторларда бу вазифани амалга ошириш кийин. Бунда заррача кичрайиши билан қатор муаммолар келиб чиқади (гидравлик қаршлик ортади, ёпишиш ва тўпланиб қолиш каби). Бундан ҳалос бўлиш йўли псевдосуюлтирилган (2.79, *е*-расм) ёки фонтан (фаввора)ланувчи (2.79, *ж*-расм) қаватлардан қаттиқ материални махсус форсунка орқали чанглатиб, инжектирлашдан фойдаланишдир. Пневмотранспорт режими (2.79, *и*-расм) қўлланилади. Бу усулнинг умумий камчилиги, аппарат деворининг коррозияси, заррачаларнинг янада майдалашуви, чанг чиқиб газ оқимини ифлослантириши ҳисобланади. Апатитни кислота билан парчалашда гомоген жараёнида ишлатиладиган (2.78, *б*-расм) аралаштиргичли реактордан ҳам фойдаланиш самара беради.

2.79, *а*-расмдаги реакторда табиий газни олтингугуртдан тозалашнинг қаттиқ x_x ва газ ҳолдаги x реагентларни ютиши (айланиши) нинг ўзгариш динамикаси кўрсатилган (2.80-расм).

Газ-суюқлик гетероген жараёнлари учун реакторлар (2.81-расм). Газ билан суюқликнинг ўзаро таъсири асосан уч йўл билан амалга оширилади. Газ ва суюқлик тўғри ёки қарама-қарши оқимлари; газнинг суюқлик орқали барботаж (газ суюқлик ҳажмида диспергирланган) ва сув газда сочилади (суюқлик газ ҳажмида диспергирланган).

Трубкасимон реакторда (2.81, *а*-расм) суюқлик трубалар деворидан оқиб тушади ва газнинг у билан учрашуви ёки йўловчи газ оқими билан контактда бўлади. Бу яхши ташкил этилган жараён ҳисобланади, бунда трубалар юзасига тенг бўлган фазалар контакт юзаси қатъий сақланиб туради. Оқимлар яхши бўлинган ҳолда бўлади. Иссиқлик режими трубалар ҳароратини бошқариш орқали

олиб борилади. Бундай реакторлардан режим бир хил ушланиши ва тезда бошқариш мумкин бўлган ишлаб чиқариш корхоналарида фойдаланилади. Одатда бу кам тоннажли органик ва ноорганик синтезда қўлланилади.

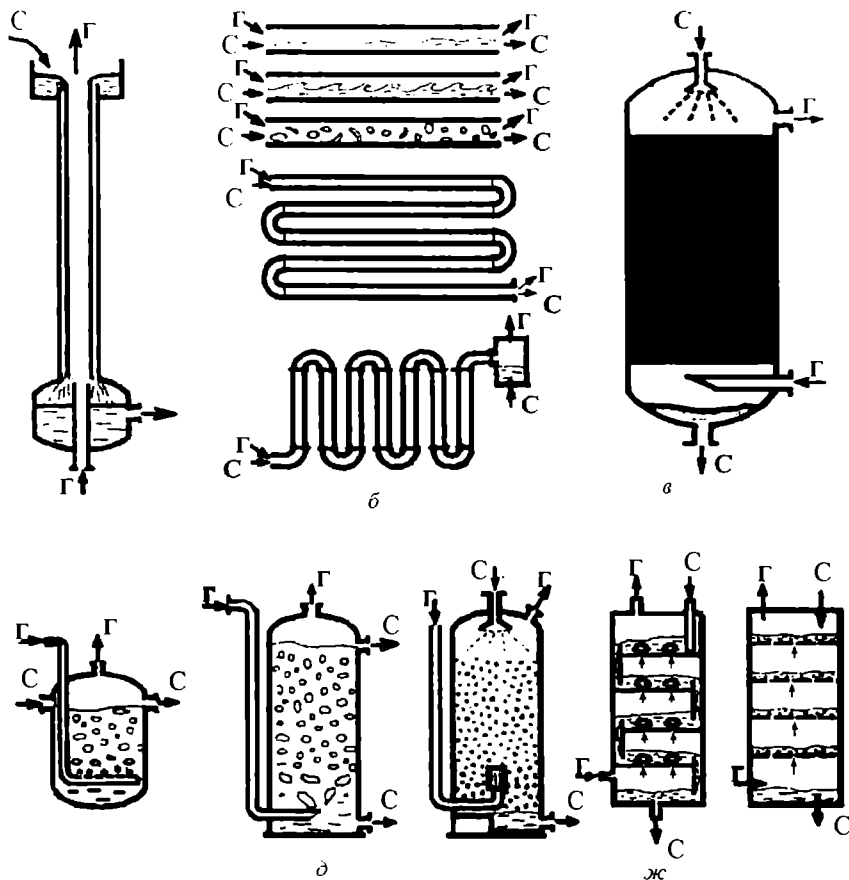


2.80-расм. 2.79, а расмдаги реакторда кўрсатилган табиий газни олтингурут водороддан тозалаш реакторида каттик x_k ва газ ҳолатдаги x реагентларнинг қават узунлиги l ва ютиш даражасининг ўзгариши.

Фазаларнинг интенсив таъсирига газ-суюқликнинг қўшма (бир йўналишда ҳаракатланувчи) оқимида эришилади (2.81, б-расм). Оқимлар тезлигига қараб туриб режимлар турлича бориши мумкин. Схсмада фазаларнинг тўла қаватланиши; фазалар контакт юзалари кўпчиган ҳолда алоҳида ўтиши; яхши аралашган газ оқимида ўтиши кўрсатилган. Кўрсатилган режимлар оқимлар тезлиги кетмакет ортиб бориши, айниқса газникида сезилади. Газ-суюқликнинг тезлашган оқимидаги тезлиги секундига бир неча метрни ташкил этиши мумкин.

Бундай реакторлар реакция учун кўп вақт талаб қилсада, компактлиги билан характерланади, булар вертикал ёки горизонтал эмесвик сифатида ясалади (2.81, б-расм). Буларда юкори ҳажмли масса алмашинув коэффициентига эришилади, бу сон $1, 2 \text{ с}^{-1}$ гача боради. Бундай хил реактор полиэтилен ва этиленни сирка альдегидгача оксидлаш саноатида қўлланилади.

Насадкали реакторлар ҳам бир мунча тарқалганлардан ҳисобланади (2.81, в-расм). Аппаратга юза қисмидан сув оқадиган майдарок элсментлар бўлган насадка (шиша, керамика, металл ва бошқалар) солинади, булар оралиғидан эса қарши оқимда газ ўтади. Насадкалар шакли турлича бўлиб, кўпроқ шарчалар, найчалар сифатида ясалади, катталиги 10–50 мм атрофида бўлади. Қаватнинг ҳар



2.81-расм. Газсувлик жараёнлари учун реакторлар схемаси
(Г газ, С суюклик).

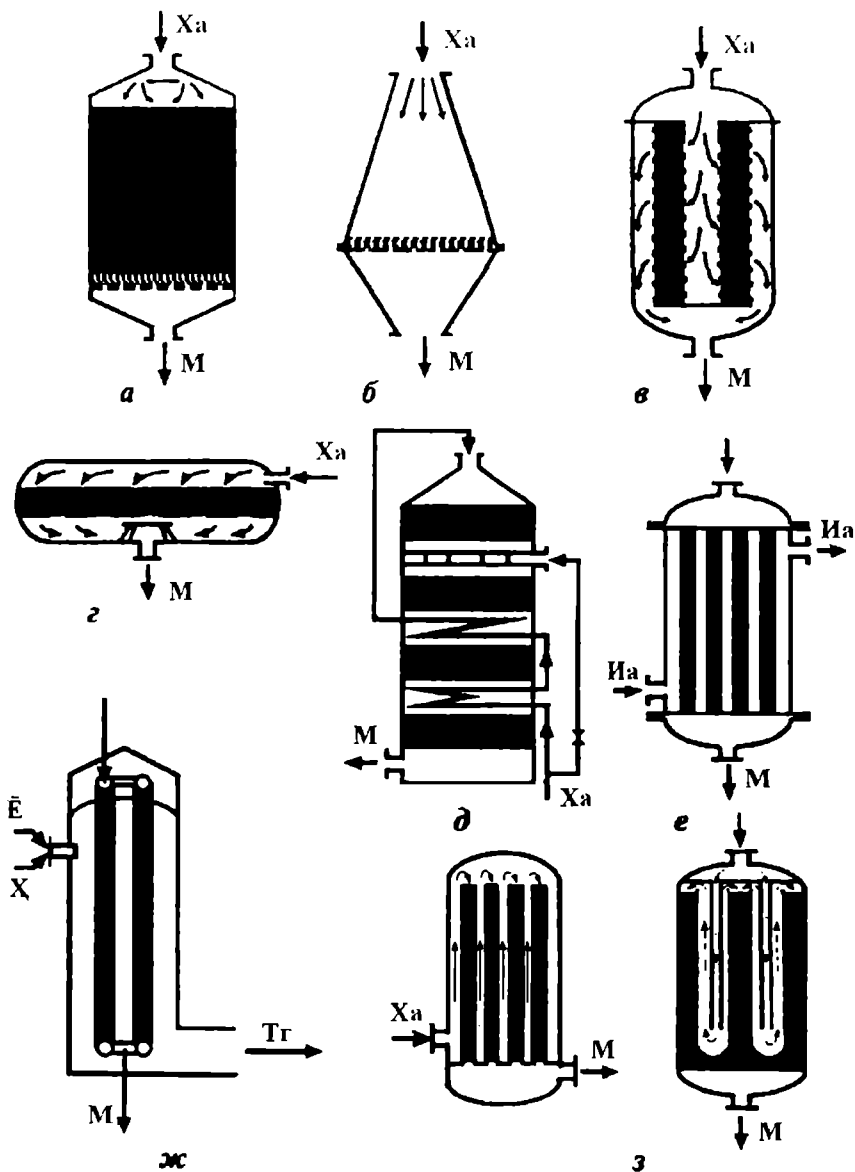
кубометрида фазалар контакт юзаси юзлаб квадрат метрни ташкил этади, фазалар таъсири шу боис интенсив боради. Ҳажмий масса алмашинув коэффициентини $0,5 \text{ с}^{-1}$ га етади. Суюклик ўз оғирлиги туфайли оқибатида у бироз чекланган бўлади. Газ оқими кучли бўлганда суюклик унинг томонидан тез олиб кетилади. Бу «ботиб қолиш» режими бўлиб, одатда масса алмашинуви одатдагидан кўп бўлиши билан ажралади.

Суюклик билан газнинг ўзаро таъсирлашуви газнинг суюкликдан барботаж килнши (2.81, *г, д*-расм) ва суюкликнинг газда сочилишн (2.81, *е*-расм)дир. Таъсирлашувнинг интенсивлиги барботаждаги пуфакчаларнинг сузиб чиқиш тезлиги ва ўлчамига боғлиқ бўлади. Сузиб чиқиш тезлиги гравитацион кучлар билан чегараланганлиги туфайли бир мунча чекланган. Пуфакчалар катталиги ҳам барботажда кийинроқ бошқарилади. Эркин барботажда масса алмашинуви ҳажмий коэффиценти киймати, одатда, $0,3 \text{ с}^{-1}$ дан ошмайди. Майда пуфакчалар кийинчилик билан сакланади. Бу иш элаксимон тақсимлагичлар-тарелкалар (2.81, *з*-расм) ва қайта қуюш жиҳозлари ёрдамида амалга оширилади (2.81, *ж*). Сочмали реактор (2.81, *е*-расм)да майда томчилар барқарор сакланади, уларнинг пастга тушувчи гравитация кучлари билан ҳамда газ оқими орқали аниқланилади. Форсункалардан фойдаланилганда фазалар орқасидаги масса алмашинувини интенсивлаш мумкин бўлади.

Гетероген каталитик жараёнлар учун реакторлар. Булар орасида сокин қаватли катализатор солинадиган реакторлар кенгрок тарқалган (2.82-расм). Адиабатик режим учун турли шаклга эга заррачалар реакторларга солинади (2.82, *а*-расм). Заррачалар учун характерли ўлчам 3–8 мм атрофидадир. Қават мустаҳкам асосдаги тўрға жойлаштирилади.

Солинган катализатор массаси тоннагача бориши мумкин, йирик ишлаб чиқариш корхоналарида эса бу миқдор ўн тонналаргача етказилиши мумкин (масалан, сульфат кислота ва аммиак саноатида). Тез боровчи жараёнларда катализатор баландлиги унча юқори бўлмайди. Метанолни формальдагидгача оксидлашда қўлланиладиган кумуш катализатори қалинлиги бир неча сантиметрни ташкил этса, аммиакни оксидлаб нитрат кислота олишда ишлатиладиган платина катализатори тўрлари бир неча қават (10–15)дан иборат бўлади (2.82, *б*-расм). Бундай реакторларда газни тарқатишга алоҳида аҳамият берилади.

Катта ҳажмли ишлаб чиқаришда қават қалинлиги катта бўлганидан гидравлик қаршилик ҳам юқори бўлади. Буни ҳисобга олиб, газ радиал ҳолатда ўтишини таъминлайдиган катализатор қаватининг цилиндр шаклида (2.82, *в*-расм) ёки 2.82, *г*-расмдагидек жойлаштирилади. Унча катта қалинликда бўлмаган ва аппарат-

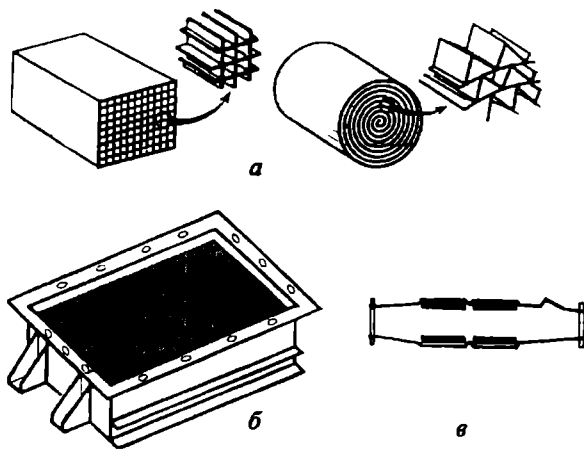


2.82-расм. кимирламас қаватли катализаторларнинг жараёндар учун реакторлар схемаси (X_a – ҳом ашё, I_a – несиклик алмаштиргич, $\bar{E}$ ёқилғи, X ҳаво, T_r тутун газлар).

нинг кўндаланг кесими бўйича чўзиб жойлаштирилиш энергетик сарфларни бир неча баравар камайтиради, буни газнинг акциал ҳаракатига эга аппаратларга солиштириб аниқланилади (2.82, *а*-расм).

Адиабатик қаватлар кетма-кетлигидан кўп қаватли реакторларда фойдаланилади (2.82, *б*-расм). Жараён реакторда адиабатик режимда боради, иссиқлик ўзга ташигичга узатилмайди, лекин реактор ичидаги иссиқлик алмашилиши жараён учун зарур бўлган ҳарорат режимни яратади. Бундай адиабатик режим $\Delta T_{ад}$ билан аниқланувчи максимал иситиш мазкур жараён учун рухсат этиладиган ҳисрадан ошиб кетмайдиган тақдирдагина ишлатилади. Каталитик тозалаш (ташландик газларни зарарсизлантириш, технологик газларни тозалаш)дан фойдаланиш замон талаби бўлиб қолди. Айниқса, SO_2 ни оксидлаш, аммиак синтези, синтетик каучук мономерлари синтези, олишдаги дегидрирлаш жараёнлари каби эндотермик реакция учун муҳим амалий аҳамият касб этади. Ушбу жараёнларда тўла айланишларга эришниш мақсадида кўп қаватли реакторлардан фойдаланилади.

Параллел каналлар системаси оқим учун кам бўлган қаршилиқ билан бир қаторда чангланган газларни қайта ишлашга имкон беради. Бундай блоklar махсус тинитгичдан ёки махсус гофрирлан-



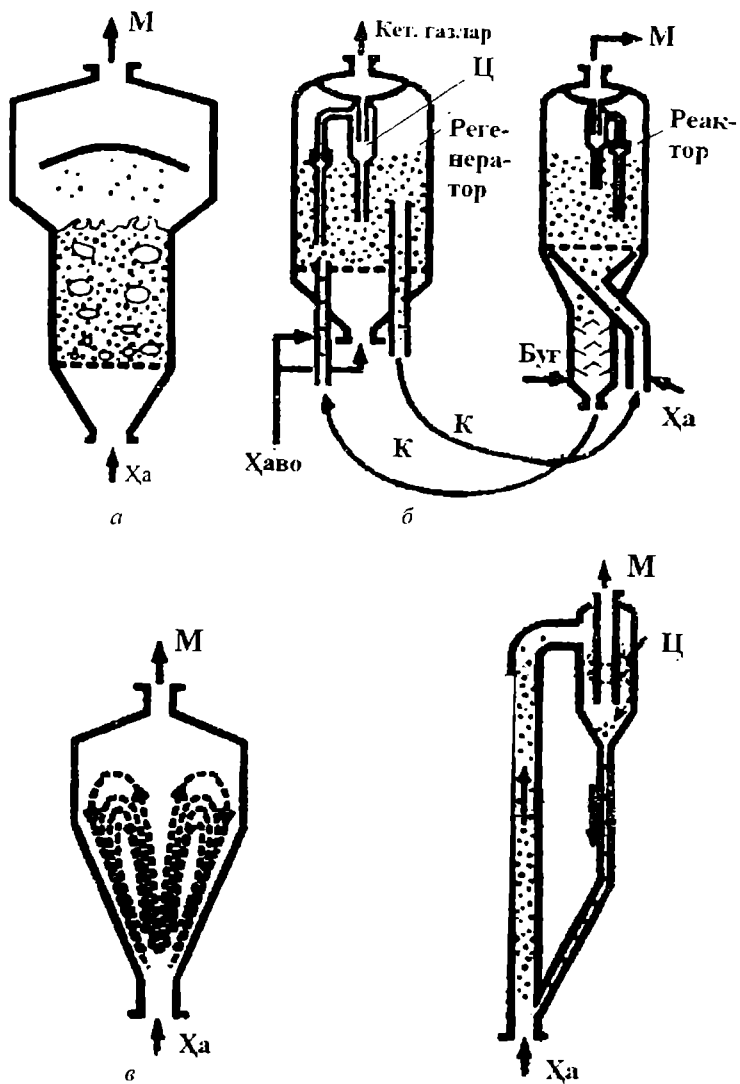
2.83-расм. Блокли катализаторлар (*а*) ва улар учун реакторлар (*б* – тутун газларни тозаловчи реактор, *в* – автомобиль ёндиргичи).

ган металллик пластиналардан уларга фаол компонентларни копланш орқали (кўпнлча платинали) тайёрланади. Бундай блоклардан тугун газларини тозалашда ва автомобиллар нейтрализаторларида ҳам фойдаланилади.

Рсакторларнинг бошқа гуруҳи муаллақ қаватли катализаторлилари – псевдосуюқланган (қайновчи) ёки кўтарилувчи номи билан маълум (2.84-расм). Рсакцион аралашма катта тезлигида пастдан берилганда (қаватда) каттик заррачалар оқимда учиб юради, у билан ташқари чиқиб кетмайди (2.84, а-расм). Бундай ҳолда заррачалар 1 мм.дан катта бўлмайди. Бу уларнинг ички юзасини тўла ишлатиш имконини беради. Циркуляцияланувчи заррачалар температурани қаватда бараварлаштиради, унда жараён тўла равишда экзотермик режимда боради.

Заррачаларнинг интенсив ҳаракати иссиқликни чиқариб юборишни таъминлайди, қайновчи қатламнинг иссиқлик бериш коэффиценти сокин қаватникига қараганда бир тартибга юқорилиги билан характерланади. Заррачаларнинг ҳаракатчанлиги каттик материалнинг реактордан ўтиш оқимини ташкил этиш имконини беради, бу катализатор фаоллиги ўзгарувчи шароитда муҳим ўрин тутаети. Нефт маҳсулотларининг каталитик крекинг жараёнида катализатор тез орада «коксланади», ўз активлигини йўқотаети. У узлуксиз равишда реактордан регенераторга чиқариб турилати (2.84, б-расм), бу ерда кокс «ёндирилати» ва катализатор ўз активлигини тиклайди. У шундан кейин реакторга қайтарилати, бу жараён узлуксизлигини таъминлайди. Буни «рсактор-регенератор» системаси дейилаети.

Псевдосуюқ қаватдаги рсакцион аралашма аралашуви идс-ал аралашув режимига яқинлашади. Бундан ташқари газ тезлиги псевдосуюқланиш бошланиш тезлигидан юқори бўлганда газнинг маълум бир қисми қаватдан пуфак кўринишида ўтади. Пуфаклар билан қаватнинг қолган қисми орасидаги масса алмашинув ҳажмий коэффиценти унча катта бўлмайди $-0,5 \text{ с}^{-1}$ дан ошмайди. Пуфакдаги газ реакцион аралашма учун байпаснинг ўзидир. Бу иккала ҳодиса жараён учун юқори самарани яратмайди. Масса алмашинувни пуфаклар майдаланганда ошириш мумкин. Буни маҳсус равишдаги масса алмашинув насадкаси орқали амалга оширилати (спирал сим орқали). Улар қават ҳажмининг 2–5 % ини ташкил этади. Насадка пуфакларни майдалаети, масса алмашинув коэффицентини 3 с^{-1}



2.84-рasm. Муаллак гетероген-каталитик жараён учун реакторлар схемаси (X_a — хом ашё, M — маҳсулот, $Ц$ — циклон).

гача оширади, ҳажмдаги реакцион аралашма қўшилиб кетишига тўсқинлик қилади, режимни сиклишга яқинлаштиради. Пуфакларни «ишлатишнинг» иккинчи усули – катализаторга унинг майда фракциясини қўшини ҳисобланади. Бундай «чанг» пуфакларга қисман реакция ўтказилган жойда қўшилади.

Псевдосуёқ қаватда катализатор заррачалар циркуляцияси туфайли едирилади. Газни чангдан тозалаш учун реактордан кейин циклон ўрнатилади. Каталитик крекинг жараёнидаги йирик реактор ($d = 12$ м ва $h = 16$ м)ларда циклонларни унинг корпус ичига жойлаштиридилар (2.84, б-расмга қаранг).

Агар реактор конфигурацияси ўзгартирилса (конуссимон қилинса), газ оқими катализаторни йўналтирилган томонга циркуляциялайди (2.84, в-расм). Бу фаввораловчи қават бўлиб, қайновчи варианты ҳисобланади.

Агар газ оқими тезлиги каттиқ заррачаларни ўзига эргаштира оладиган даражада бўлса (оқим тезлиги олиб кетиш тезлигидан юқори), унда псевмотранспорт режими юзага келади (2.84, г-расм) ва жараён катализатор оқими юқорисида бўлади. Жараёни бундай ҳолда ташкил қилиш тез ўтувчи реакциялар учун самарали ҳисобланади – реакцион аралашманинг тор узун реактордан ўтиш вақти катта бўлмайди. Реакция иссиқлиги нафақат реакцион аралашмани иситиш (совитиш)га, балки у билан у учиб юрган катализаторни иситиш (совитиш)га сарфланиб, иссиқлик сиғими газ иссиқлик сиғимидан 300–600 марта юқорилиги билан характерланади. Жараён деярли изотермик режимда ўтади. Циклонда катализатор ажратилиб, алоҳида аппаратда иситилиши ёки совитилиши ва реакторга қайтарилиши мумкин. Жараёни бундай йўлда ташкил этиш янги цеолит катализаторларидан гидрокрекингда қўлланиш самарали эканлиги аниқланган.

Реакторларда жараёнларнинг асосий усуллари ташкил қилишда улар моделлари ва таҳлил қилишнинг йўллари, реакторлар конструктив элементлари қаралмайди. Буни олдинги материаллар асосида бажариш мумкин. Кимёгар технологлар учун реактор жараёнларини ишлаш ёки таҳлил қилишда асосий вазифа жараёни қай тарзда ташкил этиш, натижаларни олдиндан билиш, ютуқ ва камчиликларни кўра билишдан иборат бўлади.

3.1. КИРИШ

Кимёвий жараёнлар ва реакторлар ҳамда кимё технологияси назарияларининг асосий қоидаларини кимёвий ишлаб чиқаришларда қўриб чиқамиз. Бу ерда ишлаб чиқаришнинг икки гуруҳи – органик ва ноорганик маҳсулот чиқариш танланган. Органик ишлаб чиқаришнинг сон-саноксиз йўналишларидан нефтни кимёвий қайта ишлаш ва мураккаб аралашмадан қатор маҳсулотларни ажратиш олишни кузатамиз. Асосий вазифа мураккаб аралашмани ажратиш ва компонентларни зарур маҳсулотларга айлантиришдир. Оптимал реакторни танлашни этилбензол ва стирол ишлаб чиқариш мисолида қўрамиз. Оригинал энерготехнологик схеманинг асосланиши ва қурилиши стирол мисолида, иссиқлик самарадорлиги таҳлили бензин пиролизидида ҳосил бўлувчи этилсн учун ўтказилди.

Ноорганик маҳсулотлар ишлаб чиқаришнинг пухта ўрганилган жараёнлари ўзгачароқ назар билан, яъни технологик схемаларнинг физик-кимёвий асосланиши, жараён ва аппаратлар алоҳида босқичлари учун қўзланганлиги билан фарқланади. Бу сзда ишлаб чиқаришнинг баъзилари тавсифланиши билан чегараланади, баъзилари эса чуқурроқ таҳлил қилинади. Масалан, бензолни алкиллашда ёки каталитик риформингда ҳосил бўлувчи ароматик углеводородларни ажратиш; «қўш контактланиши/қўш абсорбция» системасида иссиқлик алмашилиш схемасини сульфат кислота ишлаб чиқаришда танлаш; ишлаб чиқаришнинг экологик хавфсизлигини таъминловчи йўллари аниқлаш илгариги маълумотларга суянган ҳолда тўлиқ таҳлил қилиниб, иш қўрилди.

Мазкур боб материаллари олдинги боблардаги материалларда қўриб чиқилган назарий билимларни амалиёт билан боғлаш, текшириш, мустаҳкамлаш учун хизмат қилади.

3.2. НЕФТНИ ҚАЙТА ИШЛАШ

3.2.1. Нефт кимёси комплексининг умумий тавсифи

Форсча нефт сўзидан, аккадча напатум-ёниб кетиш, алангаланмиш маъносини англатади. Ер қаърининг чўкинди қисмида тарқалган ўзига хос хидли мойсимон суюқлик бўлиб, углеводород газлари билан биргаликда 1,2–2 километр чуқурликда ҳосил бўлади. Одатда, Ер қаърининг бир неча ўн метридан 5–6 километргача чуқурликда жойлашадиган муҳим фойдали қазилмалардан ҳисобланади. Лекин 4,5–5 километрдан пастда бўлганлари таркибида нефтнинг енгил фракциялари оз миқдорда бўлиб, асосан газлар ва газ конденсатлари йиғилган бўлади. Ер юзасига яқин хиллари куюқ малъта, ярим каттик асфальт ва бошқа кўришларда мавжуд бўлади. Булар битумли кумлар (битумлар) деб ҳам аталади. 1985 йилги аниқланишларга кўра, нефтнинг дунёдаги захиралари миқдори 250–270 млрд тоннага боради. Россия, Буюк Британия, Норвегия, Руминия, Саудия Арабистони, Эрон, Ироқ ва бошқалар нефтга бой мамлакатлардан ҳисобланади. Нефт захиралари барча қитъаларда (Антарктида бундан мустасно) мавжуд бўлиб, баравар тарқалмаганлиги билан характерланади. Нефт дунё миқёсида қазмиш қудуқлари ёрдамида қазиб олинади. 1990 йилларда йилига дунёда 3 млрд тоннага яқин нефт қазиб олинганлиги статистик маълумотлардаан маълум.

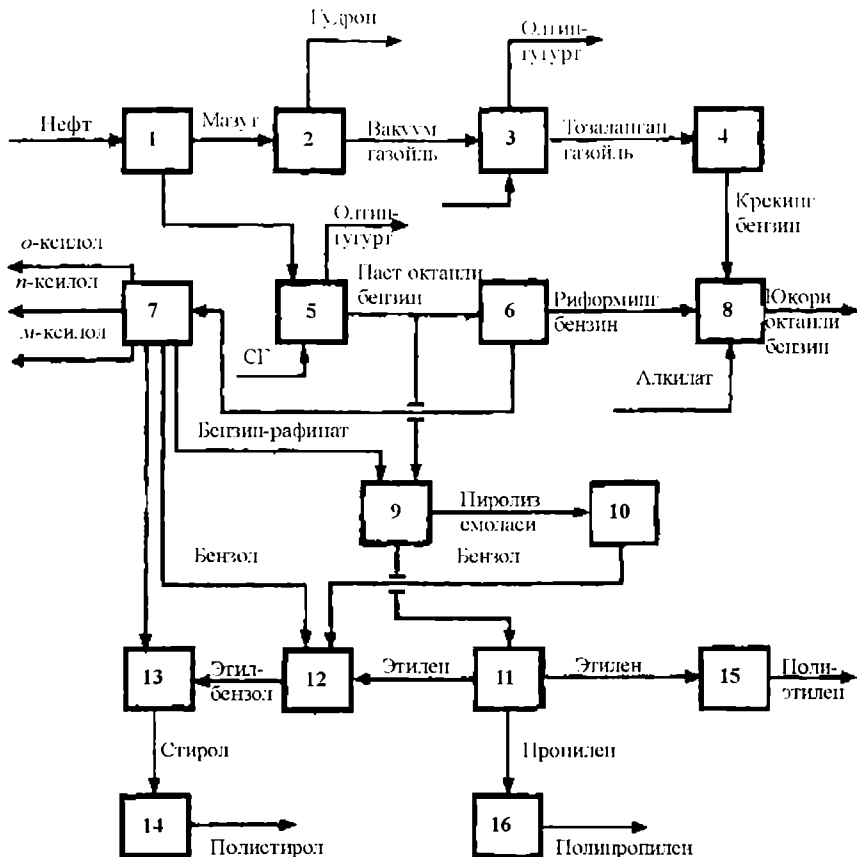
Сўнгги ўн йилликда океан сувлари остидаги конлардан биринчи етти юзтаси топилиб, уларнинг анчагинасидан фойдаланила бошланди. Океан шельфларидаги захираларда 55 миллиард тонна нефт борлиги ва бу миқдор дунёда ишлаб чиқарилаётган хом ашёнинг 30 % га яқинини ташкил қилиниши олимлар ҳисоблаб чиқишди.

Турли конлардан олинувчи нефтлар ўзларининг енгил, ўрта ва оғир дистилятлари миқдори билан ажралувчи фракцион таркиби ҳар хиллиги билан фарқланади. Кўпчилик нефтлар 180°C гача қайновчи 15–25 % ва 45–55 % миқдордаги 300–350°C гача қайновчи 45–55 % миқдордаги фракциялардан иборат бўлади. Нефт таркибига углерод (82–87 %), водород (11–14 %), олтингугурт (0,1–7 %), азот (0,001–1,8) ва кислород (0,5–1,0 %) киради. Нефтларда алканлар

(парафинлар) микдори 30–50 %, циклоалканлар (циклонарафинлар, нафтенлар) микдори эса 25 дан 75 % гача боради. Арен (ароматик углеводород)лар микдори алкан ва циклоалканларникидан бнр мунча камлиги (10-20 %) билан тавсифланади.

Углеводородлар гурухлари орасидаги нисбат нефтлар хоссаларини белгилайди ва уларни қайта ишлаш усулларини танлашни ва олинувчи махсулотлар номенклатурасини такозо этади.

Нефт нефтни қайта ишлаш заводларида мотор ёкилгилари, мой ва мазут олишда асосий хом ашё ҳисобланади. Нефт ва уни қайта ишлашдан ҳосил бўлувчи махсулотлар полимер материаллар, пластмассалар, синтетик тола ва каучуклар, спиртлар, эритувчилар ишлаб чиқаришда ҳам хом ашё ҳисобланади. Нефт кимёсида ишлатилаётган нефт улуши XXI аср бошларида 20 % дан ошди. Нефтни қайта ишлаш ва нефт кимёси саноати интеграцияси амалга оширилди, нефт кимёси комплекслари ва катта корхоналари вужудга келди. Фарғона ва Бухоро нефтни қайта ишлаш корхоналари тўла қувват билан ишлаб турибди. Қорақалпоғистонда нефт казиб чиқариш ва ундан фойдаланиш бўйича диққатга сазовор ишлар олиб борилди ва бу иш давом эттирилмоқда. Нефтни қайта ишлаш (дастлабки қайта ишлаш, каталитик крекинг, риформинг)ни нефт кимёси жараёнлари (пиролиз, мономерлар синтези) билан қўшиб ишлатиш нефтни чуқурроқ қайта ишлашга имкон беради, ишлаб чиқариш тизимларини ихчамлаштиради, мотор ёкилгилари ва хом ашёлар ассортиментини оширади ҳамда улар рентабеллигини юқори кўтаришга олиб келади. Ҳозирги вақтда мавжуд бўлган жараён ва улар комбинациялари нефтни 100 % микдорда қайта ишлашга имкон бермоқда. Нефтни қайта ишлашга ишлаш комплекси тизимни танлаш нефт махсулотларига бўлган регионал ва умумий талаб, нефт табиати ҳамда экологик омилларга боғликлигини эслатиб ўтади. Ана шундай тизимлардан бирининг варианты 3.1-расмда келтирилади. Ундан кўринадики, нефтдан ўнлаб хил турли махсулотлар, шу жумладан, полистирол, полипропилен, полиэтилен каби юқори молскулали бирикмалар, бензин, бензол, ксилол, олтингугурт ва бошқаларни олиш мумкин. Олинган бу махсулотлардан қурилишда, кимё, қишлоқ хўжалиги, машинасозлик каби ва бошқа соҳаларда кенг фойдаланилади.



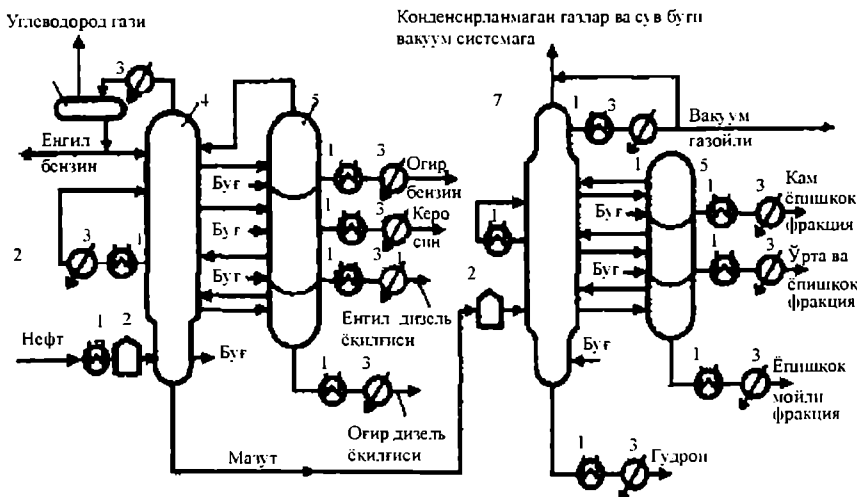
3.1-рasm. Нефт кимсвий комплекси: 1 – нефтни бирламчи ишлаш (ABT ускуна-лариди); 2 – мазутни вакуумда хайдаш (BT ускунаспада); 3 – вакуум газойлини гидротозалаш; 4 – газойл каталитик крекинги; 5 – бензинни гидротозалаш; 6 – бензин реформинги; 7 – риформатни ажратиш; 8 – компаундлаш (аралаштириш); 9 – бензин пиролизи; 10 – пиролиз смоласини кайта ишлаш; 11 – пиролиз газини ажратнш; 12 – бензолни алкиллаш; 13 – стирол ишлаб чикариш; 14 – полисти-рол ишлаб чикариш; 15 – полиэтилен ишлаб чикариш; 16 – полипропилен ишлаб чикариш; СГ – сувль газ.

3.2.2. Нефтни бирламчи ҳайдаш

Нефтни қайта ишлашнинг бирламчи ва иккиламчи усуллари маълум бирламчи бўлиб нефтни ҳайдаш орқали фракцияларга ажратиш, иккиламчи жараёнларга нефтни деструктив (кимёвий) ишлаш ва нефт маҳсулотларини тозалаш киради. Ҳайдаш фракциялари компонентларининг қайнаш температуралари интервали билан фаркланади.

Бирламчи ҳайдашга нефт ва мазутни атмосферада ҳайдаш ки-ради. Бу усул нефтни фракцияларга жаратиб ишлатиш ёки товар маҳсулотлари сифатнда бошқа корхоналарга узатишни кўзлаб иш кўради. Бирламчи ҳайдаш тегишлича атмосферадаги трубкаси-мон (АТ) ёки вакуумли трубкасимон (ВТ) ёки атмосфера-вакуумли трубкасимон (АВТ) ускунасида амалга оширилади. АТ ускунасида бензин, керосин, дизель ва мазут фракцияларида мураккаброк жараёнлар амалга оширилади. Улар мазутдан олинувчи газойлли, мойли фракциялар ва гудрон иккиламчи қайта жараёнларда мойловчи мойлар, кокс, битум ва бошқа нефт маҳсулотлари олишда қўлланилади.

АВТ ускунасида нефтни бирламчи ҳайдашнинг принципиал схемаси 3.2-расмда келтирилган.



3.2-расм. Нефтни бирламчи ҳайдаш қурилмаси схемаси (АВТ ёқилги-мой): 1-иссиқлик алмаштиргич; 2-трубали печь; 3-совутгич, конденсатор-совутгич; 4-атмосфера колоннаси; 5-ҳайдаш колоннаси; 6-газ сепаратори; 7-вакуум колонна.

Куйида Ғарбий Сибирдан олинувчи нефтнинг АВТ-6 ускунасида ҳайдаланишидан ҳосил бўлган маҳсулотлар таркиби берилган (% да):

Газ	1,1
Фракциялар, °С:	
62 гача	4,1
62–85	2,4
85–120	4,5
120–140	3,0
140–180	6,0
180–240	9,5
240–350	19,0
350–460	21,0
Гудрон	28,4
Йўқотишлар	1,0

Углеводород гази асосан пропан ва бутанлардан иборат бўлиб, эриган ҳолда қайта ишланувчи нефт таркибида бўлади. Пропан-бутан фракциясини турмуш ёқилғиси сифатида ишлатиш учун газ фракцияловчи ускуналарда индивидуал углеводородларга ажратилади.

Бензин фракциялари (62–180°С) изомеризациялашнинг иккинчи жараёнлари ва каталитик риформингда индивидуал углсводородлар (бензол, толуол, ксилоллар), юқори октанли автомобиль ва авиацион бензинлар олиш учун ҳам ашё бўлиб хизмат қилади; улар пиролизда этилен олиш учун ишлатилади.

Керосин фракциялари (120–240°С) тозаланиб реактив двигателлар учун ёқилғи ва лак ҳамда бўёқлар (уайт-спирит) сифатида ишлатилади.

Дизель фракциялари (140–340°С) дизель ёқилғиси ва депарафинлаш орқали суюқ парафинлар олишда ишлатилади.

Мазут – нефтни атмосферада ҳайдашдан қолган қолдик бўлиб, ўчоқ ёқилғиси ва иккиламчи қайта ишлаш жараёнлар ҳам ашёси сифатида қўлланилади (каталитик крекинг, гидрокрекинг).

Гудрон – мазутни вакуум ҳайдашдан қолган қолдик деасфальтланади, коксланади ва битум ишлаб чиқаришда қўлланилади.

Сўнгги йилларда хайдашнинг мужассамлашган ва каталитик жараёнларни ривожлантирилиб, комбинацияланган ускуналардан фойдаланилмоқда. Бундай ускуналар эквивалент қувватли ажратилган ускуналарга қараганда бир мунча сархаржроқ ҳисобланади.

Улар окимлар иссиқлигини анча рационал ишлатади, сув ва электр энергиясини иқтисод қилади. ЛК-6У ускунада нефтни хайдаш гидротозалаш, каталитик риформинг ва газни фракциялаш билан мужассамлаштирилган. Нефтни қайта ишлаш ускунасининг қуввати йилига 6 миллион тоннани ташкил этади.

3.2.3. Углеводородларнинг каталитик риформинги

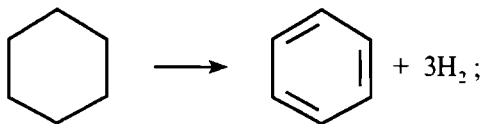
Нефт кимёси комплексидаги каталитик риформингнинг асосий мақсади қуйидагилардир:

1) паст октанли бензин фракцияларини катализат-бензиннинг юқори октанли компонентларига айлантириш;

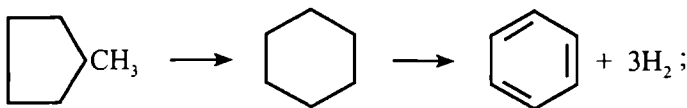
2) бензин фракцияларини катализатга айлантириб, ундан ароматик углеводородлар (бензол, толуол, этилбензол, ксилоллар)ни ажратиш.

Каталитик риформинг юқори температураларда (480–530°C) водород муҳитида нисбатан паст босимда (2–4 МПа)да ва махсус катализаторлар иштирокида олиб борилади. Жараёнда ортиқча миқдорда водород ҳосил бўлади, водородли газ сифатида (80 % гача H_2) чиқариб юборилади ва гидрирлаш жараёнида ишлатилади.

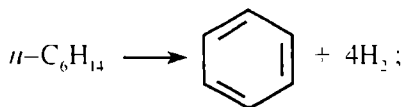
Каталитик риформинг – мураккаб кимёвий жараён бўлиб, унда ароматик углеводородлар ҳосил бўлувчи реакциялар амалга ошади: олти аъзоли нафтенлар дсгидрирланади



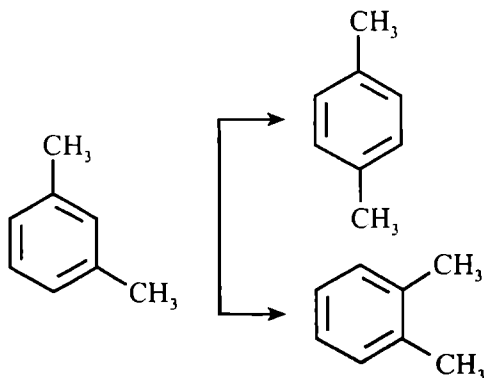
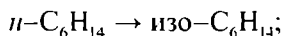
беш аъзоли нафтенлар дегидроциклизацияси



парафинлар дигидроциклизацияси (ароматланиши)



парафин ва ароматик углеводородлар изомеризацияси



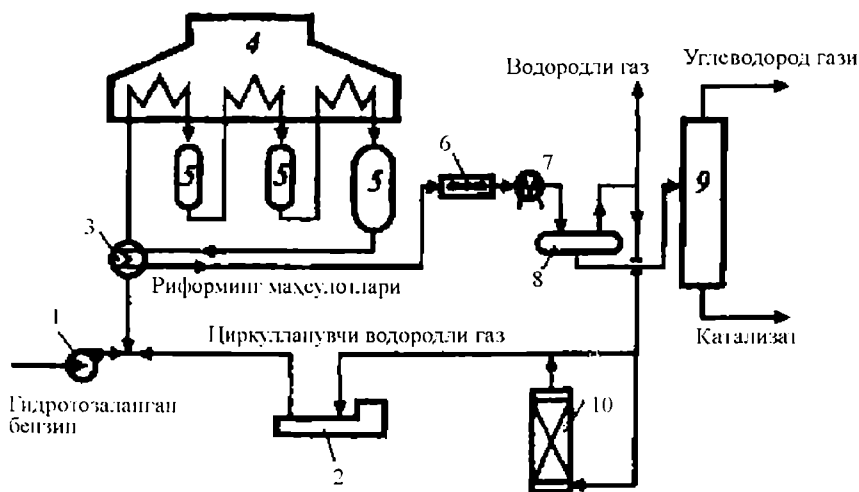
Каталитик риформингнинг асосий реакциялари—нафтенларни дсгидрирлаш ва парафинларни дигидроциклизациялаш бўлиб, юқори иссиқлик эффекти билан боради. Мстилциклогексаннинг толуолга дегидрирланиш иссиқлиги ишчи температурада 800 к да 2212 кЖ/кг ни, н-гептани толуолгача дегидрирлаш эса 2539 кЖ/кг ни ташкил этади.

Риформинг жараёнидаги ароматлаштиришнинг асосий реакциялари углеводородларнинг изомеризацияси ва гидрокрекинги билан ўтади. Изомеризация реакциясининг иссиқлиги унча катта бўлмай, риформингнинг асосий қисми реакциялар эндотермик эффектини қоплашга сарфланади. Ароматлаштириш реакциялари юқори температураларда амалга ошади. Риформинг жараёни температураси қўлланилаётган катализаторга боғлиқ бўлиб, 740–800 Кга боради.

Термодинамикага мувофиқ риформинг жараёнида босим оширилиши тўсқинлик қилади. Лекин водороднинг юқори босими крекингдаги қўшимча реакцияларда ҳосил бўлувчи тўйинмаган углеводородларни тўйинтиришда зарур бўлади. Водород парциал

босими кам бўлганда тўйинмаган углеводородларнинг зичланиб коксга айланиши катализатор юзасида амалга ошади. Юкори босим ва водород кўплиги коксланишнинг олдини олади. Водороднинг парциал босими юкорилиги риформинг вақтида водородли газнинг циркуляцияси туфайли амалга ошади. Циркуляцияланаётган водородли газ ва суюк фазали хом ашёнинг моль нисбати 6:1 дан 10:1 гача боради. Циркуляцияланган газдаги водороднинг оптимал концентрацияси 80–90 % (ҳажмий).

Каталитик риформингда бифункционал гетероген катализаторлар қўлланилади. Ушбу катализаторлар таркибда металллар (платина, платина ва рений, платина ва иридий)ни саклаб, булар дегидрирлаш ва гидрирлаш реакцияларини катализлайди. Катализаторлар учун галогенлар билан промоторланган алюминий оксиди ташитгичлар ролини бажарарди. У кислоталик хусусиятига эга бўлиб, углеводородлар изомеризацияси ва крекингини тезлатади. Риформинг катализаторларида парафин углеводородлари дигидроциклизацияси реакциялари ҳам амалга ошади. Россия корхоналари-



3.3-расм. Каталитик риформинг қурилмаси схемаси:

1 - хом ашё насоси; 2 - циркуляцион компрессор; 3 - иссиқлик алмаштиргич; 4 - кўп камерали трубкали печь; 5 - реакторлар; 6 - хаво совутгич; 7 - сув совутгич; 8 - сепаратор; 9 - стабиловчи колонна; 10 - адсорбер-куритгич.

да таркибда тегишлича 0,65 % ва 0,64 % платипа бўлган ва γ - Al_2O_3 жойлаштирилган алюмоплатина катализаторларидан фойдаланилади.

Асосий реакциялари эндотермик бўлган каталитик риформинг жараёни адиабатик реакторларда амалга оширилади. Саноатдаги риформинг қурилмалари одатда кетма-кет ишлайдиган учта ёки тўртта реактордан иборат бўлиб, псхдаги буг-газ аралашмаси билан орада иситиб турилади. Риформинг қурилмаси схемаси 3.3-расмда келтирилган.

Қурилма иши қуйидаги кўрсаткичлар билан тавсифланади:

Катализатор	АП-64
Реактор киришдаги температура, °С	480
Реакторда температуранинг пасайиши, град.	60
Босим, МПа	3,5
Ҳажмий тезлик, с ⁻¹	1,5
Циркуляция тезлиги	1800
Хом ашёдаги микдори, % (мас.)	36
Катализат чиқиши, % (мас.)	77
Катализатдаги ароматик углеводородлар микдори, % (мас.)	64

Риформинг қурилмаларидаги бензол бўйича йилига 600 минг тонна иш унумига эга аксиал реакцион аралашма ўтишга мўлжалланган адиабатик реактор корпусининг ички диаметри 3 м ва баландлиги 9,4 м га етади. Корпус углеродли пўлатдан тайёрланган бўлиб, ички футеровкаси 0,15 м қалинликдаги торкрет-бетондан ясалган. Босим пасайиши 1,6 МПа га етади. Йилига бир миллион тонналик хом ашёга мўлжалланган қурилмаларда гидравлик қаршилиқ цилиндрлик қаватли катализатор ва газ радиал суръатда ҳаракатланувчи реактор ҳисобига амалга оширилади. Риформинг реакторларида ишлатилувчи катализатор иш давомида зичланиши маҳсулотлари (кокс) билан дезактивланади. Шу боис у даврий равишда оксидаб, регенерациялаб турилади.

Риформинг қурилмаларида турли конструкцияли печлар қўлланилади. Икки томони нурлантирилувчи змеевики вертикал печлар саралари ҳисобланади. Водородли газ циркуляцияси электр двигателли приводга эга марказдан қочма (ёки буг турбиналари) ёрдамида амалга оширилади.

Риформинг жараёни катализати нефт кимёси комплексни схема-сининг икки альтернатив вариант бўйича қайта ишланади:

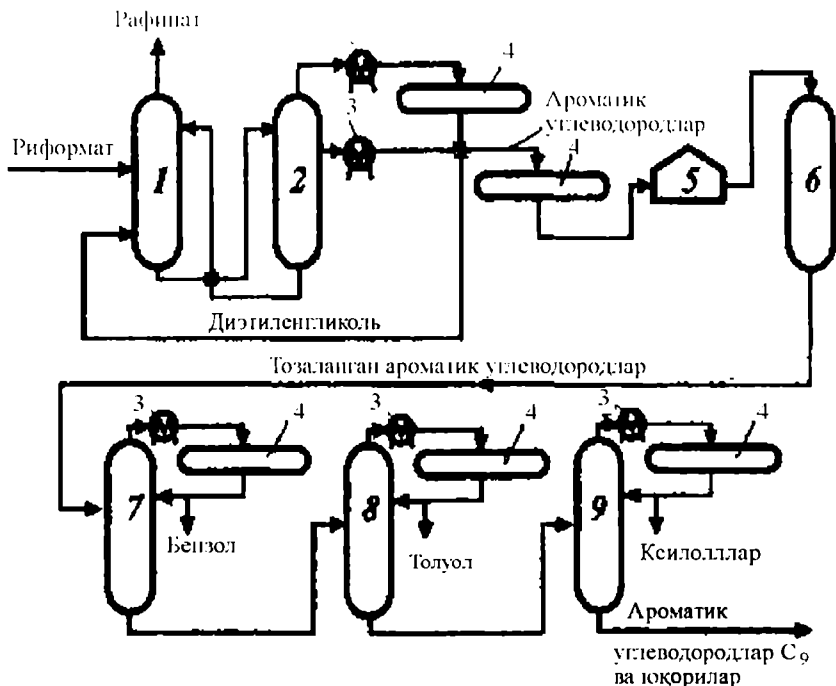
- автомобил бензини олиш;
- ароматик углеводородлар олиш (бензол, толуол, этилбензол, ксилол изомерлари).

Биринчи вариант амалга оширилишида бензин кўшимча равишда стабиллаштирилади, бунда газлар – пропан ва бутан чиқариб ташланади. Ушбу мақсад учун кўпроқ диэтиленгликоль, триэтиленгликоль ва сульфолан қўлланилади. Сўнгги вақтларда юқори концентрацияли ароматик углеводородлар олиш имконини берувчи ва юқори танлаш хусусиятига эга бўлган N-метилпирролидол ишлатила бошлади.

Ароматик углеводородларни экстракция қилиш схемаси 3.4-расмда келтирилган.

Эритувчидан ажратилган катализатнинг ноароматик қисми *p*-ф и н а т деб аталади, нормал ва изотузилишли парафин углеводородлари аралашмасидан иборат бўлади: изопарафинлар – 51,7 %, *n*-парафинлар – 36,5 %, нафтенлар – 10,7 %, ароматик углеводородлар – 1,1 %. Рафинат олефинлар ишлаб чиқаришда пиролиз хом ашёси ёки халқ хўжалигининг турли жабҳаларида қўлланилувчи эритувчилар сифатида қўлланилади.

Ароматик углеводородлар аралашмаси ректификация орқали товар ҳолдаги бензол, толуол, этилбензол ва ксилолга ажратилади. *m*-ва *p*- ксилол изомерларини ректификация билан ажратиб бўлмайди, шу боис уларнинг қотиш температуралари орасидаги катта фарқдан фойдаланган ҳолда (тегишлича минус 47,9°C ва плюс 13,3°C) паст температурали кристалланиш ишлатилади. Кейинги йилларда паст температурали кристалланиш ўрнига цеолитларда десорбцион ажратишдан ҳам фойдаланилмоқда. Саноатда амалга оширилган «Парекс» жараёни (150–180°C ва 0,6–1,0 МПа)да цеолитда *n* ва *m*-ксилолнинг ажратилиш коэффициенти 3,75 ни ташкил этадики, бу *n*-ксилолнинг адсорбцияланган хусусияти юқорилигидан дарак беради. Десорбент сифатида «Парекс» жараёнида диэтилбензол қўлланилади. Десорбциядан кейинги экстракт *n*-ксилол билан десорбент–*n*-диэтилбензол аралашмасидир. ($T_{\text{кайн.}} = 183,6^{\circ}\text{C}$)дан снгил ҳайдалади. Десорбент ёпик контур бўлган десорбция-ҳайдаш-десорбцияда циркуляцияланади.



3.4-расм. Ароматик углеводородлар экстракцияси курилмаси схемаси:

1 – экстракцион колонналар; 2 – эритувчининг буглатиш колоннаси; 3 – совитгичлар; 4 – идишлар (хажмлар); 5 – печь; 6 – адсорбент (лой, тупрок) билан тозаловчи колонна; 7 – бензол колоннаси; 8 – толуол колоннаси; 9 – ксилол колоннаси.

3.2.4. Углеводородлар пиролизи билан олефинлар олиш

Қуйи олефинлар (этилен ва пропилен) нефт кимёси синтезида кўп қўлланиладиган хом ашё маҳсулотларидан ҳисобланади. Булардан этилан кўп тоннажлиси бўлиб, ундан кейин пропилен ва бутиленлар туради.

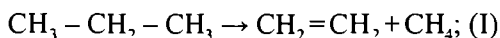
Этилен ишлаб чиқариш йил сайин ўсиб бормокда. Ҳозирги пайтда дунё миқёсида йилига 30 млн. тонна этилен олинмокда. Унинг маълум қисми этилспирти, полиэтилен, стирол, винилхлорид, этиленхлорид ва бошқа маҳсулотлар ишлаб чиқаришга сарфланади. Ватанимиздаги «Шўртан» кимё комплексининг ўзида йили-

га 125 минг тонна полиэтилен олиндиб, халк хўжалигининг турли соҳаларида ишлатилмоқда. 2010 йилларга бориб бу миқдор 150 минг тоннага етказилади. МДХ давлатлари ва бошқа қўшни мамлакатларга қилинаётган экспорт янада кўпайтирилиши кўзда тутилган.

Пропилен ишлаб чиқаришга ҳам аҳамият кучайтирилмоқда. Маълумки, ундан изопропил спирт, акрилонитрил, полипропилен, глицерин, изопропилбензол, н-бутил спирти олинади.

Кейинги йилларда қуйи олфинлар олишнинг асосий жараёни этилен олишга қаратилган бўлиб, углеводородлар ҳам ашёсини пиролиз қилишни кўзда тутди. Айни вақтда этилен билан бирга пропилен, бутиленлар ва бутадиең ҳосил бўлади. Ушбу жараёнда ҳосил бўлувчи суюқ маҳсулотлар (пиролиз смоласи) изопрен, циклопентадиен, бензол, толуол, ксилоллар стирол ва нафталин каби бирикмаларга эғалиғи ҳам амалий аҳамият касб этади.

Пиролиз юқори температура таъсирида углеводородларини тўла парчаловчи жараёнлардан ҳисобланади. Парафин, нафтен ва юқори олефин углеводородлари юқори температураларда термодинамик жихатдан ностабиллиғи маълум. Масалан, бунда парафинлар икки йўналишда углерод атомлари орасидаги C—C боғининг ва C—H боғининг узилиши натижасида қатор тўйинмаган ва тўйинган углеводородларни ҳосил қилади. Буни пропаннинг парчаланишида кўрамыз.



Булардан биринчи (I) реакция термодинамик жихатдан пухтарок ҳисобланади, бунга C—C боғи узилиши энергиясининг C—H боғиникига караганда камроқ эканлиғи сабабдир. Иккала йўналишдаги реакциялар иссиқлик ютилиши ва ҳажмининг ортиши билан амалга ошади. Бунга юқори температура ва паст босим старлидир. Пиролиз жараёнида углеводородларнинг парциал босими ҳам ашёни сув буги билан суюлтириш воситасида пасайтирилади.

Пиролизда ўтувчи иккиламчи реакциялар сони кўплиғи билан характерланади. Бунда парафин занжирлари, нафтенлар халқалари

ва алкилароматик углеводородларнинг алкил гуруҳлари изомеризацияси, олтита ва ундан ортик углеводород атоминга эга олефинлар циклизацияси ва дигидроциклизацияси, дисенлар циклизацияси, олефинлар ва дисенлар полимеризацияси, ароматик углеводородлар конденсацияси амалга ошади. Натижада пиролиз смоласи таркибида кўпгина муҳим бирикмалар ҳосил бўлади. Иккиламчи реакциялар парчаланиш реакцияларига қарши ўларок иссиқлик ажралиши ва ҳажм камайиши билан боради, бунда бироз босим оширилиши ва унча юқори бўлмаган температуранинг кўтарилиши старлидир. Пиролизда зичланиш маҳсулоти бўлган кокс ҳосил бўлишини камайтириш мақсадида жараёнда сув буғи қўшиб ишлатилади.

Ҳозирги вақтда пиролизда ҳам ашё сифатида кўпроқ бензин ёки бензин-рафинатдан ҳам фойдаланилмоқда. Жараёнини ўтказиш шароити ва бензин пиролизи маҳсулотлари чиқиши 3.1-жадвалда келтирилган.

3.1-жадвал

БЕНЗИНЛАРНИ ПИРОЛИЗ ҚИЛИШ ЖАРАЁНИ ШАРОИТЛАРИ ВА МАҲСУЛОТЛАРИ ТАРКИБИ

Кўрсаткич	Бензин	Бензин-рафинат
Ҳом ашё ҳайдалиш интервали, °C	52–163	58–126
Пиролиз температураси, °C	840	830
Сув буғи билан суялтириш, % (мас.)	50	50
Реакциянинг ўтиш вақти, с	0,48	0,6
Чиқиш, % (мас.)		
H_2	1,1	1,0
CH_4	15,4	13,7
C_2H_2	0,4	0,4
C_2H_4	26,3	26,4
C_2H_6	3,8	3,1
C_3H_4	0,6	0,4
C_3H_6	16,1	15,2
C_3H_8	0,5	0,5
C_4H_6	4,6	3,8
C_4H_8	4,6	7,0
C_4H_{10}	—	0,1
Чуқур парчаланиш ва зичланиш маҳсулотлари (пиролиз смоласи), % (мас.)	26,6	28,4

Жадвалдан кўринадики, бу иккала жараён маҳсулотлари таркибн деярли бир бўлиб, уларнинг чиқишида озрок фарк килади. Иккинчи жараёнда метан ва этан камроқ чиқади, бунинг ҳисобпда диснлар чиқиши бироз миқдорда ортади.

Этилен олишнинг кимёвий технологик схемаси (КТС) қуйидаги тизимларни ўз ичига олади:

Углеводородлар пиролизи;

Пиролиз газини компромирлаш;

Оғир углеводородларни чиқариб юбориш;

Пиролиз газини цеолитларда куришти;

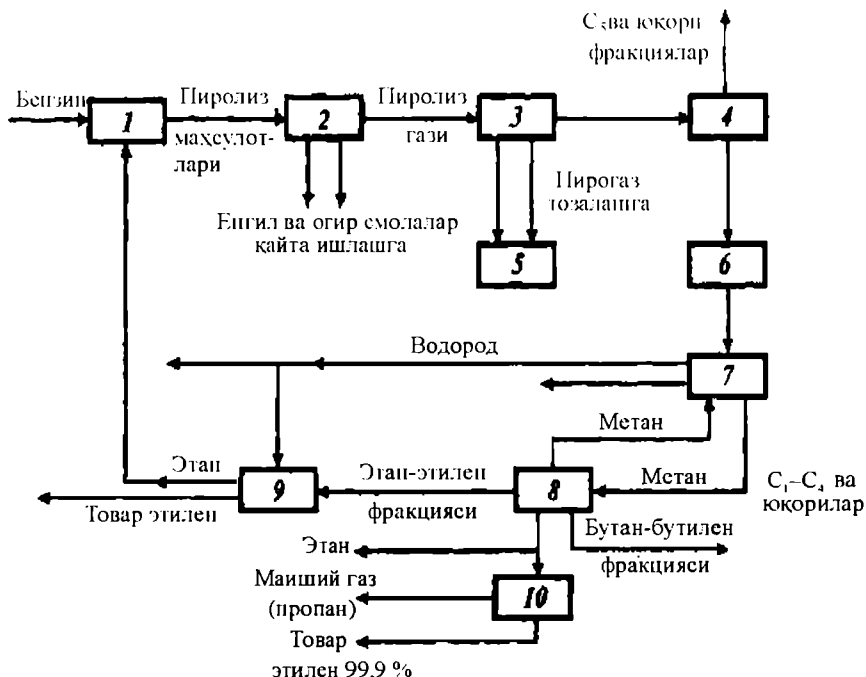
Пиролиз газини ажратиш (фракционлаш); олтингугурт водород, углерод диоксиди ва ацетиленни пиролиз газидан ажратиш.

Бензиндан этилен ва пропилен олишнинг КТС блок-схемаси 3.5-расмда келтирилган. Бунда бензин ва рециркуллауви этан пиролизга киритилади. Пиролиз маҳсулотлари (пиролиз) бирламчи фракционлаштиришга йўналтирилади, бунда енгил ва ва оғир смолалар пиролиз газларидан ажратилади. Пиролиз гази олтингугурт ва углерод диоксидидан тозаланади, бир йўла оғир фракциялар (C_5 ва юқорилар ажратилади). Куририлган пиролиз гази бўлинади. Бунда совутиш йўли билан метан ва водород ажратиб олинади. Этан ва этилен фракцияси селектив гидрирлаш усулидан фойдаланиб, ацетилендан тозаланди, 99,9 % ли концентрацияли этилен ва этанга ажратилади. Этан пиролизга қайтарилади.

Пропан-полилен фракцияси пропилен ва пропан фракцияларига ажратилади. Пропан пиролизга қайтарилади ёки маиший турмушда қўлланиладиган суюлтирилган газга айлантирилади, пропилен эса 99,9 % ли концентрацияда полипропилен ёки бошқа нефт кимёси маҳсулотлари олишга йўналтирилади.

C_4 фракцияси махсус курилмаларга бутилснлар ва бутадиен олиш мақсадида йўналтирилади.

Бензинлар пиролизиди 20–30 % гача суюқ маҳсулотлар (пиролиз смолалари) ҳосил бўлади. Йилига 300 минг тонна этилен (ЭП-300) ишлаб чиқарадиган курилмаларда йилига 250–300 минг тоннага яқин суюқ маҳсулотлар ҳосил бўлади. Шу боис уларни чиқинди сифатида эмас, балки қимматли маҳсулотлар олиш учун комплекс равишда ишлаш кўзда тутилади. Ҳозирги вақтда пиролиз бензол,



3.5-расм. Куйн олефинлар (этилен ва пропилен)ни олиш схемаси:

1 – пиролиз; 2 – бирламчи фракциялаш; 3 – компримирлаш; 4 – оғир углеводородларларни ажратиш; 5 – пирогазин олтингугурт водород ва углерод диоксидидан тозалаш; 6 – қуриштиш; 7 – водородни совутиш ва ажратиш; 8 – пиролиз газини бўлиш; 9 – ацетилендан тозалаш; 10 – метилацетилендан тозалаш, пропан ва пропиленни ажратиш.

кислота, циклопентадисен, циклопентен, изоппрен, стирол, нафталин, нефтполимер смоласи олишнинг асосий манбаларидан бири сифатида қаралади. Булар билан бир қаторда техник углерод, эритувчилар ва бошқа баъзи моддалар ҳам шу йўлда ҳосил қилинади. Россияда ишлаб чиқарилувчи бензолнинг 20 % пиролиз смоласидан олинмоқда. Бу йўлда олинувчи бензол таннархи ҳам 20–30 % арзонлашди.

Пиролиз смоласининг ёнгил қисмидан 6–7 % бензол, 4–5 % толуол, 2 % гача толуол, 1 % атрофида стирол ҳосил бўлади (ҳом ашё микдоридан).

Пиролиз смоласи энгил фракцияси (қайнаш температураси 70°C) дан паст бўлган 30 % циклопентадиен ва 10 % изопренга эга бўлади. Оғир смола (қайнаш температураси 190°C) юкори бўлган ўз таркибида нафталин ва конденсирланган ароматик углеводородлар саклайди. Пиролиз смоласи фракцияларга ажратилгач, уларнинг ҳар бири қайта ишлашга берилади. 70°C гача бўлган фракциядан изопрен билан циклопентадиен ажратилади, 70–130°C ли фракция гидрирланади. Сўнгра ундан бензол ажратиб олинади (шу жумладан, толуолни гидроалкиллашдан ҳосил бўлувчиси ҳам). 130–190°C ли фракциядан ксилоллар билан сольвинит ажратилади. Ушбу фракциядан лакли копламалар учун ишлатилувчи рангсиз полимер смолаларини ажратиб олиш мумкин бўлади.

Этилен ишлаб чиқаришнинг самаралилиги пиролиз қурилмасига боғлиқ бўлади, бунда асосий жараёнлар сифатида пирогаз пиролизи ва уни совитиш қаралади. Иссиқлик харажатларига ҳом ашёни ва сувни оддий температурадан қайнагунча, буғ-газ аралашмасини пиролиз температурасигача ва углеводородларни эндотермик парчалашгача иситиш энергияси киради. Углеводородларни парчалаш реакцияси иссиқлик эффекти 1000–2500 кЖ/кг га етади, бунда таркиб ва парчаланиш сифати ҳам ҳисобга олинади. Пиролиз жараёни учун бўладиган иссиқлик сарфи ҳаммаси бўлиб 3800–6300 кЖ/кг ни ташкил этади.

Пиролиз жараёнида парчаланиш реакцияси учун сарфланган иссиқликни компенсацияловчи иссиқлик фойдали ҳисобланади. Шу боис жараён фойдали иш коэффиценти (ФИК)ни қуйидагича ифодалаймиз (η):

$$\eta = \frac{Q_n}{Q} = \frac{Q_n}{(Q_n + Q_x + Q_u)}$$

бу ерда: Q – жараёнга берилган иссиқликнинг умумий миқдори; Q_n – углеводородларнинг парчаланиш иссиқлиги; Q_x – ҳом ашёни иситишга кетган иссиқлик; Q_u – сувни иситиш, буғлатиш ва сув буғини ўта иситишга кетган иссиқлик.

Q нинг қиймати ҳом ашё хили, температура ва буғ билан суюлтиришга боғлиқ бўлади.

Пиролиз температураси ошуви ва суюлтирувчи буғ микдори кўпайиши билан иссиқлик солиштира сарфи ҳам юкорилашади. Бу жараён иссиқлик фойдали иш коэффициентининг пасайишига олиб келади, бунин 3.2-жадвал маълумотларидан кўрса бўлади.

3.2-жадвал

БЕНЗИН ПИРОЛИЗИ ЖАРАЁНИ ИССИҚЛИК ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Пиролиз температураси, °С	η нинг буғ билан суюлтирилган қиймати, % [мас. %]			
	20	40	60	80
750	30,0	25,0	22,0	19,0
800	28,0	24,0	21,0	18,5
850	27,0	23,0	20,0	17,0

Пиролиз жараёнининг иссиқлик эффективлиги пирогазнинг трубкали печдан кейинги иссиқлиги (регенерация)ни ишлатишга боғлиқ бўлади. Мазкур ҳолатда пирогаз иссиқлиги қурилманинг иккиламчи энергетик ресурси ҳисобланади. Пиролиз қурилмасининг эффективлигига назар ташлайлик. Умумий ҳолда қурилма фойдали иш коэффициенти ($\eta_{\text{кур.}}$) қуйидагича кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$\eta_{\text{кур.}} = \frac{(Q_{\text{п}} + Q_{\text{рег}})}{Q_{\text{умум.}}},$$

бу ерда, $Q_{\text{рег}}$ – регенерация иссиқлиги, $Q_{\text{умум.}}$ – умумий иссиқлик, $Q_{\text{умумий}}$ қиймати қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$Q_{\text{умум}} = BQ_{\text{к}} + \Delta h_{\text{х}} G_{\text{х}} + \Delta h_{\text{сб}} G_{\text{вп}} + \Delta h_{\text{сб}} G_{\text{сб}} + \Delta h_{\text{м.с.}} G_{\text{м.с.}} + Q_{\text{з.з.}},$$

бу ерда $Q_{\text{к}}$ – ёкилгининг қуйи ёниш иссиқлиги; B – пиролиз печидаги иссиқлик сарфи; Δh – энтальпиялар фарқи; G – тегишлича компонентлар сарфи; тенгламадаги $\Delta h_{\text{х}} G_{\text{х}}$, $\Delta h_{\text{сб}} G_{\text{сб}}$, $\Delta h_{\text{м.с.}} G_{\text{м.с.}}$, $\Delta h_{\text{б.к.}} G_{\text{б.к.}}$ лар тегишлича хом ашё, суюлтирувчи сув буғи, мустаҳкамловчи сув, буғнинг буғлантириш колоннаси ва бошқа аппаратларга узатиловчи иссиқлик микдори; $Q_{\text{з.з.}}$ – иссиқликка айлан-тирилган электрлитик энергия сарфи бўлиб, насослар, газ ҳайдаш ускунаси ва компрессорлар томонидан узатилган технологик оқимларникидир.

Оддий пиролиз қурилмасининг иссиқлик оқимлари ва икти-соддилигини аниқлаймиз. Бензин пиролизи буғ ва температура

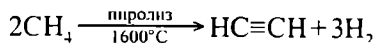
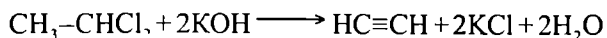
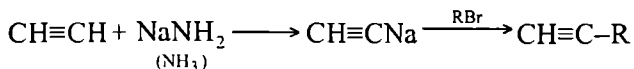
850°C (печнинг эмсвикидан чиқишда)да ўтказилади. Буг газ аравашмасини иситиш ва углеводородларни термик парчалаш учун 4810 кЖ/кг хом ашё зарур бўлади. Ёкилгп сифатида газ ажратиш курилмасидан чикувчи $Q_{ii}=49700$ кЖ/кг метанводородли ёкилгп, ташқарига чиқиб кетувчи тутунли газлар температураси $t=400^{\circ}\text{C}$ ва печда нурланишга 5 % атрофида йўқолиш (ёкилгининг иссиқлик сифимига қараб)ни қабул қиламиз. Печнинг фойдали иш коэффициенти тенг бўлади:

$$\eta = \frac{Q_k + q_x + q_e - (q_{ii,и.} + q_{нурл.})}{Q_{ушум.}} = 0,75,$$

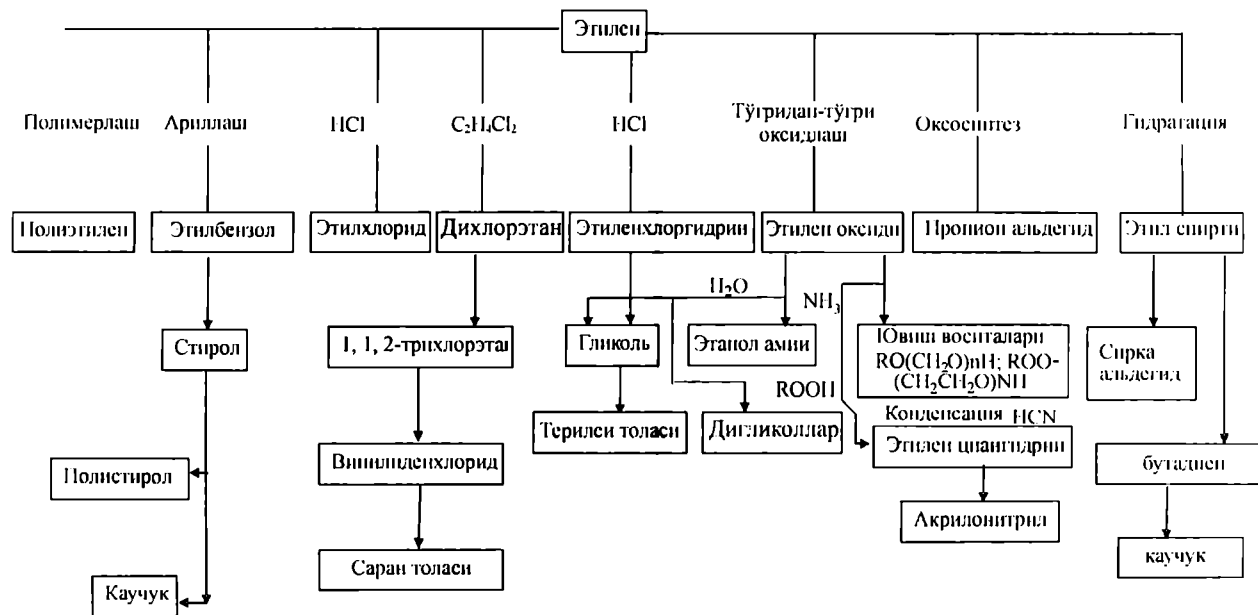
бу ерда, q_x ва q_e – печга ҳаво ва ёкилгп билан олиб кирилган иссиқлик; $q_{ii,и.}$ – ташқарига чиқиб кетувчи газлар билан йўқолувчи иссиқлик; $q_{нурл.}$ – нурланиш билан йўқолувчи иссиқлик.

Печь учун топилган фойдали иш коэффициентининг қиймати учун ҳар бир кг учун $B=0,128$ кг ёкилгп зарур бўлади. Пиролиз курилмаларининг фойдали иш коэффициентини $\eta_{пир.}$ нинг амалий қиймати 14–40 % атрофидадир. Иссиқликни регенерация қилиш курилма фойдали иш коэффициентини $\eta_{кур.} = 25 \div 70$ % гача етказишга имкон беради, бунда хом ашё тури ва иккиламчи энергоресурслардан фойдаланиш даражаси ҳам муҳим рол ўйнайди.

Мамлакатимизда ацетилен ҳам ишлаб чиқарилади. У Навоий кимё корхонасида табиий газ бўлган метандан олинади. Бундан ташқари ацетилен олишда алкиллаш, галоген ёки галогенводородларни тортиб олиш ва юқорида айтилган пиролиз жараёнларидан фойдаланиб, табиий хом ашёдан юқори температурада олинади:



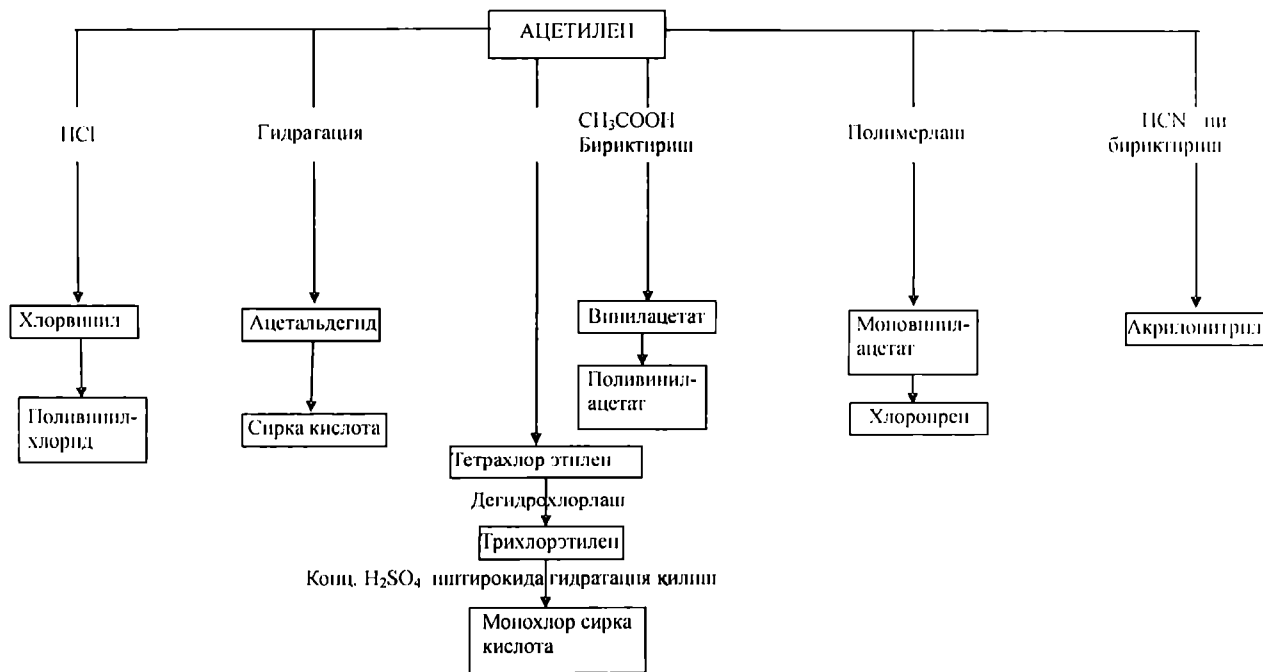
Тўйинмаган углеводородларни қайта ишлаш орқали ўнлаб хил турли маҳсулотлар олинади. Буни чизмалардаги схемаларга қараб билиб олиш мумкин.



3.6-чизма. Этиленни қайта ишлашнинг асосий йўналишлари.



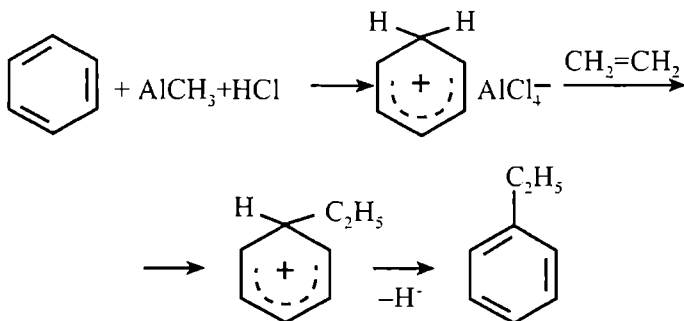
3.7-чизма. Пропиленин қайта ишлашнинг асосий йўналишлари.



3.8-чизма. Ацетилсн асосидаги синтезлар.

3.2.5. Этилбензол ва диэтилбензол ишлаб чиқариш

Этилбензол $C_6H_5C_2H_5$ саноатда асосан стирол синтезида ҳам ашё сифатида қўлланилади. Этилбензолнинг катта қисми бензолни этилсн билан алкиллаб олинади ва бир мунча кам микдордаги қисмини бензин реформингн маҳсулотларидан ўта аниқ ректификация орқали ажратиб олинади.



Алкиллаш реакцияси газ фазада ҳам, суюқ фазада ҳам ўтказилиши мумкин. Ҳозирги вақтда алюминит хлориди катализатор сифатида қўлланилувчи суюқ фазали жараён кенгрок қўлланилади. Катализаторни алюминий хлоридни бензолда алоҳида эритиб водород хлориди ёки хлорэтил (промоторлар) қўшган ҳолда тайёрланади. Ҳосил бўлган катализатор комплекси этилсн билан бирикади.

Катализатор комплекси алоҳида аппаратда тайёрланади ва даврий суратда алкиллаш реакторига кириб турилади. Алкиллашда қўшимча реакциялар ҳам амалга ошади (крекинг, полимерланиш). Булар орасида полиалкилланган ароматик углеводородларининг ҳосил бўлиши аҳамиятлидир. Ҳосил бўлувчи маҳсулотлар орасида моно-, ди-, три-, тетра- ва ундан юкори алкилланган этилбензоллар аралашмасини кўрамыз. Ҳом ашё оқимидаги бензол билан этилсннинг оптимал нисбатини танлаб моноэтилбензолнинг максимал чиқишига эришиш мумкин, аммо полиэтилбензоллар ҳосил бўлишининг тўла равишда олдини олиш иложи бўлмайди.

Алкиллаш реакцияси қайтардир, шу боис ҳам полиалкилбензоллар алюминий хлорид таъсирида бензол билан бирикиб, этилбензол ҳосил қилади.



Ушбу қайта алкиллаш реакцияси ҳамма этилен ва бензолнинг реакторда этилбензолга айланишини таъминлайди.

Алкилбензолларнинг мувозанатдаги миқдорлари 3.3-жадвалда келтирилган.

3.3-жадвал

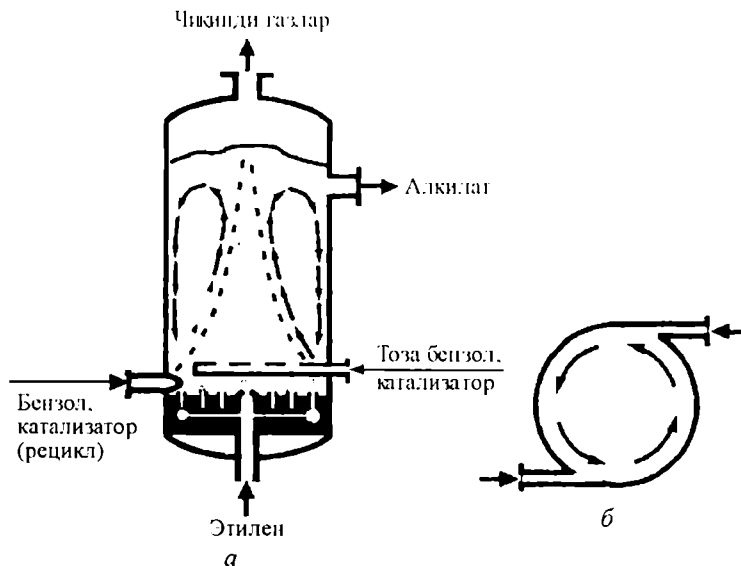
**БЕНЗОЛНИ ЭТИЛЕН БИЛАН АЛКИЛЛАШ ЖАРАЁНИДАГИ
РЕАКЦИОН МАССАНИНГ ТЕРМОДИНАМИК МУВОЗАНАТ ТАРКИБИ**

C ₂ H ₄ :C ₆ H ₆ моль нис- батда	Алкилатдаги миқдор, % (мас.)				
	бензол	этилбензол	диэтилбен- зол	триэтил- бензол	тетраэтил- бензол
0,2 : 1	75,6	22,9	1,5	0,02	
0,4 : 1	56,0	38,0	5,7	0,20	–
0,6 : 1	40,6	46,8	11,9	0,72	0,02
0,8 : 1	28,6	50,1	19,4	1,77	0,09
1,0 : 1	19,6	49,3	27,3	3,57	0,25

Алкиллаш ва қайта алкиллаш жараёнларига катализатор концентрацияси (алюминий хлориднинг), промотор концентрацияси (HCl), температура, контакт вақти, босим, этилен ва бензол нисбати каби омиллар таъсир этиши ўрганилган.

Саноатда ишлаб турган технологик схемалар бир-бирларидан унчалик катта фарқ қилмайди. Уларнинг бири 3.9-расмда келтирилган. Схемада реакция узели (1, 2 аппаратлар), ректификация орқали маҳсулотни ажратиб олиш (7 колонналар), катализатор тайёрлаш (6) ва ишлатилганини нейтраллаш (3), чиқариб юборилаётган газларни тозалаш (4, 5) кабиларга аҳамият бериш керак бўлади.

Бензолни этилен билан алкиллаш жараёни колонна хилидаги барботаж режимида ишловчи реакторда олиб борилади. Бир вақтнинг ўзида алкиллаш билан биргаликда полиэтилбензолларни қайта алкиллаш ҳам амалга ошади. Реакторга бензол, полиэтилбензоллар, тоза ва рециркулланувчи катализатор комплекси, газ ҳолдаги олефин киритилади. Реакция иссиқлиги реактордаги бензолнинг буғланиши ва унинг буғларни конденсациялаш ҳамда рециркуляция

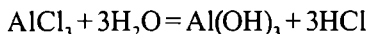


3.10-расм. Бензолни этилен билан алкиллаш реактори:
а – умумий кўриниши; б – рециркуланувчи оқимни киритиш схемаси.

оқими ўртасига киритилади. Бунда тез диспергиланиш ва реагентлар контактига эришилади. Рсциркуляцияланувчи бензол ва катализатор комплекси корпус ёни бўйлаб ёнлама чизикда киритилади (3.10, б-расмда). Тоза аликлат реактор юқори қисмидан олинади, катализатор ва реакцион зонага қайтарилади.

Реактордаги контакт вақти берилган температурада энг сскин жараён – қайта алкиллаш тезлиги билан аникланади. 130°C да у 60 минутга тенг бўлади. Мазкур шароитда этиленнинг тўла конверсияланишига эришилади ва реакцион аралашманинг мувозанатдаги таркибига эришилади, бу ўз навбатида олсфин: бензол нисбатининг дастлабки ҳолатига боғлиқ бўлади. Одатда олсфин: бензол = $1(2\div 3)$ нисбатининг (моль) шу микдоридан фойдаланилади. Бунда рсакцион масса таркиби [% (мас.)] қуйидагича бўлади: бензол-45-56 %; этилбензол 36–41; полиалкилбензоллар 8–12. Бир тонна этилбензол учун сарфланадиган бензол микдори 0,8 т, этиленники 0,26 т, алюминий хлоридники 4–6 кг ни ташкил этади. Реакцион ҳажм бирлигидан олинувчи этилбензол микдори $200 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{соат})$ га этади.

Катализатор комплекси рециркуляциясида оғир углеводородлар ва смолалар йиғилиши туфайли унинг фаоллиги пасаяди. Бу нафақат этилбензол чиқишини пасайтиради, балки катализатор AlCl_3 нинг сарфини ҳам оширади. Натижада курилмадаги катта микдордаги катализатор комплексини чиқаришга тўғри келади. Системадан чиқарилаётган катализатор комплекси сув билан парчаланади:

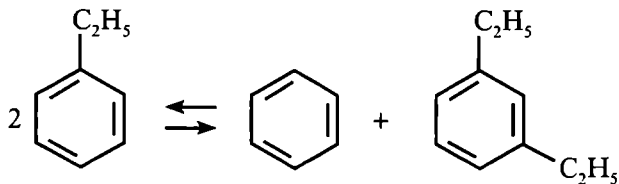


Катализатор комплексининг сув билан иншлангандан кейин ҳосил бўлган углеводород қавати катализатор комплексининг сув билан ишлангандан кейин ҳосил бўлган углеводород қавати нордон алкилат билан аралаштирилади ва маҳсулотларни ажратишга йўналтирилади, сувли қават эса системадан чиқариб ташланади.

Реакция маҳсулотларини ифодаланган усул билан ишлаш катта микдордаги оқава сувлар йиғилишига олиб келади (1 т этилбензолга 10–12 м³). Бундан ташқари ҳосил бўлган водород хлорид ускуна ва трубаларни занглатади ҳамда қимматбаҳо қотишмалардан фойдаланишни тақозо этади.

Алкилат уч колоннали ректификацион агрегатда бўлинади. Бензолни ҳайдашга мўлжалланган биринчи колонна 20 га яқин тарелкага эга бўлиб, атмосфера босимида ишлайди. Иккинчи колоннада (60 та тарелкага) концентрацияланган этилбензол (99,8 %) олинади. Учинчи колонна полиаклибензолларни смоладан ажратишга хизмат қилади, у 40–50 тарелкага эга бўлиб, 5,3 кПа (40 мм симоб устуни) га тенг босимда ишлайди.

Диэтилбензол $\text{C}_6\text{H}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ этилбензолни диспропорциялаб олинади:



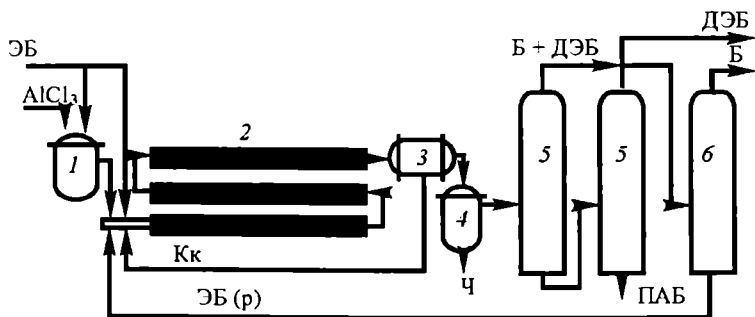
Диэтилбензолдаги метил гуруҳи ҳолати қавс кўрсатилганлиги о-, м- ва п-диэтилбензол изомерларининг 400 К даги 0,28 : 0,51 : 0,21 нисбатида мувозанатдаги аралашмасидан иборат эканлигидир.

Дистилбензолнинг мувозанатдаги айланishi 0,37 ни ташкил этади. Полиалбензоллар ҳам ҳосил бўлади.

Жараён ўзида икки асосий система реакцион узел ва бўлиш системаларини мужассамлаштирган бўлиб, 3.11-расмда келтирилган.

Катализатор комплекси бензолни алкиллаш комплекси сингари бўлиб, унга тсгишли камчиликлар реакцион муҳит билан қаватланади ва алкилбензолар билан дезактивацияланади. Шу сабабли унинг реакторда узок муддат туриши ва камрок аралашуви жараён интенсивлигини камайтиради ва маҳсулот сифатини пасайтиради. Аралаштириш реакторида 50 минут бўлиш талаб этилади. Бунда бир қисм реакцион аралашма вақтнинг бўлиниши ҳисобидан кўпроқ вақт туриб қолади. Бензолнинг тўхтовсиз буғланиши амалга ошади. Булар **полиалкилларнинг** кўпроқ миқдорда ҳосил бўлишига олиб келади.

Мувозанат амалда 8–12 минут давомида вужудга келиши мумкин (температура ва катализатор концентрациясига қараб туриб). Бунини трубкасимон реакторда идеал сиқиб чиқариш режимида амалга ошириш мумкин. Унда оқим бир мунча секин бўлганлигидан (реактор узунлиги 12–15 м бўлганда 1 см/с яқин) оқим қаватларга ажралади – буғ фазаси ва иккита суюқлик ҳосил бўлади. Махсус



3.11-расм. Этилбензолни диспропорциялаб дистилбензол синтези схемаси: 1 – катализатор тайёрлаш реактори; 2 – трубкасимон реактор; 3 – тиндиргич; 4 – катализат ювиш узели; 5 – ректификацион колонналар; 6 – бензолни қуритиш ва ажратиш колоннаси; Оқимлар: ЭБ – этилбензол; ДЭБ – дистилбензол; Б – бензол; ЭБ(р) – рециркуляцион этилбензол; К – катализатор; Кк – катализатор комплекси (рецикл); Ч – чиқинди; ПАБ – полиалкилбензоллар.

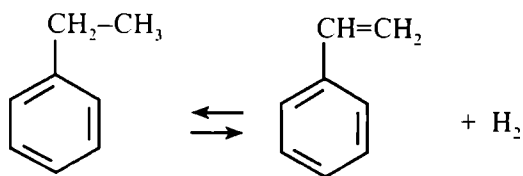
тайёрланган вставка-аралаштиргичлар (2.76, *е*-расмдаги сингари) каватланиш олдиди олади ва реакторлар яхши аралашган буг-суюклик оқими ҳаракатланади. Бу йўл билан полиалкилбензолларнинг кўп ҳосил бўлишига йўл қўйилмайди ҳамда диэтилбензол чиқиши 6–7 % га ошади. Катализатор комплексининг дезактивланишини камайтириш мақсадида (ажратиш системасининг) биринчи колоннанинг куб бензоллар суюқлиги реакторга полиалкилбензоллар миқдори 12–14 % дан ошмаган ҳолда қайтарилади.

Аниқ ҳисобланган бензол ректификацион колоннаси бироз такомиллаштирилганда яна бир муҳим маҳсулот – юқори тозалikka эга бўлган бензолни олишга имкон беради.

3.2.6. Стирол ишлаб чиқариш

Стирол $C_6H_5CH=CH_2$ – муҳим маҳсулотлардан бири, полимерлар (полистирол, синтетик каучук) ва сополимерлар (акрилонитрил ва бутадиен асосида олинувчи зарбабардош полистирол) ҳам ашёси ҳисобланади. Стирол ишлаб чиқариш саноати йирик тоннажли, ҳозирги замон агрегатларининг бирламчи қуввати йилига 150–300 минг тонна стиролни ташкил этади. Ҳозирги вақтда стирол олишнинг асосий усули этилбензолни дегидрирлаш ҳисобланади. Кесажакда истиқболли йўллардан бири уни пиролиз смоласининг C_8 фракциясидан олиш йўлига умид қилинади.

Этилбензолни стиролгача дегидрирлаш қуйидаги реакцияга асосланади:



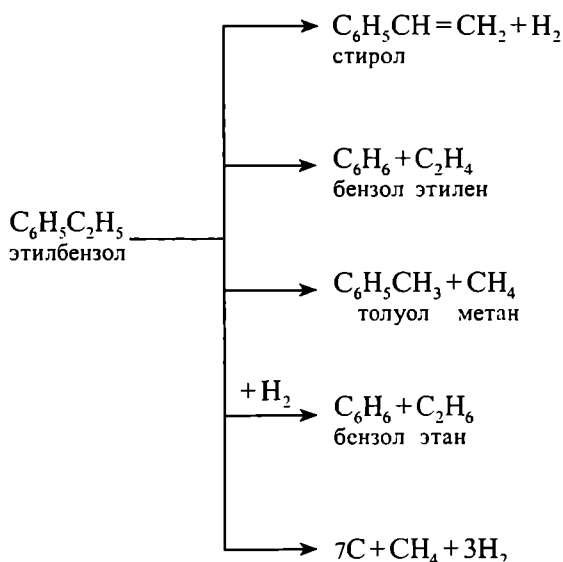
Реакция эндотермик бўлиб ҳажм ўсиш билан боради. Тегшишлича температура ўсиш ва углеводород парциал босими пасайиш билан этилбензолнинг стиролга айланиш даражаси ортади. 0,1 МПа босимда бу боғлиқлик қуйидагича бўлади:

Дегидрирлаш температураси, К	700	800	900	1000
Айланишнинг мувозанатдаги айланиши	0,055	0,21	0,53	0,83

Айланиш юкорирок бўлишини таъминлаш мақсадида ҳам ашё сув буғи билан суюлтирилади, бу реакцияга киришаётган аралашманинг босимини камайтиришга эквивалентдир. Масалан, 900 К да этилбензолнинг стиролгача дегидрирланишининг мувозанат даражаси сув буғи билан суюлтиришда қуйидагича ўсади:

$\text{H}_2\text{O}:\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$ моль нисбати	0	5	10	20
Дегидрирлашнинг мувозанатдаги даражаси	0,53	0,74	0,85	0,90

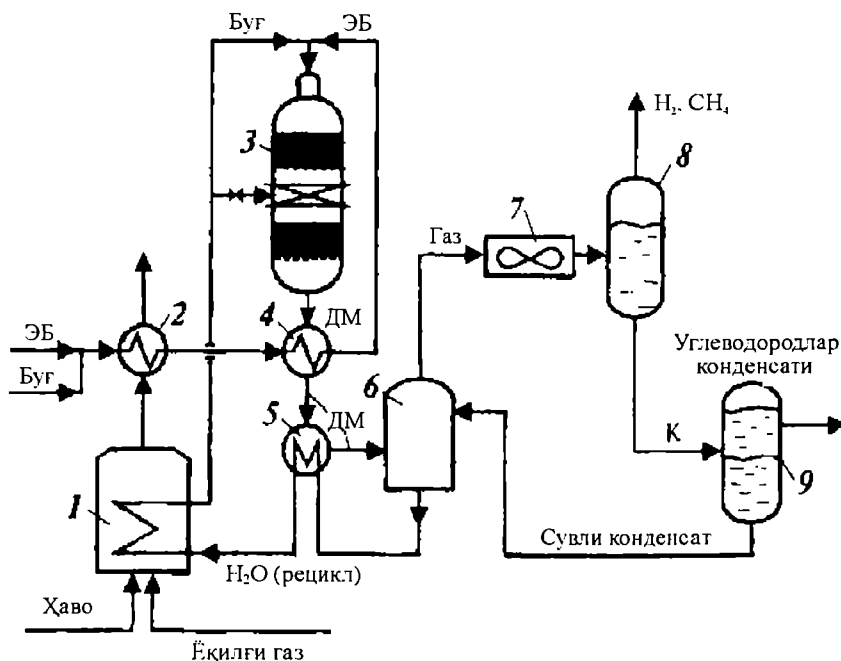
Саноатда сув буғи билан суюлтиришнинг буғ:газ=(15÷20):1 га тенг нисбати қўлланилади ва реакция 830–900 К атрофидаги температурада ўтказилади. Катализаторлар темир оксиди асосида К ва Сг қўшган ҳолда тайёрлайди. Ушбу катализаторларда қўшимча реакциялар ҳам амалга ошади:



Стирол бўйича чиқиш 98 % га етади. Катализаторда парчала-
нишдан ташқари углерод копланиши тузатилади. Суюлтириш учун
берадиган сув буғи, нафакат мувозанатни сўради, балки катали-
затор юзасида йиғилувчи углерод копламалари хор регснерация
(тоза)ланиб туради, шу боис у 1,5–2 йил давомида ишлаб туради.

3.12-расмда этилбензолни дегидрирлашнинг технологик схема-
си келтирилган.

Тоза этилбензол ректификацион аппаратдан чикувчи рециклан-
ган этилбензол ва сув буғи билан аралаштирилади ва иссиқлик
алмаштиргич 2 да буғлатилади. Булар иссиқлик алмаштиргич 4 да
500–520°C гача қайта иситилади. Буғлатгич 2 ташландик газлар би-



3.12-расм. Этилбензолни стиролга дегидрирлаш схемаси:

1–буғ иситиш печи; 2–этилбензол буглатгичи; 3–дегидрирлаш реактори;
4–этилбензол иситгичи; 5–сув иситгич; 6–кўпик аппарати; 7–хаво совитгич;
8–сепаратор; 9–фазалар ажратгич; Оқимлар: ЭБ–этилбензол (янги ва рецикл);
 H_2 , CH_4 –ёнувчи газлар ёқилғи шахобчасигача; ТГ–тутун газлар; К–конденсат;
ДМ–дегидрирлаш маҳсулотлари.

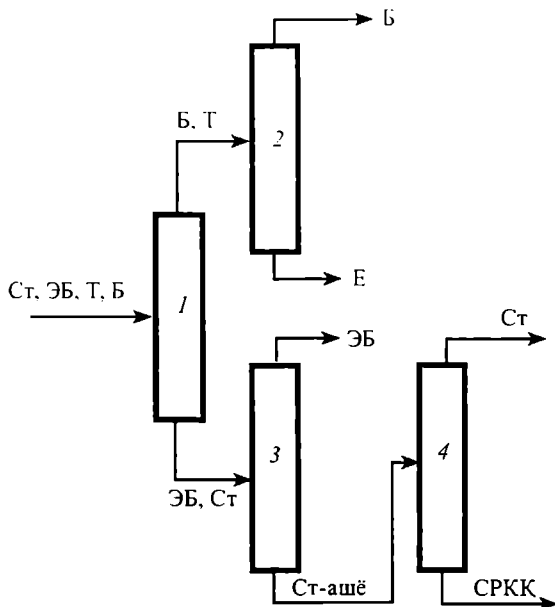
лан атрофлича иситилади, қайта иситгич 4–3 реактордан чикувчи контакт газлари ҳисобига иситилади. Алкилбензол буглари ва сув реактор олдида қайта иситилган 700–730°C температурага эга сув буғи билан аралаштирилади. Катализатор қаватига кирувчи аралашма температураси 600–640°C атрофида бўлиб, чиқишда дегидрирлашдаги эндотермик реакция ҳисобига 50–60°C га пасаяди. Контакт газлар иссиқлик алмаштиргич 4 ва қозон-утилизатор 5 да рекуперланади. Қозон-утилизатордан чикувчи тўйинган сув буғи этилбензолни суюлтириш учун ишлатилади. Контакт газ қўпик аппарат 6 га киради, бу ерда у қўшимча равишда 102°C гача совитилади ва катализатор чангидан тозаланади. Ҳаво совитгич 7 да сув совутилади ва конденсацияланади.

Сепаратор 8 да газсимон маҳсулотлар ВЭР ёқилғилари сифатида ажратилади. Угеводородлар фазалар бўлгич 9 да сувдан ажратилади ва ректификацияга йўналтирилади. Сувли қават кўпик аппарати 6 га тушади ва эриган углеводородлардан тозалангач, котлаутилизатор 5 га ва кейин рециклга берилади. Ортиқча сув биологик тозалашга йўналтирилади.

Углеводородли конденсат реакциянинг қуйидаги маҳсулотларини сақлайди:

	Микдори, %	$T_{\text{қайн.}}$
Бензол (Б)	~2	80,1
Толуол (Т)	~2	110,6
Этилбензол (ЭТ)	38	136,2
Стирол (Ст)	58	146,0

Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш қоидаларига кўра конденсатни ажратиш схемаси тузилган. Мазкур схема 3.13-расмда келтирилган. Этилбензол ва стирол ўзаро яқин қайновчи суюқликлар бўлиб, шу боис аввалига колонна 1 да бензол ва толуол ажратилади. Булар колонна 2 да ажратилади. Этилбензол стиролдан колонна 3 да ажратилади ва дегидрирлаш учун рециклига қайтарилади. Стирол: ректификацион колонна 4 да қўшимча равишда тозаланади. У тез димерлангани боис тозалаш 120°C дан паст ҳавосиз шароитда олиб борилади ва ингибитор сифатида олтингугурт қўшилади. Стирол



3.13-чизма. Стиролни ректификацион ажратиш ва тозалаш схемаси:
Б – бензол; Т – толуол; ЭБ – этилбензол; СРКК – стирол ректификацияси куб колдиклари; 1–4 – ректификацион колонналар.

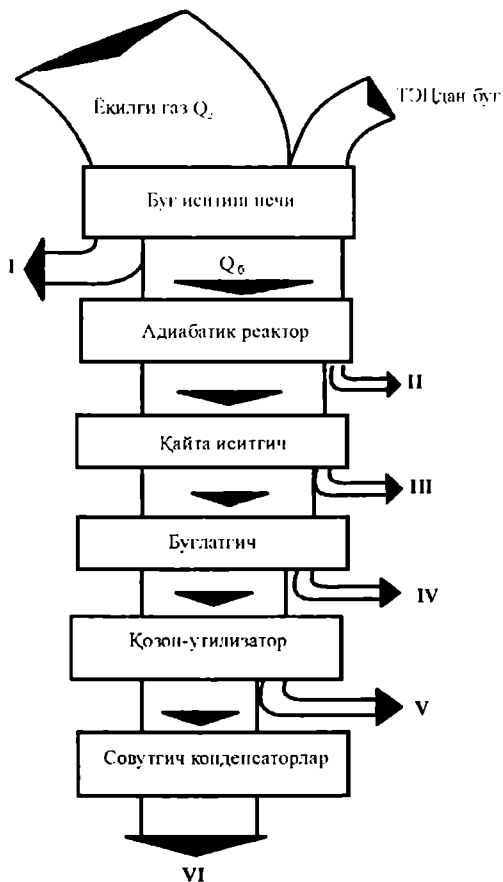
ректификацияси куб колдиклари (СРКК)ни регенерация қилиш мумкин бўлади.

Этилбензолни дегидрирлаш агрегатининг иссиқлик эффективлиги схемаси қуйида келтирилган нисбатдан иссиқликнинг фойдали иш коэффициенти (η_r) ёрдамида баҳоланиши мумкин:

$$\eta_r = \frac{Q_{\text{техн.}}}{(Q_{\text{н}} + Q_{\text{к}})},$$

бу ерда $Q_{\text{техн.}} = Q_{\text{г}} + Q_{\text{а}} + Q_{\text{ку}} + Q_{\text{ув}}$ ($Q_{\text{г}}$ – дегидрирлаш реакциясининг эндотермик эффекти; $Q_{\text{а}}$ – алкилбензол киздирилиш, буғланиш ва қайта иситиш иссиқлиги; $Q_{\text{ку}}$ – козон-утилизаторда контакт газни берган иссиқлик; $Q_{\text{ув}}$ – печдаги сув бугини қайта иситиш иссиқлиги); $Q_{\text{н}}$ – ёқилғи ёқилишидаги иссиқлик; $Q_{\text{к}}$ – тўйинган буғ билан ТЭЦдан келган иссиқлик.

Этилбензолни дегидрирловчи саноат агрегатларида фойдаланиш коэффициенти одатда 28–33 % дан ошмайди. Ўтказилган таҳлиллار исиклик эффе́ктивнинг ястлиги сабабли яст температурани контакт газининг исиклигини рекуперация қилинмаслигини кўрсатди. Этилбензолни дегидрирловчи агрегатдаги исиклик окимининг диаграммасидан кўринадики (3.14-

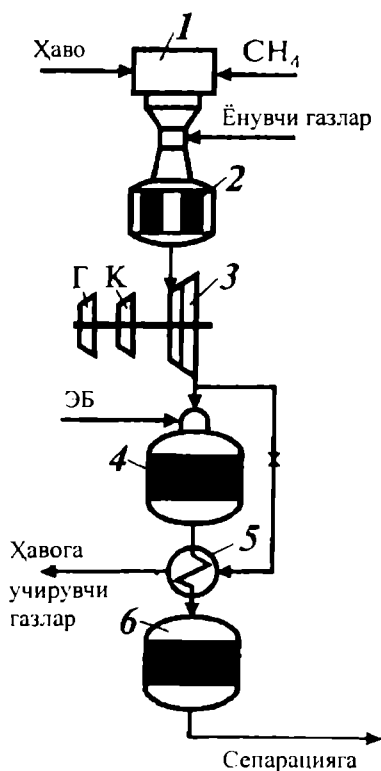


3.14-расм. Этилбензолни дегидрирлаш агрегатидаги исиклик окимларнинг диаграммаси: I – буг иситгич печидаги тутун газларидан йўқолувчи исиклик; II – дегидрирлашдаги эндотермик реакция компенсациялаш; III – этилбензол шихтасини иситиш; IV – этилбензолни буглатиш; V – сув бугини генерирлаш; VI – совутиш хавоси ва хладагент билан атроф-муҳитга йўқолувчи исиклик.

расм), ёнилғи билан кирган иссиқликнинг катта қисми совутгич-конденсатор 7 ва сепаратор 8 ни совутишда атроф-муҳитга чиқиб кетади. Жараён энергетик потенциаллини энерготехнологик системага суюлтиргичларни киритиш билан яхшилаш мумкинлиги аниқланган. Бунда сув буғидан фойдаланиш самара беради. Сув буғи мувозанатни ўнг томон суради ва катализаторнинг узлуксиз регенерацияланиб туришини таъминлайди, сув буғи реакцияда иштирок этмайди. Иссиқлик окимларининг регенерация қилинишига қарамай, буғланиш ва иситиш, совутиш ва конденсациялаш каби жараёнлар саноатда термодинамик қайтмас бўлганлигидан энергетик потенциалдан тўла фойдаланиб бўлмаслиги табиий ҳол ҳисобланади. Жараёнга углерод диоксида (CO_2) ҳам сув каби тасир ўтказиши ўрганилган. Мазкур газ ёқил-

ғи газидан олинади, ёниш маҳсулотлари энергия ташитгичлар ролини бажаради. Бу суюлтириш моддасининг қўшимча хоссаси стирол ишлаб чиқаришнинг энерготехнологик схемасини тузишга имкон беради, унинг асосий қисми 3.15-расмда кўрсатилган.

Табиий газ печь 1 да ёқилади, технологик жараёнда ҳосил бўлувчи ёнувчи газлар эса каталитик реактор-оксидловчи 2 да ёнади. Ҳосил бўлувчи газлар аралашмаси 1050°C ҳарорат билан газ турбинаси 3 га йўналтирилади, бу компрессор приводи ва энергия ишлаб чиқаришга сарфланади.



3.15-расм. Стирол ишлаб чиқаришнинг энерготехнологик схемаси:

1 - ўчок; 2 - реактор-оксидловчи; 3 - газ турбинаси; 4, 6 - десгидриллош реактори; 5 - иссиқлик алмаштиргич; К - компрессор; Г - генератор.

Кейин газлар 750°C ҳароратда этилбензол билан аралаштирилади ва икки рсактордан ташкил топган реакция узелга йўналтирилади (4, 6). Реакцияга киришувчи аралашманинг оралик иситилиши иссиқлик аралаштиргич 5 да иссиқ газлар билан олиб борилади. Ҳосил бўлувчи маҳсулотлар сепарация системасига узатилади. Сепарация системасида иссиқ газлар системанинг энергия узелига қайтарилади, углеводород аралашмаси эса рсктификацияга берилади. Этилбензолни дегидрирлашнинг келтирилган схемаси энергетик фойдали иш коэффицентини деярли икки баравар ошириб беради (70 % атрофига етказди).

3.2.7. Полиолефинлар ва полистирол ишлаб чиқариш

Саноатда ишлаб чиқарилувчи полимер материаллар орасида полиолефинлардан ҳисобланган полиэтилен билан полипропилен катта ўрин тутди. Полиолефинларда механик пишиқлик, кимёвий мустаҳкамлик, диэлектрлик кўрсаткичларининг юқорилиги, газ ва сувни кам ўтказиши, ишловга осон берилиши, нархларининг юқори эмаслиги ва хом ашёнинг мўллиги каби кўрсаткичларнинг мужасамлашуви уларнинг кимё муҳсулотлари ичида биринчи ўринни эгаллашига замин яратганлиги маълум.

Полиолефинлар ишлаб чиқаришнинг айрим вакилларига тўхтатиб ўтамыз.

Полиэтилен $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$ этиленнинг карбозанжирли полимеридир. Полиэтилен молекуляр массаси полимерланиш усули ва режимига боглиқ ҳолда бир неча минглардан миллионларгача бориши мумкин. Полиэтилен кристаллик полимер бўлиб, 20°C да полимернинг кристаллик даражаси олиниш усулига караб туриб 50–90 % атрофида бўлади.

Ҳозирги вақтда саноатда полиэтилен асосан уч усулда олинади:

этилен юқори босимда полимерланади (100–350 МПа). Жараён $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$ ҳароратда инициатор (кислород, органик пероксидлар) иштирокида олиб борилади, бундай маҳсулот юқори босимли полиэтилен (ЮБПЭ) ёки паст зичликка эга полиэтилен (ПЗПЭ) деб номланади.

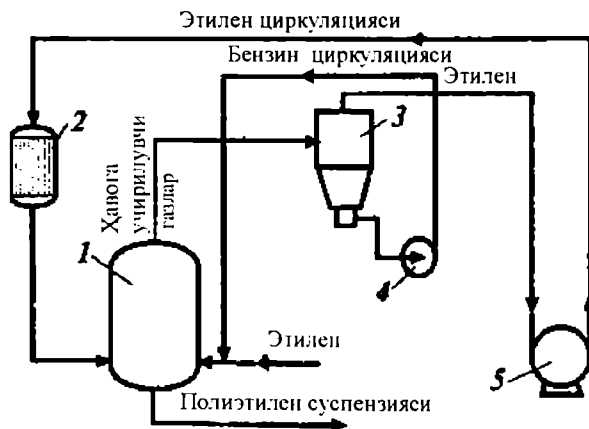
Паст босимда металлорганик катализаторлар иштирокида полимерланувчи этилен (20 МПа дан пастда); бунда полимерланиш 80°C харорат атрофида сиспензияда (органик эритувчи муҳитида) олиб борилади. Бундай маҳсулот паст босимли полиэтилен (ПБПЭ) ёки юкори зичликка эга полиэтилен (ЮЗПЭ) деб номланади.

Этилен 3–4 МПа босим ва 150°C хароратда полимерланади, бунда ўзгарувчан валентликка металллар оксидларидан катализаторлар сифатида фойдаланилади. Бундай усулда олинadиган маҳсулот ўрта босимли полиэтилен (ЎБПЭ) дейилади.

Паст босимли полиэтилен (ПБПЭ). Циглер-Натта катализаторлари иштирокида полипропилсн ишлаб чиқаришга ўхшаш шароитда олинади. Диэтилалюминийхлорид $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ ва титан тетраҳлорид TiCl_4 асосидаги каталитик комплекслар саноат миқёсида кенг тарқалган катализаторлардан ҳисобланади.

Этилен полимеризацияси идиш типидagi реакторда 0,2–0,5 МПа ва $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$ ўтказилади. Бензиндаги катализатор концентрацияси 1 кг/м^3 атрофида бўлиб, этилен конверсияси 98 % га етади, суспензиядаги полимер микдори реактордан чиқишда 100 кг/м^3 ни ташкил этади.

Полимерланиш реакциясидан ажралаётган иссиқликни олиб чиқиш полипропилен ишлаб чиқаришникига қараганда қийинрок



3.16-расм. Этиленнинг паст босимдаги полимерланиш схемаси:

1 – реактор; 2 – совутгич; 3 – циклон; 4 – насос; 5 – газ ҳайдагич.

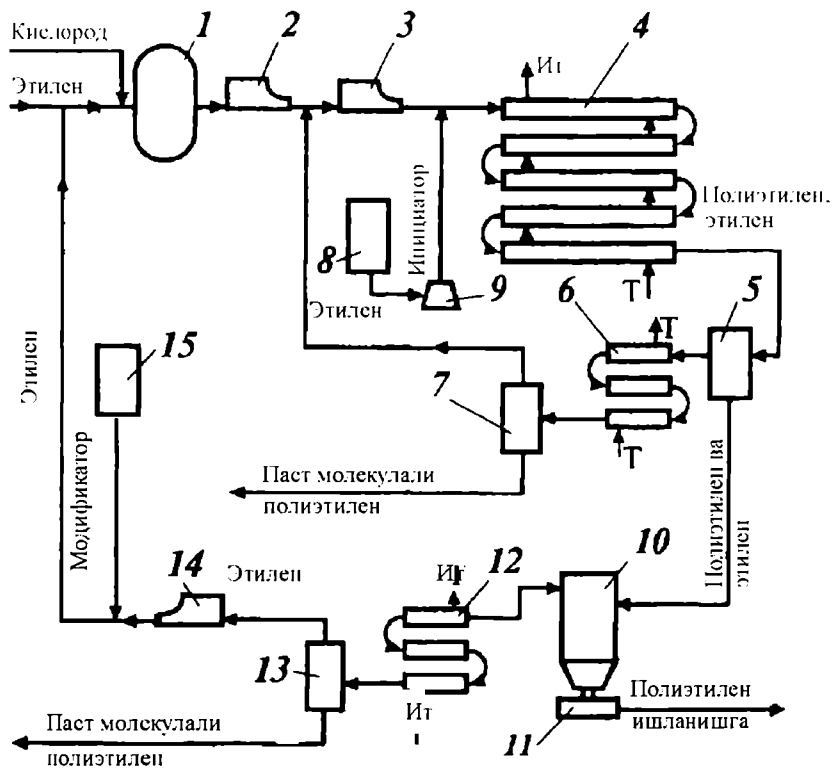
бўлиб, эритувчининг бир қисминини буғлатиш ҳисобига олиб борилган. у конденсация ва совутилгач, яна реакторга қайтарилади. Реакторлар углеводни иўлатдан тайёрланади. Реактор узели схемаси 3.16-расмда келтирилган.

ПБПЭ ишлаб чиқаришдаги кимёвий технологик схема полипропилен олишдаги функционал системаларни ўз ичига олади.

Юқори босимли полиэтилен қайтарилувчи газ ва кислородга қўшилувчи этиленнинг янги порцияси газнинг икки босқичда сиқимини, этилен полимернизацияси, рециклга тушувчи полиэтилен билан реакцияга кирмаган этиленни ажратиш ва махсулотни грануляциялаш каби босқичларни ўз ичига олади. Бўйаш, стабиллаш ва полиэтилен-гранулянтни тўлдириш учун конфекционирлаш босқичига киритилади, бу ерда у қўшимчалар билан курук ҳолда аралаштирилиш, сўнгги эритилиш ва қайта гранулланиш босқичларидан ўтказилади.

3.17-расмда юқори босимда олинувчи полиэтиленнинг технологик схемаси келтирилган. Газ ажратгич қурилмадан 1–2 МПа босимда ва 10–40°C да этилен ресивер 1 га узатилади, бу ерда унга қайтарилувчи паст босимли этилен ва кислород (инициатор сифатида) қўшилади. Аралашма оралик босимида ишловчи компрессор 2 билан 25–30 МПа гача сиқилади, оралик босимдаги қайтарилувчи этилен оқими билан қўшилади, реакция босим компрессори 3 билан 150–300 МПа гача сиқилади ва трубкали реактор 4 га йўналтирилади. Этилен реакторда 200–320°C да полимерланади.

Реакторда ҳосил бўлган эриган ҳолдаги полиэтилен реакцияга киришмаган этилен (этиленнинг полимерга конверсияси 10–30 %) реактордан доимий равишда дроссель клапани орқали чиқариб турилади ва паст босимли ажратгич 10 га киритилади. Оралик босимнинг ажратгич 5 дан чиққан қайтарилган этилен совутиш аппарати 6 ва сепарация 7 дан ўтказилади, бу ерда 30–40°C гача совийди ва паст молекулали полиэтилен ажратилади ҳамда компрессор 3 га тортиш учун узатилади. Паст босим ажратгичи 10 да 0,1–0,5 МПа да ва 200–250°C да полиэтилендан эриган этилен (паст босими қайтарма газ) ажралади, совутиш аппаратлари 12 ва сепарация 13 орқали компрессор 14 га киради ва кейин янги порциядаги этилен билан аралаштирилади. Паст босимнинг ажратгичи 10 даги эриган полиэ-



3.17-расм. Юкори босимда этиленнинг полимерланиш схмаси:

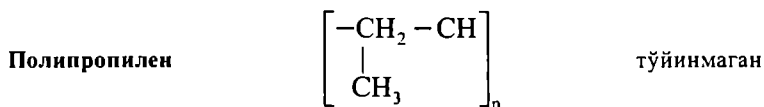
1-ресивер; 2-оралик босим компрессори; 3-реакцион босим компрессори; 4-трубкасимон реактор; 5-оралик босим ажратгичи; 6, 12-совутгичлар; 7, 13-циклонлар; 8-инициатор учун идиш; 9-дозировкаловчи насос; 10 - паст босим ажратгичи; 11-экструдер; 14-рециркуланувчи этилен учун компрессор; 15-модификатор учун идиш; И₁ - иссиқлик ташигич.

этилен экструдер 11 га тушади, ундан гранула кўринишида конфекционрланиш (бўяш ва қўшимча ишланиш)га йўналтирилади.

Этилен ва энергия ресурсларининг сарфи куйида келтирилади:

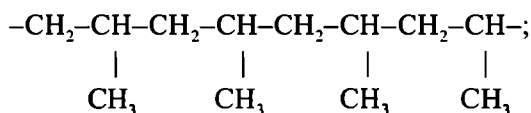
Этилен, кг	1030
Совитувчи сув	160–180
Сув буғи, т	0,65
Электр энергияси, кВт-с	1000–1200

Трубкасимон рсактор-полимеризаторлар саноат микёсида катта унум билан ишлатилади, улар диаметри 50–100 мм «трубадаги труба» типдаги кетма-кет уланган иссиқлик алмаштиргичлардан ташкил топади, трубкасимон реакторда реакцион зона узунлиги 1000–1200 м га боради. Иссиқлик алмаштиргич сифатида 190-200°C хароратдаги иситилган сувдан фойдаланилади:

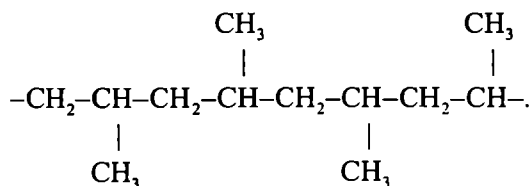


углеводород бўлган пропиленнинг полимерланиш маҳсулотидир. Полипропилен макромолекуласи узлуксиз равишда алмашинувчи иккиламчи ва учламчи углерод атомларидан ташкил топганлиги билан характерланади. Полипропилен макромолекуласи қуйидаги икки конфигурациядан бирига эга бўла олади:

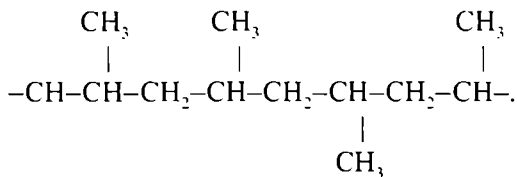
а) изотактик структурада – барча CH_3 гуруҳлари занжир текислигининг бир томонида жойлашган холда



б) синдиотактик структурада – CH_3 группалари занжир текислигининг икки томонида аниқ кетма-кетликда жойлашади



Изотактик ва синдиотактик полимерлар умумий номда **стерео-регуляр полимерлар** номи билан аталадилар. Бундан ташқари полипропилендаги занжирда **стереоблокли** ёки **атактик** структурага эга қисмлар ҳам учрайди, бунда CH_3 гуруҳлари тартибсиз жойлашган бўлади:



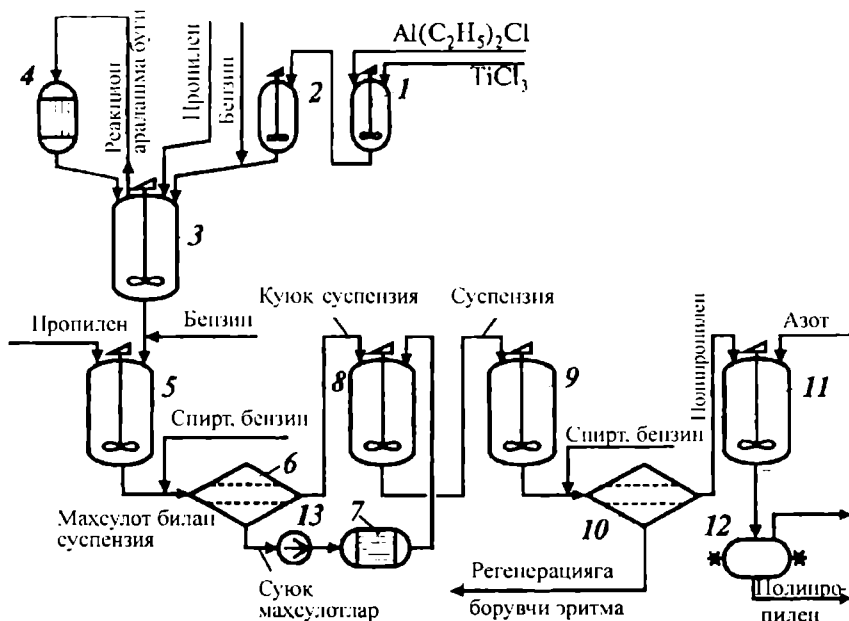
Полипропилен стерсоизомерлари ўзларининг механик, физик ва кимёвий хоссалари билан бир-биридан фаркланади. Саноатда ишлаб чиқарилувчи полипропилен жараён ўтказилаётган шароитлари боғлиқ ҳолда турли структуралн аралашмадан иборат бўлади. Молекуляр массаси 80000-200000 атрофида ва изотактик қисми саноат микёсида ишлатилиши муҳим материал ҳисобланади.

Полимердаги изотактик қисмнинг миқдори полимслраниш учун қўлланилаётган катализаторга боғлиқ бўлади. Пропилен полимеризацияси амалда диэтилалюминий хлорид $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ ва титан уч хлориддан ташкил топган каталитик комплекс иштирокида олиб борилади. Ушбу каталитик системадаги компонентлар нисбати полимслраниш тезлигига ва стереомахсусликка таъсир этади. $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl} : \text{TiCl}_3 = 2:1$ га тенг моль нисбатда катализаторнинг максимал активлиги намоён бўлади, $3:1$ дан юқори нисбатда эса энг юқори стерсо махсуслик сезилади.

Ҳароратнинг кўтарилиши полимерланиш тезлигини оширгани ҳолда молекуляр массанинг пасайишига олиб келади. Полимерланиш одатда $50-100\text{ }^\circ\text{C}$, бунда ҳосил бўлувчи полимер реакцияон муҳитда эримади. Реакцияда эритувчилар сифатида тўйинган углеводородлар, шу жумладан, гексан, гептан, бензин ва бошқалар қўлланилади. Эритувчилар бир вақтнинг ўзида ҳосил бўлувчи полипропилен учун чўктирувчи бўлиб ҳам хизмат килади.

Пропилен полимерланиши иссиқлик ажралиши билан боради, бунда иссиқлик эффекти $58,7\text{ кЖ/моль}$ атрофида бўлади. Иссиқлик сув ёрдамида олиб кетилади. Полипропилен ишлаб чиқарилиши ҳам даврий, ҳам узлуксиз усулда олиб борилади. Иқтисодий жиҳатдан кейинги жараён афзал ҳисобланади.

Полипропилен ишлаб чиқаришнинг кимёвий тсхнологик схемаси 3.18-расмда келтирилган бўлиб, у (диэтилалюминийхлорид ва хлорли титандан ташкил топган катализатор комплексини тайёр-



3.18-расм. Полипропилен ишлаб чиқариш схемаси:

1 – катализатор комплекси аралаштиргичи; 2, 11 – оралик идиш; 3 – полимеризатор; 4 – совитгич; 5, 9 – суспензия йиггичи; 6, 10 – центрифугалар; 7 – иситгич; 8 – катализаторни парчалаш аппарати; 12 – вакуум-хаскашли куритгич.

лаш; пропилен полимеризацияси; реакцияга кирмаган мономерни чиқариб ташлаш; каталитик комплексни парчалаш; полимерни катализатор қолдиқларидан ювиш; полипропиленнинг қуритиш; полипропиленнинг сўнгги ишланиши ва эритувчининг регенерациясини ўз ичига олади).

Катализатор комплексини тайёрлаш $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ нинг бензиндаги 5 %-ли эритмасини қукун ҳолдаги TiCl_3 билан аралаштиргич 1 да аралаштириш билан амалга оширилади.

Катализатор суспензиясн оралик идиш 2 га тушади, унда дозалашиб, полимеризатор 3 га ўтади. Полимеризатор 10 м^3 ҳажмли бўлиб, совутиш воситаси ва совитгич-конденсатор 4 билан жиҳозланади. Аралаштиргичи ишлаб турган полимеризаторга узлуксиз равишда суюқ пропилен катализатор комплекси ва бензин узатиб турилади.

Реакцион аралашма полимеризаторда 70°C ҳарорат ва 0,1 МПа бо-
симда 6 соат давомида туради. Пропилсн конверсия даражаси 98 %
ни ташкил этади. Полимеризаторда реагентлар куйидаги нисбатда
дозировкаланади (масса к.):

Пропилсн	100
Катализатор (AlL_3 $TiCl_3 = 3 : 1$)	9
Бензин	225

Маҳсулот полимеризатордан суспензия сифатида йиғма идиш 5
га туширилади, бунда полимеризатор сатҳи доимий қилиб ушлаб
турилади.

Суюлтирилган суспензия узлуксиз ҳаракатдаги центрифуга 6
да изопропил спиртининг бензиндаги эритмасида ишланади [кон-
центрация 25 % (мас.)]. Бу ерда катализатор компонентларининг
қисман парчаланиши амалга ошади, бу жараён аппарат 8 да суспен-
зияни иситгич 7 да иситилувчи изопропил спиртининг бензиндаги
эритмаси (ФУГАТ)нинг 60°C гача иситилиши орқали охирига етка-
зилади. Полимер суспензияси йиғувчи идиш 9 орқали иккиламчи
ювишга ва сиқиш учун центрифуга 10 га узатилади.

Ювилган полипропилен идиш 11 га ва қайновчи қатламга эга
қуритгич 12 га узатилади, унда 95°C ҳароратда иссиқ азотда бензин
миқдори 0,1 % қолгунигача қурилади. Қурилган полипропи-
лен грануляция ва қадоклашга жўнатилади.

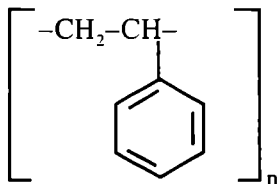
1 т гранулланган полимернинг сарф кўрсаткичлари қуйида кел-
тирилади:

Пропилен, кг	1125
Эритувчи (бензин), кг	25
Изопропил спирти, кг	4
Диэтилалюминийхлорид, кг	2,4
Уч хлорли титан, кг	1,2
Сув буғи, кг	3200
Совитувчи сув, м ³	400
Азот, м ³	70
Электр энергия, кВт-с	500

Полипропилен ишлаб чиқаришда 1 т товар ҳолдаги изотактик
полимерга 8 кг га яқин атактик полипропилен ҳосил бўлади.

Полипропилен ишлаб чиқаришнинг ҳозирги вақтдаги долзарб муаммоси янада актив катализатор яратиб, ундан фойдаланиш ҳисобланади.

Полистирол



тўйинмаган

углеводород ҳисобланмиш стиролнинг полимерланиш маҳсулотидир.

Ишлаб чиқариш ҳажми бўйича полистирол пластиклари полиэтилен ва поливинилхлориддан кейин учинчи ўринда туради. Унинг ишлаб чиқарилиши йилига 10 млн. тоннадан ошади. Полистирол халқ хўжалигининг барча соҳаларида ва яна электр асбоб-ускуналари, радиоаппаратура, мебель, қадоклашда ва уй-рўзғор асбоблари тайёрлашда қўлланилади.

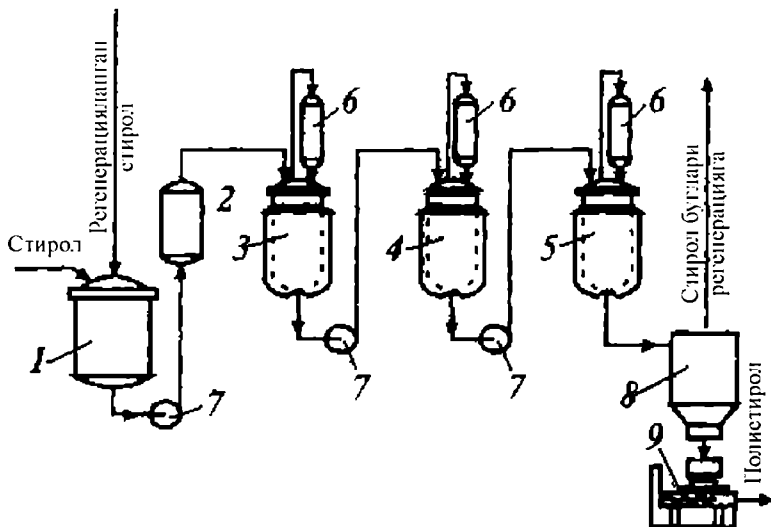
Полистирол юқори диэлектрик кўрсаткичларга эга бўлган термопластик материалдир. У кимёвий мустаҳкам, сувга чидамли ва рангсиз. Лекин унинг паст механик пишиқлиги ва иссиқлиги, унча юқори чидамли эмаслиги маълум. Шунинг учун ҳам полистирол хоссаларини яхшилаш мақсадида модификацияланади. Унинг урилиш ва зарбага қарши хоссаларини яхшилаш, олов ва атмосферага чидамлилигини, тиниқлигини оширишга ҳаракат қилинади. Полистиролнинг сифатини ошириш ва унга керакли комплекс хоссаларини бериш мақсадида турли қўшимчалар қўшиш ва кимёвий модификациялаш ўтказилади.

Янги сифатга эга полистирол пластиклари олинishi уларнинг саноатнинг турли-туман соҳаларида ишлатилиши йўналишларини кенгайтиради, уларга бўлган талабни оширади.

Саноатда стирол полимеризацияси асосан блокда, эмульсия ва суспензияда ўтказилади:

1) мономернинг тўла бўлмаган конверсияси билан стиролнинг блокли полимеризацияси (узлуксиз усул);

2) стиролнинг суспензион полимеризацияси (даврий усул);



3.19-расм. Аралаштирувчи реакторлар каскадидаги стиролнинг блокли полимеризация схемаси: 1 – стирол учун идиш; 2 – иссиқлик алмаштиргичлар; 3–5 – полимеризаторлар (реакторлар); 6 – совитгичлар; 7 – насослар; 8 – вакуум-камера; 9 – грануляторли экструдер.

3) стиролнинг суспензион-блокли полимеризацияси (даврий усул).

Ҳозирги вақтда мономернинг тўла бўлмаган конверсияси орқали стиролнинг блокли полимеризациясининг бир неча варианты қўлланилади. 3.19-расмда стиролнинг тўла бўлмаган конверсияси аралаштирувчи реакторлар каскадидаги полимеризацияси жараёни схемаси келтирилган. Кимёвий-технологик система қуйидаги системачалардан ташкил топади: стирол полимеризацияси; реакцияга кирмай қолган мономерни чиқариш ва ректификация қилиш; полистирол грануляцияси.

Стирол идиш 1 дан дозировкаловчи насос 7 ёрдамида иссиқлик алмаштиргич 2 орқали полимеризацияга узатилади. Стирол полимеризацияси кетма-кет жойлашган учта реакторда ўтказилади. Биринчи реактор 3 да жараён $110\text{--}120^{\circ}\text{C}$ да ўтказилади ва реакция аралашмада полимер микдори 30 % атрофида бўлади; иккинчи реактор 4 да полимерланиш жараёни $125\text{--}135^{\circ}\text{C}$ да мономер конвер-

сиясн 60 % га стгунча ўтади; жараён учунчи реактор каскади 5 да 140–150° сўнги конверсия 80–85 % га стганда таомоланади. Полимерланиш реакцияси иссиқлиги реактордан мономер буглатилиши ва конденсатнинг тескари совитишгичда совитилиши ҳисобига камайтиради.

Реакцион массани бир полимеризатордан иккинчисига ва кейин вакуум-камера 8 га ўтказиш насос 7 лар ёрдамида амалга оширилади. Вакуум-камерада 2,0–5,3 кН/м² (15–40 мм с.у.) атрофидаги қолдиқ босимда реакцияга кирмаган стирол чиқариб олинади. Стирол буглари регенерацияга берилади ва кейин мономер қайтадан идиш 1 га қайтарилади ва хом ашё билан аралаштиради. Полистирол эритмаси вакуум-камера 8 дан экструдер 9 га ўтади ва грануляцияга кетади.

Мономернинг тўла бўлмаган конверсияси жараённинг муҳим камчиликларидан бири реакцияга кирмай қолган стиролни ҳайдашдаги стирол конденсатининг ҳосил бўлишидир.

Конденсатни утилизациялаш қуйидаги вариантлардан бири орқали амалга оширилади:

- ректификацион тозалаш орқали кўрсаткичлари стандартга мос сифатли стирол олиш;

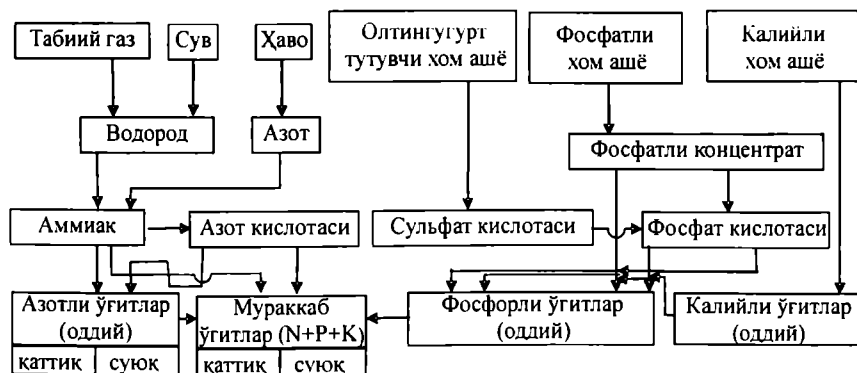
- стиролни полимерлаб, пастроқ масъулиятли буюмлар ишлаб чиқаришга мўлжалланган полистирол олиш.

Кўрсатилаётган ҳолатда ишлаб чиқарилувчи полистирол нефт кимёси комплексига киради, шу боис конденсатни тозалаш босқичини стиролни дегидрирлаш ректификацион массалаш массасини ректификациялаш билан мужассамлаштириш имкони туғилади. Бу энергетик сарфларни пасайтирган ҳолда полистирол таннархини бир мунча арзонлаштиради, иқтисодий фойда олишни таъминлайди.

4.1. ЎЎИТЛАР ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ УМУМИЙ СТРУКТУРАСИ

Минерал ўўитлар ишлаб чиқариш кимё саноатининг энг мухим соҳаларидан биридир. Дунёнинг барча мамлакатларида йилига 100 млн.т. дан ортиқ минерал ўўитлар ишлаб чиқарилади. Асосий озика элементлари – азот, фосфор ва калийдан иборат. Уларнинг миқдори амалда мавжуд модда, мувофиқ равишда N , P_2O_5 ва K_2O бўйича ҳисобланади. Ишлаб чиқарилувчи ўўитларда уларнинг миқдори ўртача 38–42 % ни ташкил этади. Ўсимликларнинг тўлақонли озикаси шунингдек (Mg , B , Mn , Zn ва ҳ.к.) микроэлементларни ўз ичига олади.

Азотли ва фосфорли ўўитлар аммиак, сульфат кислота ва фосфор кислотаси орқали ишлаб чиқарилади. Калийли ўўитлар бево-сита минерал хом ашёдан (асосан сильвинитдан) олинади. Минерал ўўитлар ишлаб чиқаришнинг тахминий (шартли) схемаси 4.1-расмда келтирилган. Минерал ўўитлар бир фаолият кўрсатувчи моддадан (оддий ўўитлар) ёки бир неча моддадан ташкил топади (мураккаб ўўитлар). Булардан охиригиси уларда мавжуд моддаларнинг миқдори ва уларнинг нисбатлари бўйича фарқланади:



4.1-расм. Минерал ўўитлар ишлаб чиқариш схемаси.

Ўғитлар	(Русум)	Марка (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O)
Аммофос	11 48 0	
Аммофоска	10 15 17	
Диаммофос	18 47 0	
Нитрофос	23 17 0	
Нитрофоска	12 : 12 12	
Нитроаммофос	23 23 0	
Нитроаммофоска	14 14 16	

Мураккаб ўғитлар оддий ўғитларни аралаштириш ёки мувофик кислоталарни аммиак билан нейтраллаш орқали тайёрланади. Ўғитларнинг асосий қисми доналанган ҳолда ишлаб чиқарилади. Суюқ комплекс ўғитлар – СКЎ муҳим аҳамият касб этиб бормоқда.

Аммиак, сульфат, нитрат ва фосфор кислоталари – минерал ўғит олинишида асосий ярим маҳсулот ҳисобланади. Улар бундан ташқари қўплаб бошқа мақсадларда ҳам қўлланилади.

Уларни ишлаб чиқариш, жараённинг назарий асосларини ривожлантиришнинг муваффақиятли тимсоли, технологик ва муҳандислик ечимларнинг илмий асосланиши, юқорида кўриб ўтилган кимёвий жараёнлар назарияларининг, реакторлар ва кимё-технологик тизимларининг (КТТ) қўлланиши исботидир. Номланган маҳсулотларнинг ишлаб чиқарилиши тўғрисида келгусида баён этилади.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Эритиш усуллари қандай ишлаб чиқаришларда қўлланилади?
2. Чўктириш жараёнининг қандай усуллари бор?
3. Термофосфатлар ишлаб чиқаришда қандай кимёвий ўзгаришлар содир бўлади?
4. Пишиш жараёнида суюқ фазанинг бўлиши қандай аҳамиятга эга?
5. Қаттик моддаларни пишириш тезлиги нимага боғлиқ?
6. Термофосфатлар нима?
7. Фосфатларни куйдириш даврида нима учун SiO₂ қўшилади?
8. Қаттик моддалар ўртасида кетувчи реакцияларни тезлатиш тадбирлари нимадан иборат?
9. Куйдириш жараёнининг тезлатиш тадбирлари-чи?
10. Фосфоритни кўмир билан қайтаришда кумнинг аҳамияти нимада?

11. Нима учун фосфор кислотасининг концентрацияси паст бўлади?
12. Фтор газини қандай қилиб ушланади?
13. Фильтрдан чиққан ювинди сувдан нима мақсадда фойдаланилади?
14. Дегидрат режимининг афзаллиги нимада?
15. Сульфат кислотаси нима учун қўлланилади?
16. Термик кислотанинг афзаллиги.
17. Аралашмага қўшилган кумнинг роли нимадан иборат?
18. Сублимация жараёни деб нимага айтилади?
19. Полифосфат кислотаси нима?
20. Тошқолнинг хусусиятлари.

4.2. СУЛЬФАТ КИСЛОТА ТЕХНОЛОГИЯСИ

4.2.1. Умумий маълумотлар

Сульфат кислотани ишлаб чиқариш пўлат ишлаб чиқариш каби мамлакатнинг техникавий ривожланиш даражасини билдиради. Ишлаб чиқариш қўлами ва ишлатилиш турлари бўйича сульфат кислотаси пўлат сингари халқ хўжалигида олдинги ўринлардан бирини эгаллайди.

Техниканинг ривожланиши билан сульфат кислотани ишла-тиш соҳалари кенгайиб бормоқда. Аммо сульфат кислотасини истеъмол қилувчи энг катта истеъмолчи бу минерал ўғит заводлари ҳисобланади.

Сульфат кислотасини ишлаб чиқаришни кўпайтириш зарурати туфайли ҳозирги кунда бўлинмас қувватларни 1000 ва 1500 т/сут (100 % ли H_2SO_4 га ҳисобланганда) ошириш йўли билан амалга оширилмоқда ва битта корхонада параллел ишлайдиган бир неча тизимлар қурилмоқда. Корхонада бўлинмас қувватларни ва эксплуатацион харажатларни камайтириш лозим. Иккита параллел ишлай-ётган сульфат кислотаси тизимларини қуриш солиштира капитал сармояни 7,0–7,5 %, кислота таннархини 5,0–5,5 % камайтиради ва ишлаб чиқариш унумдорлигини 75–80 % оширади. Бироқ сульфат кислотасини битта корхонада ишлаб чиқаришни кўпайтириш билан атмосферага чиқиб кетувчи олтингугурт икки оксиди газининг чиқиб кетиши ортади. Бундан ташқари чиқиб кетаётган олтингугурт икки оксиди атроф-муҳитни ифлослантириб қолмасдан, балки бутунлай хом ашёни йўқотишга олиб келади, бу эса 1 т ишланади-

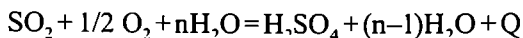
ган маҳсулот сарфи коэффициентини оширади. Масалан, 1500 т/сут H_2SO_4 ишлаб чиқарадиган контакт аппаратида суткасига ҳавога чикиб кетадиган газлар билан 20 т гача йўқолади, 300 т/сут кувват билан ишлайдиган контакт аппаратлари эса 4 т йўкотади. Шунинг учун замонавий интенсив тизимлар алоҳида қўшимча ажралиб чиқадиган газларни зарарсизлантириш бўлимларига эга бўлиб, улар ишланган SO_2 ҳажмини 0,03 % гача камайтириб, санитар нормага етказадилар.

Сульфат кислотанинг ишлатилиши. Сульфат кислота халқ хўжалигида катта миқдорда ишлатилади. Шунингдек, таннархи бўйича арзон ва энг кучли кислоталардан биридир. Айниқса, ўғит саноатида, тиббиётда, тўқимачилик, кимё саноатида нам газларни куриштида, мудофаада, нефтни қайта ишлаш саноатида, аммиакли чиқинди газлардан аммиакни ушлаб, аммоний сульфат каби минерал ўғит ишлаб чиқаришда кўп ишлатилади. Экстракцион фосфор кислотасини ишлаб чиқаришда ҳам сульфат кислотаси кўп ишлатилади.

Сульфат кислотаси металлларнинг юзини ювишда кўп миқдорда сарфланади. Бу жараённинг чиқиндиси – темир сульфати ҳосил бўлади, уни кристаллантириб чўкмага тушириб олинади. Концентрланган сульфат ва азот кислоталарнинг аралашмаси органик моддаларни нитратлаш жараёнида, анил-бўёқ саноатида ярим маҳсулотларни, портловчи моддалар (нитроглицерин, тротил ва бошқалар) олиш учун қўлланилади. Сульфат кислотасини яна гидролиз саноатида катализатор сифатида, сунъий тола ишлаб чиқаришда ва бошқа кўп соҳаларда ишлатадилар.

4.2.2. Ишлаб чиқариш усуллари

Замонавий сульфат кислотаси ишлаб чиқарувчи корхоналар учун дастлабки хом ашё олтингугурт диоксиди (олтингугурт тўрт оксиди), кислород ва сув ҳисобланади. Улар орасидаги ўзаро таъсирлашув қуйидаги стехиометрик тенглама бўйича кетади:



Бу жараён нитроза ва контакт усуллари билан амалга оширилади. Нитроза ва контакт усулларининг бир-биридан асосий фарқи

асосан SO_2 газини SO_3 газига қандай оксидлашга боғлиқ. Нитроза усулида SO_2 нинг SO_3 гача оксидланиши асосан суюқ фазада кечади ва кислородни бериш азот оксидлари ёрдамида амалга оширишга асосланган. Азот оксидлари (NO_2 , N_2O_3 , N_2O_5) SO_2 ни SO_3 гача оксидлаб, ўзлари NO гача қайтарилади. NO эса газ аралашмасидаги кислород билан суюқ ва газли фазаларда оксидланади. Ўтган асрнинг 70-йилларигача натрий сульфат (кейинроқ суперфосфат) ишлаб чиқариш учун нитроза усули билан олинадиган сульфат кислотаси қўлланилиб келинган.

Англияда 1831 йилда Филлипс SO_2 кислород билан қаттиқ платина катализатори юзасида оксидланишини ихтиро қилди, лекин мазкур усул ўтган асрнинг 70-йиллардагина кенг қўлланила бошланди. Бундай усулнинг кеч ўзлаштирилишига платинали катализатор ўз фаоллигини тез йўқотиши сабаб бўлган бўлса, иккинчидан эса олеум истеъмолчилари пайдо бўлмаган эди.

Ўтган асрнинг 70-йилларида Книтчанинг ишлари сабабли олтингугурт тўрт оксиди таркибида мишьяк мавжудлиги туфайли аниқланди. У қуйдириш газини катализатор захридан тозалаш усулини ҳам топди.

Контакт жараёнининг ривожланишида Россияда ишлаб чиқарилган Тентелев кимё заводи тизими катта аҳамият касб этади. Бу тизим амалга жорий қилинди ва ўша давр учун замонавий такомиллашган тизим ҳисобланарди. Фойдаланилган катализатор платиналашган асбест кўринишида бўлиб, барботаж типигади адсорберлар ишлатилган. 1917 йилда 64 та Тентелев тизимлари турли мамлакатларда ишлатилган. Ҳозирги кунда жараёнда катта миқдордаги сульфат кислотаси контакт усули билан ишлаб чиқарилади. Сульфат кислотасини контакт усули билан ишлаб чиқаришнинг ўсиши юқори техник даражада жиҳозланганлиги, тоза ва концентранган кислотага бўлган талабнинг борлиги, жараёни автоматлаштириш мумкинлиги, шунингдек, йўл қўйиладиган даражагача атмосферага чиқиб кетадиган газларда олтингугурт оксидлари концентрацияси миқдорининг камлиги билан аниқланади.

Контактли сульфат кислотасини ишлаб чиқариш корхоналари автоматлаштирилган технологик жараёни бошқариш тизимлари билан қуролланган.

Сульфат кислотасини контактли олиш жаҳонда нкки усул билан амалга оширилмокда:

– бир марта контактланадиган усулда SO_2 ва SO_3 гача оксидлаш 97,5–98 % етади ва атмосферага йўл қўйилиши мумкин бўлган чегаравий микдордан ортиқ SO_2 ва SO_3 чиқинди газлар билан чикиб кетади, бу эса бундай тизимларда тозалаш бўлимини қуришга қўшимча харажатлар талаб қилади.

– икки марта контактланадиган усулда ва икки мартали абсорбцияда SO_2 ни SO_3 гача оксидлаш даражаси 99,7–99,8 % ни ташкил қилади, бу эса қўйилиши мумкин бўлган SO_2 ва SO_3 концентрацияга чиқиндиларнинг микдори талабга мос келади. Икки март контактланадиган тизимда контакт усулида сульфат кислотасини ишлаб чиқариш қуйидаги босқичлардан иборат бўлади:

1. хом ашёни тайёрлаш; 2. олтингугурт тўрт оксиди олиш; 3. газни тозалаш; 4. олтингугурт тўрт оксидини оксидлаш; 5. SO_3 абсорбцияси; чикиб кетувчи газларни тозалаш. Икки марта контактланадиган ва икки марта абсорбцияланадиган тизимда сульфат кислотасини олишда олтинчи босқич мавжуд эмас.

Сульфат кислотасини ишлаб чиқаришнинг контакт усулига ҳўл катализ деб аталадиган усул киради. Водород сульфатни ёндирншдан олинган анча микдорда нам саклайдиган олтингугурт тўрт оксиди утилизатор – қозондан ўтади, у ерда $\sim 1000^\circ\text{C}$ гача совийди, ювилмасдан ва қурилмасдан $440\text{--}450^\circ\text{C}$ катализаторнинг биринчи катламига келади. Олинган кислота 76 % га эга бўлади.

Сульфат кислотасини саклаш ва ташиш. Сульфат кислотаси саноатда ҳар бирининг сигими 3000 м^3 келадиған саклагич (бак)ларда, концентрланган сульфат кислотаси эса қопламасиз бакларда, концентрланмагани ва айниқса тоза сульфат кислотаси кислотага чидамли материаллар билан қопланган пўлат бакларда сакланади.

Сульфат кислотаси ишлаб чиқариладиган жойида ишлатилади. Бирок истеъмолчиларнинг талабига қўра олеум ва концентрланган сульфат кислотаси пўлат цистерналарда ташилади. Ҳозирги кунда сульфат кислотаси қурилмаларининг бир агрегати бир суткада ўрта ҳисобда 1500 тонна сульфат кислота моногидрати ишлаб чиқаради. Олеумни саклашда иситиладиган бинолардан фойдаланилади.

4.2.3. Сульфат кислотаси ва олеум хоссалари

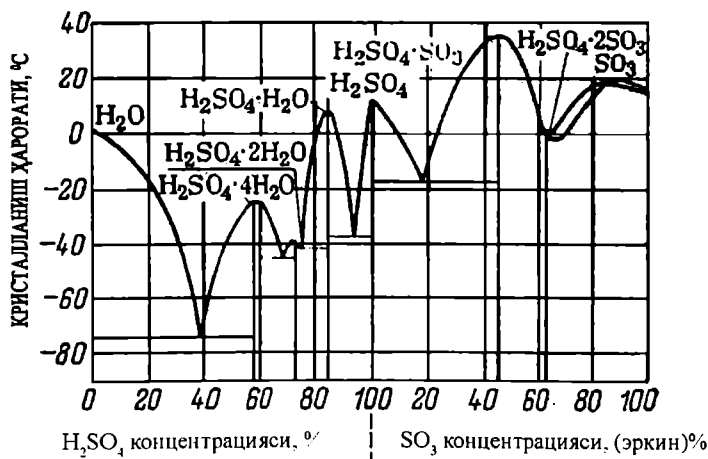
Сульфат кислотасининг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, уни хоҳлаган концентрацияда олиш мумкин.

Сувсиз сульфат кислотаси 81,63 масс. % SO_3 дан ва 18,37 масс. % H_2O дан иборат бўлади; 100 % ли H_2SO_4 – моногидрат 1 мол H_2O билан SO_3 нинг бирикиши натижасида ҳосил бўлади. 100 % сульфат кислотада SO_3 эриши орқали олеум ҳосил бўлади; унинг формуласи $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$.

Сульфат кислотаси дсб SO_3 билан H_2O нинг аралашмасига айтилади. Агарда бу аралашма ичидаги SO_3 молекулалар сонининг сув молекулалари сонига нисбати бирга тенг бўлса, сульфат кислотасининг моногидрати ёки концентрацияси 100 % га тенг бўлган сульфат кислота эритмаси олинади.

Агарда бу нисбат бирдан кичик бўлса, у вақтда сульфат кислотасининг сувдаги эритмаси олинади. Мабодо бирдан катта бўлса, у вақтда концентрацияси 100 % дан ортиқ бўлган $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$ ёки олеум олинади.

Сульфат кислотасининг кристалланиш температураси унинг концентрациясига боғлиқ эканлигини назарда тутиб H_2SO_4 саклашда ва ташишда кристалланишга йўл қўймаслик учун маҳсулот сульфат



4.2-расм. Сульфат кислотанинг кристалланиш диаграммаси.

кислота концентрациясига унинг кристалланиши минимал температурасига боғлиқлигига қараб нормалар белгиланган (4.2-расм).

Махсулот техник сульфат кислотаси стандарт навларининг концентрацияси ва уларнинг температуралари қуйида келтирилган:

	H ₂ SO ₄ масс. %	SO ₃ ҳажмий, %	T _{крис.} °C
Минора сульфат кислотаси	75	—	— 35
Контакт сульфат кислотаси	93,3	—	— 29,5
Олеум	104,05	18	— 2,8
Юкори концентрланган oleум	114,6	65	— 0,35

Сульфат кислотасининг сифатига асосий талаблар 1-жадвалда келтирилган. Аккумуляторларда ишлатадиладиган кислотани контакт усули билан олишади. Унда 92–94 % H₂SO₄ бор. Унинг сифати ГОСТ 667-73 га мос келиши керак. Реактив кислота кимёвий тоза (к.т.), таҳлил учун тоза (т.т.) ва тоза (т) кўринишда ишлаб чиқарилади ва улар 92–94 масс. % H₂SO₄ эга бўлади.

4.1-жадвал

СУЛЬФАТ КИСЛОТАСИГА ҚЎЙИЛАДИГАН ТЕХНИК ТАЛАБЛАР

Микдори масс. %	Яхшиланган	1-нав	Техник		Олеум		Минора сульфат кислотаси
			1-нав	2-нав	Яхшиланган	Техник	
Сульфат кислота (100 % ли моногидрат)	92,5	94,0	Камида 92,5		—	—	Камида 75
SO ₃ (эркин) камида	—	—	—	—	24	19	—
Темир кўпи билан	0,007	0,015	0,02	0,1	0,007	0,01	0,05
Оксидлар (N ₂ O ₃), кўпи билан	0,00005	0,0001	—	—	0,0002	0,0005	0,005
Мишьяк кўпи билан	0,00008	0,0001	—	—	0,00008	0,0001	—
Хлоридлар	0,0001	0,0005			—		—

Зичлик. 20°C да сульфат кислотаси ва oleум зичлигининг концентрациясига боғлиқлиги 4.3-расмда кўрсатилган.



4.3-расм. Сульфат кислота ва олеумнинг 20°C даги зичлиги.

Расмдан кўриниб турибдики, сульфат кислотасининг зичлиги унинг концентрациясига мутаносиб равишда ортиб боради. Концентрациянинг ортиши билан кислота зичлиги анча камаяди. 0 дан 95 масс. % H_2SO_4 концентрациялари оралиғида кислота концентрацияси зичлик бўйича аниқланади. 95–100 масс. % H_2SO_4 оралиғида зичлигининг жуда кам ўзгариши туфайли кислота концентрациясини кимёвий таҳлил ёрдамида аниқлайдилар.

Олеумнинг максимал зичлиги 69 ҳажм % SO_3 (эркин) мос келади. Температуранинг ортиши билан зичлик камаяди, температура камайиши билан зичлик ортади. Зичликни ўлчаш жаараёнида температурага тузатиш киритилиб, 20°C температурага тўғри келадиган стандартга келтирилади.

Сульфат кислотанинг 20°C иссиқлик ҳосил қилиши қуйидаги тенглама билан ҳисобланади:

$$Q = \frac{2113 M}{M + 0,2013} + \frac{2,99 (t-15)}{M+0,062} \quad (4.1)$$

бу ерда: Q – сульфат кислотасининг ҳосил бўлиши иссиқлиги, кж/кг SO_3 ; t – температура, °C; M – сульфат кислотадаги сувнинг миқдори, кг/кг SO_3 . Уни қуйидаги тенглама бўйича аниқлайдилар:

$$M = \frac{100 - \text{ҳажм, \% } SO_3}{\text{ҳажм, \% } SO_3}$$

Кислотанинг суюлтириш ва аралаштириш иссиқлиги. Сульфат кислотасига сув қуйилганда ажралиб чиқадиган иссиқлик

микдорига суюлтириш иссиқлиги дейиладн. У кж нннг 1 кг 100 % ли H_2SO_4 нисбати билан ифодаланади.

Сульфат кислотаси суюлтирилганда ҳосил бўладиган иссиқлик охирги Q_2 ва бошланғич Q_1 концентрациялар айирмасининг фаркига тенг бўлиши суюклаштиришдаги иссиқлик ҳосил қилишнинг аниқлаш усулларидан бири ҳисобланади:

$$Q_{\text{суюк}_1} = Q_2 - Q_1$$

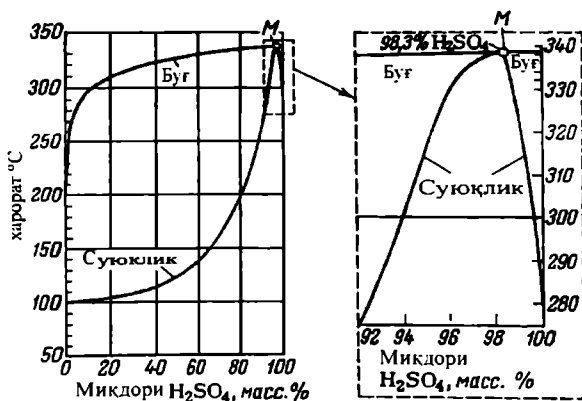
бу ерда Q_2 ва Q_1 (4.1) тенгламаси билан аниқланади.

Кислота сув билан суюлтирилганда сувга кислотанинг ингичка оқими бўйича тинимсиз аралаштириб турадилар. Кислотанинг қаттиқ қизиб кетиши ва сачрашини олдини олиш учун сувни кислотага қўшиш мумкин эмас.

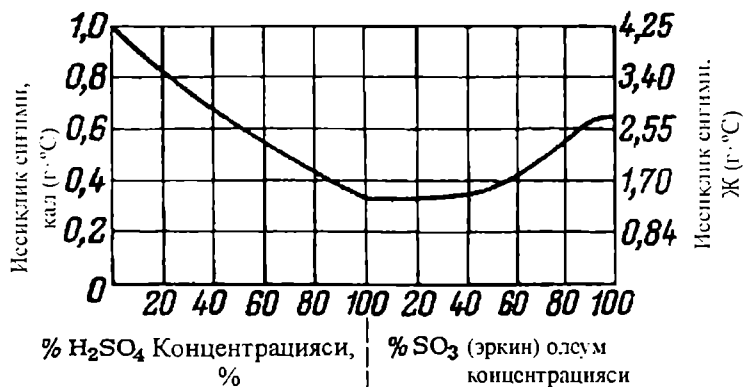
Турли концентрацияли кислоталарни аралаштиришда ажралиб чиқадиган иссиқлик микдорига аралаштириш иссиқлиги $Q_{\text{арал.}}$ дейилади. У қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланади:

$$Q_{\text{арал.}} = Q_3(n_1 + n_2) - Q_1n_1 + Q_2n_2,$$

бу ерда: Q_1, Q_2, Q_3 – 100 % ли H_2SO_4 суюлтириш иссиқлиги дастлабки ва аралаштиришдан сўнгги охирги концентрациясигача суюлтириш иссиқлиги; n_1, n_2 – аралаштириш учун олинган, кг да 100 % ли H_2SO_4 сульфат кислота массалари.



4.4-расм. Сульфат кислота сувли эритмасининг 0,98 МПа босимдаги қайнаш диаграммаси.



4.5-расм. Сульфат кислота ва олеумнинг иссиқлик сифими.

Сувли эритмаларнинг қайнаш температураси. Бу жараён 4.4-расмда кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, қайнаш температураси ортиши билан H_2SO_4 концентрациясининг эритмада 98,3 масс. % гача ўсиши кузатилаяпти. Бундай кислотанинг қайнаш температураси 338,8°C ни ташкил қилади. 200°C гача 85 % ли H_2SO_4 қайнашида буғ фазасига факат сув ажралиб чиқади, кейинчалик кислота температурасининг ортиши билан буғларда сульфат кислота микдори кўпаяди: 98,3 % ли H_2SO_4 да буғ ва суюқ фаза H_2SO_4 таркиби бир хил. Бу нукта азеотроп аралашма таркибига мос (доимо қайновчи аралашма), бу эса атмосфера босимида иситиш йўли билан сульфат кислотанинг концентрациясини факат 98,3 масс. % га кўпайтириш мумкинлигини англатади.

Сульфат кислотасининг иссиқлик сифими (4.5-расм) концентрация ортиши билан камаяди ва сувсиз кислота учун 1,42 Ж/(г. °C) ёки 0,338 кал/(г.°C) минимум нукта бўлади. SO_3 (эркин) микдорнинг ортиши билан олсумнинг иссиқлик сифими ортади. Температуранинг ортиши билан сульфат кислота ва олеум иссиқлик сифими анчагача ўсади.

4.2.4. Сульфат кислотасини ишлаб чиқариш учун хом ашё

Сульфат кислотасини ишлаб чиқариш учун олтингургурт колчеданидан, олтингургуртдан, олтингургурт тўрт оксидли чикиндн

газлардан ва водород сульфидлардан хом ашё сифатида фойдаланилади. Барча тур олтингугурт бор хом ашёлардан оддий колчедан ва табиий олтингугуртдан ташқари рангли металлар, кўмир, нефть ва табиий газдан олинадиган маҳсулотлар қайта ишлаш натижасида амалга оширилади. Хом ашёдан тўла фойдаланиш муҳим халқ хўжалиги аҳамиятига молик.

Олтингугурт колчедани. Оддий колчедан пирит, кам микдорда марказит ҳолида учрайди, унинг зичлиги мос равишда 4,9–5,1 ва 4,3–4,9 г/см³.

Тоза темир сульфиди FeS₂ 53,46 масс. % S ва 46,54 масс. % Fe дан иборат. Амалда колчеданда олтингугурт 40 дан 47 масс. % атрофида бўлади, колганлари SiO₂, рангли металлар сульфидлари (цинк, мис, никел ва бошқа), Ca, Ba сульфатлари, кам микдорда Se, Rh, Au, Ag, As, F ва бошқалардан иборат кераксиз жинс деб аталувчи аралашмалардир.

Кўмирли колчедан 35 дан 40 масс. % гача S ва 10 дан 20 масс. % гача кўмирдан иборат бўлади. Тошкўмирларни бойитишда чикинди сифатида кўмир колчедани олинади. Колчедан таркибида углероднинг бўлиши унинг ёниш температурасини кўтаради ва куйдирилган газда кислород микдорини камайтиради.

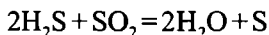
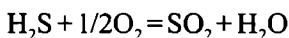
Флотацияланган колчедан таркибида 1–1,5 масс. % мис бўлган колчеданни бойитиш йўли билан олинади. Флотация йўли билан колчедан бойитилади. Флотацияланган колчедан кимёвий таркиби бўйича оддийсидан фарқ қилмайди. Унда олтингугурт микдори 40 дан то 45 масс. % атрофида бўлади ва 48 масс. % ва унга қўшимча равишда қайта флотация қилиш йўли билан ошириш мумкин. Флотацияланган колчедан сульфат кислота заводларига жўнатилаётганда музлаб қолишининг олдини олиш мақсадида унинг намлиги 3–4 масс. % атрофида бўлиши лозим. Ёз пайтларида эса рухсат этиладиган намлик 8 масс. % га етади.

4.2.5. Олтингугурт

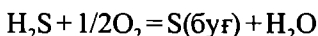
Олтингугурт – ноорганик полимер, массаси 32, иккита кристаллик шаклда (ромбик ва моноклин) мавжуд бўлади. Оддий температурада олтингугурт қаттиқ ҳолатда S₈ кўринишда учрайди.

112,8°C температурада ромбик олтингугурт ва 118,8°C да – моноклин суюкланади. 120°C суюлган олтингугурт сариқ рангга эга ва енгил ҳаракатланувчан; 190°C, у кора-жигаррангли ковушқок массага айланади. Температура 400°C да олтингугурт яна енгил ҳаракатланувчан бўлиб, 444,6°C да у қайнади. 900°C олтингугурт буғлари фақат S₂ дан иборат бўлади. 1600°C олтингугурт молекулалари атомларига парчланади.

Олтингугурт табиий соф маъданлардан махсус печларда суюклантириб олинади. Водород сульфиддан олтингугуртни олиш – дастлаб тахминан уч қисм H₂S ни ҳаво билан аралаштириб, ёндириб SO₂ олинади. Сўнгра водород сульфид S гача қуйидаги реакциялар бўйича қайтарилади:

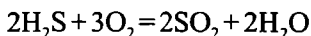


Водород сульфиднинг чекланган қисми ҳаво билан аралаштириб катализатор (шамот ғишти ёки боксид) иштирокида ёндирганда реакция қуйидагича ўтади:



Сўнгра олтингугурт буғлари конденсацияланади. Бундай олтингугурт газли дейилади ва ДС (давлат стандарт) бўйича камида 99,00 масс.% S эга бўлиши керак.

Газлардан ажратиб олинган водород сульфидни ортиқча ҳаво иштирокида ёндириш йўли билан SO₂ олиб, сўнгра сульфат кислотасини олиш учун қуйидаги реакциядан фойдаланилади:



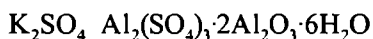
Катта миқдорда нам сакловчи бундай олтингугурт тўрт оксиди ҳўл катализ усули билан кислотага қайта ишланиши мумкин.

4.2.6. Бошқа турдаги хом ашёлар

Чиқинди кислоталар. Бензин, мойловчи ёғлар ва бошқа нефт маҳсулотларининг олтингугурт тўрт оксиди ва тўйинмаган бирикмаларини тозалаш концентрланган сульфат кислотаси ёрдамида

амалга оширилади. Бу жараённинг чиқиндиси нордон гудронлар ҳисобланади. Гудронлар генератор газ и ёки кокс газ и ҳаво билан аралашмас и 700–750°C температурада олтингургурт диоксидига ча кайтар ил иши мумкин. Шундай усул билан органик моддалар аралашмас и билан ифлосланган ҳамда ишлат илган сульфат кислота с ини кайта ишлаш мумкин. Ишлат илган кислота микдори орт иб бориши туфайли уларни кайта ишлаш муаммо бўлиб қолмоқда. Ишлат илган сульфат кислотас ининг концентрацияси қанча юқори бўлса, ҳос ил бўлад иган олтингургурт диоксид ининг микдори газларда шунча кўп бўлади. Баъзи бир ҳолларда ишлат илган сульфат кислотас ининг микдори 85–88 масс. % H_2SO_4 бўлгунча дастлаб буғлантириш керак. 4 масс. % гача эркин H_2SO_4 ва 25 масс. % гача $FeSO_4$ иборат бўлган едириш (хурушлаш) эритмалари металллар сиртидаги окалина, яъни зангни сульфат кислота билан едиришда ҳос ил бўлади. Бундай эритмалар шунингдек H_2SO_4 ишлаб чиқариш учун потенциал хом ашё бўлиши мумкин.

Алунитлар. Тоза минерал таркиби қуйидаги формула билан ифодаланади:



Алунит маъданида унинг микдори 50 масс. % гача бўлади.

Сульфат кислотани олиш учун, шунингдек, гипс, фосфогипс, натрий сульфати ва темир купорос и хом ашё бўлиб хизмат қилиши мумкин. Улар юқори температура таъсирида SO_2 ажралиши билан парчаланади. Фосфогипс катта микдорда фосфор ўғитлари ишлаб чиқаришда чиқинди сифатида ҳос ил бўлади. Уни қайта ишлаб, сульфат кислотас и ва цемент олиш мумкин. Бироқ шу кунгача бундай жараён технологияси мураккаблиги туфайли МДХ давлатларида ханузгача амалга ошмаган. Ҳозирги кунда республикамизда 100 млн. т фосфогипс тўпланиб қолган ва унинг ҳос ил бўлиши давом этмоқда. Тошкент Кимё-технология институтида анча содда ва кам энергия сарфловчи сульфат кислота ва цемент олишнинг янги технологияси ишлаб чиқилган. Бу технология амалиётга жорий қилиниш арафасида турибди.

Олтинугургуртнинг хом ашё манбаи рангли ва қора металлургия чиқинди газлари, шунингдек, иссиқлик электростанцияларининг тутун газлари ҳисобланади. Иссиқлик электростанциялари-

дан чиқадиган тутун газларининг таркибида 0,1 дан то 1 % SO_2 газлари киради. Бу газлар атмосферага чиқиб, уни ифлослантиради. Бу газлардан сульфат кислота олишда фойдаланишдан олдин уларни бойитиш лозим. Бойитишнинг бир нечта усуллари бўлиб, улардан аммоний ёки натрий сульфат бисульфат (цикл усул деб аталадиган) сувли эритмасидан SO_2 ажратиб олиш энг мақбул усули ҳисобланади. Бу усулни қўллаб, 100 % ли SO_2 олиш мумкин.

4.2.7. Олтингугуртли хом ашёларнинг қийсий баҳоси

SO_2 ни SO_3 гача оксидлаш ванадийли катализаторлар учун зарарли бўлган мишьяк ва фтор каби аралашмалари бўлмаган олтингугурт сульфат кислота ишлаб чиқаришда энг яхши хом ашё ҳисобланади. Бирок олтингугуртни ёндириш билан олинадиган сульфат кислотасининг таннарни қолчедандан олинганга қараганда юқори бўлади. 1 т H_2SO_4 олтингугуртдан ишлаб чиқаришда хом ашё таннарни 80 % ни, қолчеданни ишлатганда умумий сарф-харажатлар таннарни 60 % ни ташкил қилади. Сульфат кислота ишлаб чиқариш учун рангли ва қора металллар саноати, нефтни қайта ишлаш ва газ саноати чиқинди газларидан хом ашё сифатида фойдаланиш техник иқтисодий кўрсаткичларнинг юқори бўлишини таъминлайди.

Сульфат кислотасини ишлаб чиқаришда ишлатиладиган хом ашё технологиясини, дсмак, капитал ва эксплуатация сарфларининг миқдорини аниқлайди.

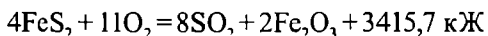
4.3. ОЛТИНГУГУРТ ДИОКСИДИНИ ОЛИШ

Кислород, азот, сув буғлари ва бошқа аралашмаларга эга SO_2 гази олтингугурт диоксида деб аталади. Олтингугурт диоксидининг нисбий молекуляр массаси 64,063 га тенг. У ўткир хидли рангсиз газ, сувда яхши эрийди ва тургун бўлмаган бирикма – сульфид кислотани ҳосил қилади. 1 кг олтингугурт диоксидининг ҳажми (идсал газ) 21,9 м³ га тенг (газнинг ҳажми нормал шароитга келтирилган). Техник ҳисобларда 10–15 ҳажм % SO_2 эга бўлган газ учун 1 ҳажм 1 мол SO_2 22,4 м³ дсб қабул қилинади. Атмосфера босимида ва 10,1°С температурада олтингугурт диоксида осонгина суюқликка айланади, газсимон 100 % ли SO_2 $2,7 \cdot 10^5$ Па босимда ва 15°С темпе-

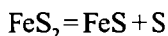
ратурада суюкликка айланади. SO_2 суюқ ҳолатда пўлат балонларда ташилади. У совитгич техникасида консерваловчи модда сифатида, айрим органик моддалар ишлаб чиқаришда кенг ишлатилади.

4.3.1. Колчеданни куйдириш

Колчедан куйдириш жараёнининг йиғиндиси куйидагича стехиометрик тенглама билан ифодаланади:



Бу жараён кўп микдорда иссиқлик ажратиш билан кечади. Ҳақиқатан куйдириш жараёни мураккаб ва бир қатор оддий оралик реакциялар орқали кечади. Тахминларга кўра олдин $500\text{--}600^\circ\text{C}$ FeS_2 парчаланиши олтингугурт буғларининг ажралиши билан бошланади:



Бундай олтингугурт ўзига ҳос ҳаворанг аланга билан ёниб, SO_2 ҳосил қилади. Бироқ оралик реакцияларининг аниқ механизми аниқланмаган.

Колчеданни куйдирганда SO_2 билан биргаликда FeO ҳосил бўлади, сўнгра у Fe_3O_4 га ўтади, куйдиришнинг охирида эса печ бўлими нормал ишлаганда таркибида $0,5\text{--}1,5$ масс. % FeS эга бўлган Fe_2O_3 ҳосил бўлади. Жараёнининг бошланиши учун ёқилғи билан колчеданнинг алангаланишигача бўлган температурагача ёндирилади. Ҳом ашёдаги олтингугурт микдорига боғлиқ ҳолда алангаланиш температураси 290 дан 420°C атрофида бўлади. Кейинчалик куйдириш температураси ажралиб чиқаётган реакция иссиқлиги бўйича ушлаб турилади.

Колчеданнинг ёниш тезлиги. Жараён тезлиги кимёвий жараён кечаётган аппарат унумдорлигига боғлиқ; масалан, печнинг унумдорлиги олтингугурт ҳом ашёнинг ёниш тезлигига боғлиқ. Колчеданнинг куйиш тезлиги биринчи навбатда реакцияга киришувчи моддалар сиртларининг бир-бирига тегиб туришига боғлиқ. Бу жараён гетероген бўлганлиги учун газ (ҳаво) фазаси сирти ва қаттиқ (ҳом ашё) фазаси сирти бир-бирига тегиб туриши ҳом ашё заррачаларининг ўлчамларига ва ёниш зонасида аралаштириш даражасига

боғлиқ. Колчедан зарралари ўлчамлари канча кичик бўлса, кислород унинг ичларига енгил киради, олтингугурт эса тўла ёнади, натижада темир куйиндиси билан олтингугурт кам йўколади.

Колчеданнинг ёниш тсзлигига температура катта таъсир кўрсади. Температура канча юқори бўлса, ёниш тсзлиги шунча катта бўлади. Бироқ тсмпературанинг ортиши билан колчедан қовушиб пишиши мумкин. Кўпчилик колчеданлар 900°C да қовушиб пишади. Бу ҳолда куйдирилаётган материалларнинг айрим заррачалари ўзаро ёпишиб қолади, унинг сочилувчанлиги йўқолади ва куйдириш жараёни бузилади. Чанг-ҳаво аралашмаси кўринишида колчедан куйдирилганда юқори температурада жараёни олиб бориш мумкин. Температура 800 дан 1000°C гача кўпайтирилса, ёниш тезлиги 2,19 марта ортади. Бошқа бир хил шароитларда газда O_2 микдорининг камайиши колчеданнинг куйдириш реакциясини секинлаштиради.

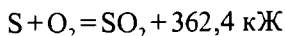
Колчеданни куйдирганда газ таркиби. Колчеданни куйдирганда 11 ҳажм кислороддан 8 ҳажм SO_2 олинади, 3/11 кислород эса темир ва 8/11 олтингугуртнинг оксидланишига сарфланади. Колчеданни куйдиришда назарий жиҳатдан SO_2 эга бўлган кислородсиз газни олиш мумкин:

$$\frac{21 \cdot 8/11 \cdot 100}{100 - 21 \cdot 3/11} = 16,2 \text{ ҳажмий \% да}$$

Қолгани азотдан иборат. Завод шароитида колчеданни қайнатма қатлам (ҚК) печларда куйдирганда газ аралашмасида одатда қуруқ газга ҳисоблаганда 14 ҳажм $\% SO_2$ бўлади. Амалда колчеданни куйдиришни олтингугуртнинг тўла ёнишини таъминлаш мақсадида ва SO_2 ни SO_3 гача каталитик оксидланиши учун ортиқча кислород иштирокида амалга оширилади.

Олтингугуртни ва бошқа олтингугуртли хом ашёларни ёндириш.

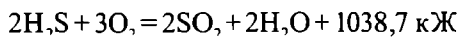
Олтингугуртнинг ёниши қуйидаги тенглама бўйича ўтади:



1 кг олтингугурт ёнганда 9293,4 кЖ иссиқлик ажралиб чиқади.

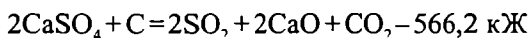
1 моль кислороддан 1 моль SO_2 олишади. Шундай экан, 21 ҳажм % O_2 ли ҳавода олтингургурт тўла ёнса, олинган кислородсиз газ 21 ҳажм SO_2 эга бўлади. Амалий шароитларда газда 12 ҳажм % SO_2 гача бўлади.

Олтингургурт ёндирилганда куйидаги реакция кетади:

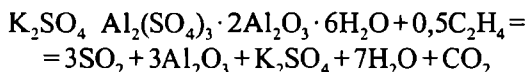


Бу метод бўйича сульфат кислота ишлаб чиқариш учун фойдаланиладиган олтингургурт газ SO_2 ва сув буглари миқдори кенг чегара атрофида бўлиб, дастлабки газ таркибига ва уни тозалаш учун ишлатилган усулга боғлиқ. Олтингургурт водородни ҳавода ёндирганда газ SO_2 миқдори 13 ҳажм % атрофини ташкил қилади.

Фосфогипсни парчалаш реакцияси углерод иштирокида ўтади ва иссиқлик сарфлашни талаб қилади:



Алунитларни қайтариш реакцияси куйидаги тенглама бўйича амалга ошади:

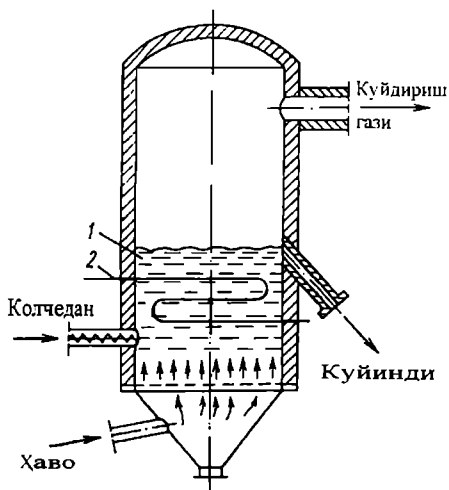


Бу ҳолда газда SO_2 миқдори 75 ҳажм, % етиши мумкин. Олинган газ ҳаво билан сийраклаштирилади ва контакт усули билан сульфат кислота олишга юборилади. Калий сульфат ўғит сифатида, гил тупроқ, Al_2O_3 эса алюмин металини олиш учун фойдаланилади.

4.3.2. Олтингургуртли хом ашёни ёндиришда ишлатиладиган печлар

Ҳозирги вақтда колчеданни куйдириш учун қайнама қатламли ва чангсимон куйдириш печлари қўлланилади. Олтингургуртни ёндириш форсункали ва циклон типдаги печларда, шунингдек, қайнама қатламли печларда амалга оширилади.

Қайнама қатламли печларда колчеданни куйдириш. Бундай печлар 45 % FeS_2 ҳисоблаганда 100, 200 ва 450 т/сут унумдорликка эга. Печларнинг унумдорлиги 1 сутка давомида печда ёндирилган 45 масс. % олтингургуртли (шартли колчедан) колчедан миқдори би-



4.6-расм. Колчеданни куйдириш учун КҚ ли печ: 1 – қайнама қатлам; 2 – совутиш элементи.

копланган бўлиб, корпуси пўлатдан иборат. Печнинг пастки қисмида панжара жойлашган, панжара ўпириладиган ёки қалпоқчали бўлиши мумкин. Колчедан омбордан тасмали транспортёр ёки элеватор ёрдамида бункерга берилади, у ердан ликопчали таъминлагич ва солинадиган камера орқали печга келади. Колчеданнинг ёниши учун ҳаво вентилятор билан панжара остига берилади. Бир-бирига жуда яқиндан туташган колчедан заррачаларининг қовушиб пишишига йўл қўймаслик учун қатламда температура $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$ дан юқори бўлмаслиги керак.

Керак температурани ушлаб туриш учун қайновчи қатламда совутиш элементлари ўрнатилади, булардан сув ўтиб туради. Ёнувчи колчедан ҳавонинг контакти давомийлиги, қайнама қатламнинг баландлигига боғлиқ ва у $9\text{--}12^{\circ}\text{C}$ га тенг. $12\text{--}14$ ҳажм % SO_2 эга бўлган куйдирилган газ $850\text{--}900^{\circ}\text{C}$ температурада қозон-утилизаторга тушади, бу ерда тезда $400\text{--}450^{\circ}\text{C}$ совийди. Бу ҳолда қозон-утилизаторда 1 т куйдирилган колчеданга (45 % S га ҳисобланганда) 1,2–1,5 т қизитилган буг ҳосил бўлади. Куйдирилган газ қозон-утилизаторидан тозалашга юборилади.

лан характерланади. 1 суткада 1 м^3 печ ҳажмида ёки 1 м^2 аппарат кесимида ёндириладиган колчедан миқдорига жадаллаштириш дёйилади. Колчеданни куйдириш гетероген жараёни бўлгани учун ҳам ашёни ҳаво билан жадал аралаштиришга боғлиқ бўлади. Бундай аралаштириш қатламли печларда вужудга келтирилади.

Бу печлар қайнама бир қатламли ва икки қатламли бўлади. 4.6-расмда қайнама бир қатламли печ кўрсатилган. Унинг ичи ўтга чидамли ғишт билан

Темир куйиндис (огарок) қайнама қатлам баландлигида бўлган печ деворидаги тешикдан бўшатилади ва у куйинди омборига юборилади ёки истъмолчига берилади. Қайнама қатлам печидан чиқаётган куйинди асосан Fe_3O_4 дан иборат бўлади. Олтингургурт кислотали цех печларидан куйинди олиб кетиш учун тинимсиз занжирли қирғичлар ҳаракатланадиган қўзғалмас металл тарновдан иборат қирғичли транспортёрлардан фойдаланадилар. Қирғичлар куйиндини ҳаракатлантиради.

Куйинди пневматик усулда ҳам чиқариб ташланиши мумкин. Кувур ўтказгичларда сийракланишни вужудга келтирганда ҳавода муаллақ ҳолатдаги куйинди аралашмаси ҳосил бўлади, у 30 м/с гача тезликда ҳаракат қилади. Кувур ўтказгичларнинг шаклдор қисмларининг тез ейилиши ва куйиндидан кувур ўтказгичларда тикинлар ҳосил бўлиши, шунингдек, энергиянинг анча сарфланиши пневматик усулнинг камчилиги ҳисобланади.

Куйиндини ажратиб олиш учун, шунингдек, гидравлик усулдан ҳам фойдаланилади. Бу ҳолда тозаланган сув яна пульпа ҳосил қилиш учун ишлатилади. Ҳосил бўлган пульпа тиндиргичларга юборилади. Тозаланган сув яна пульпани ҳосил қилиш учун ишлатилади. Бу усулнинг камчилиги шундаки, тоза сув сульфат кислота, мишьяк, темир сульфат ва бошқалар билан ифлосланади.

Қайнама қатламли псчларнинг афзаллиги—шартли қолчеданга айлантириб ҳисоблаганда 45 масс. % S унинг унумдорлигининг катталиги 100 то 450 т/сут гача; FeS_2 ни куйдиргандаги реакция иссиқлигидан тўла фойдаланиш мумкинлиги (1 т қолчедандан 1,5 т гача босими $40 \cdot 10^5$ Па ва температураси 420°C бўлган буғни олиш мумкинлиги) ҳамда 12–14 ҳажм % SO_2 ва 0,1 ҳажм % SO_3 эга бўлган куйдириш гази олинади. Куйдириш газида анча миқдорда SO_3 мавжуд бўлганда газ ўтказгичлар, электрофилтр электродлари ва қозон-утилизаторларнинг кувурлари улар устида сульфатли қатлам ҳосил бўлиши ҳисобига коррозияга (емирилишга) учрайди.

Қайнама қатлам печларида қолчеданни куйдирганда мишьяк куйинди билан бирга ажралиб чиқади. У As_2O_3 нисбатан яхши адсорбент, шунингдек, катализатор ҳисобланади. Шунинг учун As_2O_3 куйинди билан бирикиб, учмайдиган арсенталарни ҳосил қилади ва куйинди таркибида қолади. Натижада куйдириладиган газ вана-

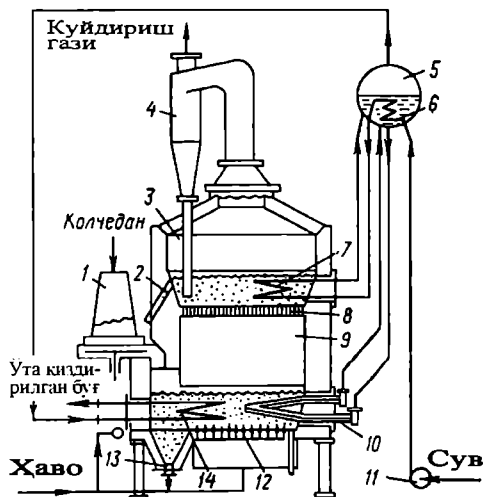
дийли катализаторга салбий таъсир этувчи мишъяк аралашмасидан қисман тозаланади ва унинг фаоллиги камаяди.

Анча микдорда куйдирувчи газлар куйинди массасидан (40 дан то 100 масс. % гача) чанг билан ўчиб кетиши қайнама қатламли печларнинг асосий камчилиги ҳисобланади.

Қайнама қатламли печларнинг технологик кўрсаткичлари:

Унумдорлиги, т/сут (45 % S)	200
Куйдириш жадаллиги, 1 м ³ печ ҳажмига кг/сут	1000–2000
Печда газ тезлиги, м/с	0,6–1,0
Газнинг печда бўлиш вақти, с	9–12
Қайнама қатлам баландлиги, мм	800–1000
Куйдириш газида SO ₂ микдори, ҳажм %	12–14

Икки қайнама қатламли печ (ИҚК) нинг бир қатламли печдан фарқи у пастки ва юкори қатламга эга (4.7-расм). Ҳаво колчеданнинг



4.7-расм. Икки қайнама қатламли печ:

1 – тарелкасимон таъминлагич; 2, 13 – устки ва остки қайнама қатламлардан куйиндини тушириш тарновчаси; 3 – печнинг тепадаги зонаси; 4 – куйиндини қайтариш циклони; 5 – козон барабани; 6 – таъминлайдиган сув иситгичи; 7, 10 – устки ва остки қайнама қатламнинг совитувчи элементлари; 8 – устки қайнама қатламдан ўпирилиб ўтиб кетадиган панжараси (тўри); 9 – печнинг пастки зонаси; 11 – таъминловчи сувни узатиш учун насос; 12 – пастки қайнама қатламдан ўпирилиб ўтмайдиган панжара; 14 – буг киздиргич.

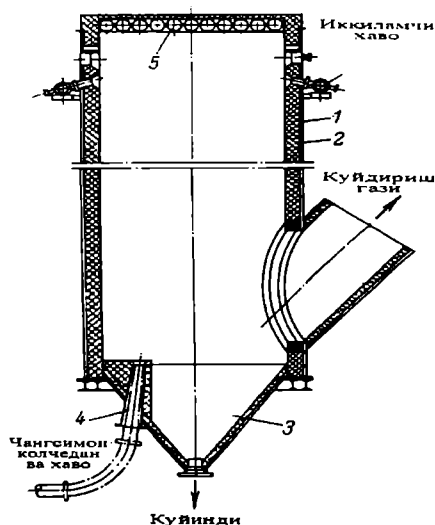
пастки катламига берилади, юкориги катламига эса пастки катламдан куйдириш гази кс-лади. Йирик куйинди цикло-нидан ўтиб, қайта куйдириш учун яна юкориги катламга қайтади. Куйиндида мав-жуд бўлган (Cu, Zn ва бошқа) металлларнинг бу катламда сульфатланиши бошланиб, сульфат кислотада эрийдиган тузларнинг ҳосил бўлиши би-лан тугайди.

Чангсимон куйдириш печида флотацион колчедан муаллақ ҳолда куйдирилади ва куйдириш жадаллиги $1000 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{сут}$ ни ташкил этади. Бу печлар конструкцияси бўйича содда (4.8-расм) ва куйдириш жараёнининг осонлиги билан фарқланади.

800°C температурагача бўлган печдан чиқаётган газлар $12 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (1 т/т колчедан гача) босимли буғ олиш учун фойдаланилади. Бундай печларнинг камчилигига печга колчеданнинг нотекис узатилиши (SO_2 ни печ газида 9–12 ҳажм % атрофида ўзгариб туриши), газнинг кўп микдорда қайта чангганиши (100 г/м^3 гача) ва флотацион майда-лашда электр энергиянинг кўшимча сарфланиши киради.

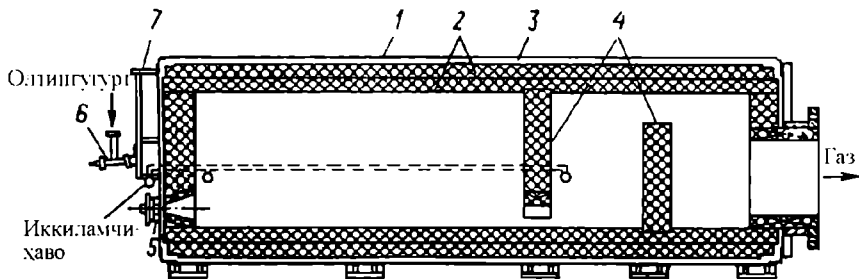
Ҳозирги вақтда ажратиб олинadиган куйинди цемент саноатида, сурик ва мумия каби минерал бўёқлар ишлаб чиқаришда ишлатилади.

Олтингугуртни куйдириш учун форсунка типидagi печлар (4.9-расм). Бундай печ ичи ўтга чидамли гишт (1) билан қопланган горизонтал жойлашган пўлат цилиндр (2) дан иборат. Суюлтирил-ган олтингугурт форсунка (6) оркали печнинг ўтхонасига берилади, бу ерга бир марта олтингугуртнинг ёниши учун зарур бўлган ҳаво узатилади. Форсунка (6) дан олтингугурт чикишида буғланади ва



4.8-расм. Чангсимон колчеданни куйди-риш учун печ:

1 – цилиндрик қобик; 2 – қоплама; 3 – бун-кер; 4 – колчедан ва ҳаво аралашмасини узатиш учун форсунка; 5 – совутувчи экран.



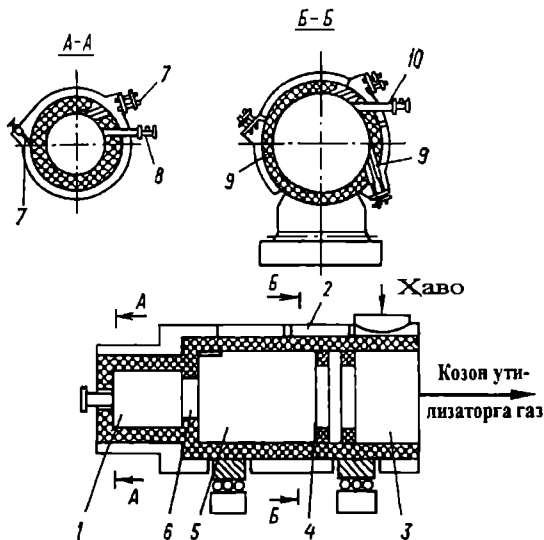
4.9-расм. Чангланган ҳолатдаги (форсункали печ) суюк олтингууртни ёндириш учун печ: 1 – пўлат цилиндр; 2 – коплама; 3 – асбест; 4 – тўсиқ; 5 – ёқилғини чангитиб пуркаш учун форсунка; 6 – олтингууртни чангитиб пуркаш учун форсунка; 7 – печга ҳавонп бериш учун кути.

машъал кўринишида ёниб кетади. Олтингуурт буғларининг тўла ёниши учун иккіламчи ҳаво печга берилади ва ҳаво билан олтингууртнинг ёниш маҳсулотлари аралашини яхшилаш учун икита тўсиқ ўрнатилади.

Ифлосланган олтингууртни ғиштдан бажарилган тўғри бурчак шаклидаги қайтарадиган типдаги печларда ёндирадилар. Олтингуурт буғ кўринишда ҳаво оқимида печ гумбази орасида ёниб кетади. Бундай печларнинг жадаллиги $1 \text{ т/м}^3 \text{ сут}$.

Ҳозирги кунда олтингууртни ёндириш учун **циклон печлари** (4.10-расм) кенг миқёсда қўлланилмоқда. Бу печларнинг фарқи шундаки суюлтирилган олтингуурт ва ҳаво 100 м/с яқин тезликда форсунка орқали тангенциал йўналишда берилади. Газ ва олтингуурт буғларининг айланма ҳаракатида жадаллик билан аралашиб вужудга келади ва олтингууртнинг ёниш тезлиги ортади. $13 \text{ хажм } \% \text{ SO}_2$ эга бўлган олтингуурт газини печдан 800°C температура атрофида қозон-утилизаторга киради, бу ерда $39 \cdot 10^5 \text{ Па}$ босимда буғ ҳосил бўлади. Бундай печларнинг ишлаб чиқариш унумдорлиги суткасига 100 т олтингууртга етади. Ҳозирда суткасига 300 т ва ундан ортиқ олтингуурт ишлаб чиқариш қувватига эга бўлган циклонли печлар лойиҳаланаёпти.

Циклонли печ форкамера (1) ва иккита сикадиган ҳалкалар (4, 6) билан қўшимча ёндирадиган иккита камера (3) ва (5) дан иборат



4.10-расм. Циклонли печ:

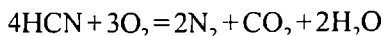
1 – форкамера; 2 – ҳаво кутиси; 3, 5 – ёндириб бўлиш камераси; 4, 6 – камбарланиш ҳалқаси; 7, 9 – ҳаво берувчи сопло; 8, 10 – олтингугуртнинг берувчи форсункалар.

бўлади. Беришдан олдин суюлтирилган олтингугурт тиндирилади ва филтрланади.

Бўлак кўринишдаги олтингугурт кайнама қатламли печларда ҳам ёндирилади. Бу ҳолда суюлтиргичлар, насослар ва филтрлар керак бўлмайди.

Водород сульфидни ёндириш учун печлар. Ичи ўтга чидамли гиштлар билан қопланган пўлатдан ясалган цилиндрик печда водород сульфиди ёндирилади. Портлаш хавфи бўлганлиги туфайли печнинг пастки қисмида огоҳлантирувчи клапан ўрнатилган. Печнинг юқори қисмида ёндиргич орқали водород сульфид кслади, ҳаво билан аралашади ва печга узатилади, машъал кўринишида ёниб кетади. Куйдирилган газ печнинг пастки қисмидан чиқиб кетади.

Водород сульфидли газда водородли циан учраса, H_2S ёндириш азот оксиди ҳосил бўлишини бартараф этиш учун рсакция кислород этишмаганда олиб борилади. Жарасн кўйидаги кўринишда бўлади:



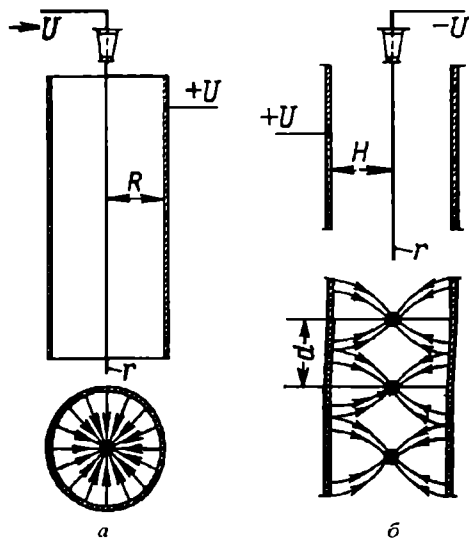
Олтингугурт диоксидини чанглардан тозалаш. Колчеданни куйдиришда олинган олтингугурт диоксиди чанглари ва рангли металлургия газлари анча микдорда куйиндига эга бўлади. Шундай экан, чангсимон куйдириш пачидан чиқаётган газ 100 г/м^3 гача чангга эга бўлади, кайнама қатламли печларда эса чанг микдори 300 г/м^3 гача етади. Натижада газўтказгич ва аппаратлар чангга тўлиб тикилиб қолади, бу эса газ оқимиға нисбатан гидравлик қаршилиқнинг ошишиға олиб келади ва тизимда ҳавонинг сарфини оширади. Бундан ташқари, маҳсулот таркибига чанг қўшилиб, унинг сифатини ёмонлаштиради, нитроза усули билан сульфат кислотасини олиш учун фойдаланиладиган олтингугурт тўрт оксиди газини чангдан тозалашда иккита усул қўлланилади: механик ва электрик. Сульфат кислотани контакт усулида олишда газ қўшимча чангдан тозаланади. Бу ҳолда ювиш бўлимида печ газидан селен ва теллур ажратиб олинади.

Механик тозалаш. Чанглари механик усулда чўктириш оғирлик кучи таъсирида тушишга асосланган бўлиб, кам унумдор тизимларда ишлатилади. Замонавий юқори унумдор сульфат кислотали тизимларда инерцион тозалаш усули қўлланилади. Бу усул газлар ҳаракати йўналишини кескин ўзгартиришга асосланган бўлиб, натижада газ ҳаракати камайиб, ундан чанглариинг энг йириқлари пастга туша бошлайди. Бундай ускуналарга қозон-утилизаторлари киради.

Газларни дағал тозалаш учун марказдан қочма кучларга асосланган ускуна – циклонлар ёки мульти-циклонлар ишлатилади.

Электрик тозалаш. Газларни тозалаш учун ишлатиладиган электрфилтрларни кувурчасимон ва пластинкачасимонларга бўладилар. Электр филтрнинг принципаи схемаси 4.11-расмда кўрсатилган расмда кўриниб турганидек, иккита электрод орасидан газ ўтказилади. Электродлардан бири мусбат зарядланган ва ўтирадиган электрод деб аталади. Ўтирадиган электродлар ерга уланади. Бошқаси манфий зарядланган ва коронирланган электрод деб аталади. Электрод филтр юқори кучланишли $60\text{--}80 \text{ минг V}$ ли доимий ток билан таъминланади.

Электродлар орасига ток берилганда электр майдони ҳосил бўлади. Бу вақтда коронирланган электрод атрофида ўтаётган газни жадал ионлаштираётган корон деб аталадиган рангсиз-мовий нурланиш ҳосил бўлади. Мусбат зраядланган ионлар коронирланган электрод томон интилади ва нейтралланади. Бу шароитда газдаги

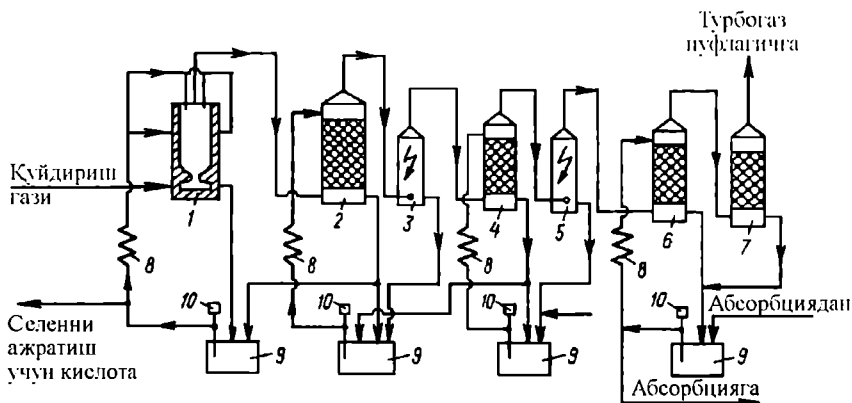


4.11-рас.м. Курук электрфилтрларнинг принципиал схемаси:

a – қувурчалардан ясалган электрфилтр; *б* – пластинкасимон электрфилтр (электронлар ва ионлар оқимининг йўналиши стрелкалар билан кўрсатилган); U – электродлар устига қўйилган кучланиш; R – қувурчасимон чўктириш электродларининг радиуси; r – коронирловчи электроднинг радиуси; H – ўтказгич ва пластинкасимон электродлар ўртасидаги масофа; d – ўтказгичлар ўртасидаги масофа.

муаллақ чанг ёки суюқлик заррачалари тегишли зарядга эга бўлиб, ўтириш электродига тортилади ва зарядини бериб, унинг сиртига ўтиради. Тозалашга келаётган газ электр майдонида 8–10 с давомида бўлади, электр филтрда унинг ҳаракат тезлиги 0,7–1,2 м/с. Печ газларини ўта тозалаш учун (горизонтал куйиндили, уч майдонли электроднинг ўтириш сирт 20 м² тенг бўлган) электр филтрлардан фойдаланилади. Улар электродларни механик тебратиш тузилмаси билан таъминланган курук ОГ–3–20 типидagi электр филтрлар ишлатилади. Бундай электр филтрларда тозалаш даражаси 99,9 % га етади. Ўтирувчи электродларнинг деформацияга учрашига йўл қўймаслик учун температураси 475°C дан ошмаслиги керак. Газлар температураси электр филтрдан чиқишда 300–400°C бўлади.

Куйиндили электр филтрлар учун температуранинг пастки чегараси 275°C атрофида бўлади. Бундан пастрок температурада сув



4.12-рasm. Тозалаш бўлимининг схемаси:

1 – биринчи ювиш минораси; 2 – иккинчи ювиш минораси; 3 – биринчи ҳўл электрфильтр; 4 – намлатиш минораси; 5 – иккинчи ҳўл электрфильтр; 6 – куритиш минораси; 7 – томчи ушлагич; 8 – кислота совутгичлари; 9 – кислота йиғгичлар; 10 – чўктириладиган насослар.

буғларининг доимо куйдириш газларида мавжуд бўлган SO_3 билан бирикиши натижасида кислота тумани ҳосил бўлади ва электрфильтрларнинг пўлат қисмларини коррозияга учратиши мумкин.

Электрфильтрлардан чиқаётган иссиқ газ $0,05\text{--}0,1\text{ г/м}^3$ куйинди чангларига эга бўлади. Бу чанглар газ контакт ускунасига берилаётганда катализатор қатламларига тикилиб қолиши мумкин. Бундан ташқари колчеданни куйдираётганда унинг таркибидаги аралашган мышьяк ва селен As_2O_3 ва SeO_2 буғлари кўринишида газга ўтади, SO_2 ни оксидловчи катализаторни заҳарлайди, айниқса As_2O_3 . Бу аралашмалардан тозалашни ювиш бўлимида амалга оширадилар. Колчедандан контактли сульфат кислотани ишлаб чиқаришда тозалаш бўлимининг типик схемаси 4.12-рasmда кўрсатилган.

4.3.3. Газни аралашмалардан тозалаш

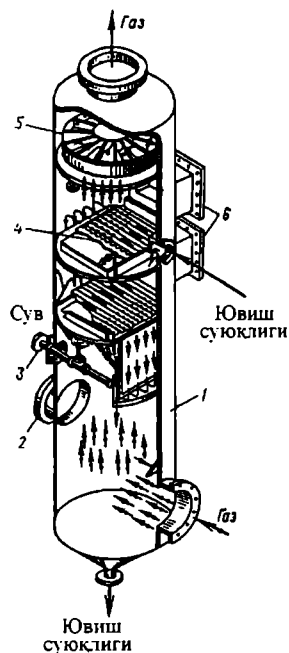
Куйинди чапги қолдиклари, As_2O_3 ва SeO_2 буғлари бўлган куйдириш газни кизиган электрфильтрлардан кейин 400°C температура атрофида ювиш бўлимига келади. Бу ерда ювилаётган температура 70°C бўлган сульфат кислотаси билан учрашиб, совиёди. Ювиш бўлимида биринчи ювиш минораси одатда $65\% \text{H}_2\text{SO}_4$ билан юви-

лади. Доимо кам микдорда SO_3 ва H_2O га эга бўлган куйдириш газининг температураси камайганида ювиш минорасида майда дисперс олтингургурт кислотали туман ҳосил бўлади. Бу ҳолда газ таркибида бўлган As_2O_3 ва SeO_2 оксидларининг буглари туман заррачаларида ва сульфат кислотаси томчиларида конденсирланади. Температуранинг пасайиши билан As_2O_3 бугсимон ҳолатидан қаттиқ ҳолатга, яъни ўта майда қаттиқ заррачаларга айланиб ўтади. Улардан бир қисми ювётган сульфат кислотасида эрийди, As_2O_3 концентрацияси эса 1 масс. % га етади. Кейинчалик кислотани совитгандан сўнг кислота ўтказгичларда, йиггичларнинг деворларида ва совитгичларнинг ўзларида тўпланиб бир қисм мишьяк чўкмага тушади.

Селен диоксида сульфат кислотаси тумани томчиларида ва ювадиган кислотада яхши эрийди.

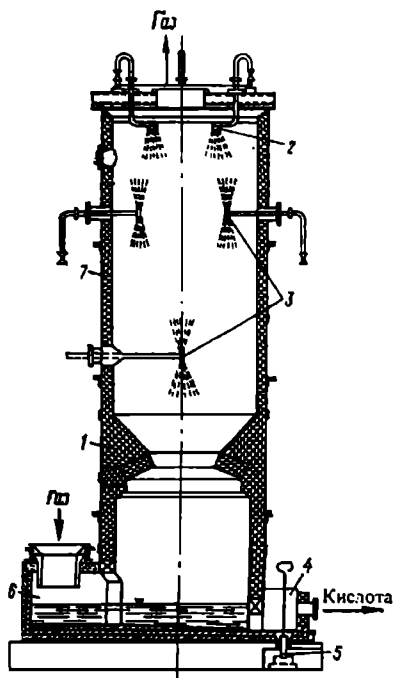
Сульфат кислотаси туманидан мишьякдан ва селендан узил-кесил (батамом) тозалаш ҳўл электр филтрларда амалга оширилади. Ҳар бир босқичда 70 минг В бўлган юқори кучланишда ишлайдиган иккита параллел уланган электр филтрлар бор. Тозалашга келаётган газ чўктирувчи ва коронирловчи электродлар ўртасида тешиб ўтишни ёки бузилишини йўқотиш учун намланган бўлиши керак. Шунинг учун электр филтрнинг биринчи босқичидан сўнг газ намловчи минорага, сўнгга эса иккинчи босқичга келади. Охирги жуфт нам электр филтрлардан чиқаётган газ деярли зарарли аралашмалардан (сув бугларидан ташқари) тозаланиб, кейин қуриштишга берилади.

Газларни ювиш учун Свенко ускунаси ҳам ишлатилади (4.13-расм).



4.13-расм. Свенко аппарати:

- 1 – корпус; 2 – кўриш люки; 3 – сачратгичлар;
4 – тарелкалар; 5 – томчиларни уриб майдалагич;
6 – қуриш ва тарелкаларни олиш учун дарчалар (люклар).



4.14-рasm. Ички бўш ювиш минораси: 1 – минора корпуси; 2, 3 кислотани чанглаштиргичлар; 4 – кислотани олиб кетиш кутиси; 5 – шламни чиқариб юбориш учун нов (тарнов); 6 – газ кириш учун кути; 7 – коплама.

Ускунанинг пастки бўш қисми сачратгич (3) ёрдамида сульфат кислота билан ювилади; ускунанинг юқори қисми шахмат тартибида жойлашган газлар ўтиши учун барботаж типигаги (4) ликопчаларда тешиклар бўлади. Ҳар бир тешикда сульфат кислота томчиларини уриб туширадиган болғача (5)лар туради. Печларда куйдирилган газ иссиқ электр филтрларни четлаб ўтиб, ускунанинг пастки қисмига келади.

Бу ерда газлар ювиладиган сульфат кислота ёрдамида куйинди чангларидан тозаланади. Юувчи кислота сачратгичлари ёрдамида ускуна ҳажми бўйича сачратилади. Чангдан тозаланган газ Свенко ускунасининг юқори қисмига келади. Барботаж ликопчалари тешикларидан ўтган газ томчи ва кўпик ҳолидаги уриб туширадиган болгалардан оқиб тушувчи юувчи кислоталар билан учрашади, бу эса юувчи суюқлик билан газ ўртасида учрашадиган ривожланган юзани вужудга келтиради. Бундай шароитлар газни зарарли аралашмалардан жадаллик билан тозалашни таъминлайди. Тозалаш бўлимининг аппаратлари.

4.3.4. Тозалаш бўлимининг аппаратураси

Биринчи ювиш минораси (4.14-рasm) – коррозиядан ҳимоялаш учун қўرғошин тунукаси ёки полиизобутилендан ишланган ичи бўш пўлат минорадан иборат. Ювадиган кислота, насос билан коллекторга узатилади ва пуркагичлар орқали бир текис минора кеси-

ми бўйича тақсимланади. Пуркагичлар сони 12 тадан 20 донагача бўлади. Миноранинг пастки қисмига тораювчи тешиқлар орқали газ келади. Ювадиган минорада печ газы 350–400 дан то 80–90°C гача совийди.

Иккинчи ювиш минораси пўлатдан бажарилган, унинг корпуси кислотага чидамли материаллардан териб чиқилган. Иккинчи минора юувчи кислота билан газ учрашиши сиртини ошириш учун керамик ҳалқалардан иборат насадка билан таъминланган. Газ оқими гидравлик қаршилигини камайтириш учун насадкани тўғри қаторлар билан жойлаштирадилар: пастда ўлчамлари 150×150; 120×120 ва 80×80 мм йирик ҳалқалар, устида ўлчамлари 50×50 мм бўлган кичикроқ ҳалқалар жойлаштирилади. Минорани ювиш турбинка ёки бошқа типдаги ювгич ёрдамида амалга оширилади. Сульфат кислотаси билан ювиладиган минораларда минора кесимининг 1 м² юзасига ювиш зичлиги 15–18 м³/соат ни ташкил қилади. Газларни сув буғларидан тозалаш қуритиш минорасида олиб борилади. Қуритиш минораси пўлатдан бажарилади ва кислотага чидамли цемент асосида кислотага чидамли гишт билан қопланади. Юувчи 93–94 % ли Н₂SO₄ ни тақсимлаш учун миноранинг тепа қисмида горизонтал тақсимловчи плита бор. Қуритиш минорасидан чиқаётган газ билан олиб кетилаётган кислота томчиларини ушлаш учун томчи ушлагич вазифасини бажарувчи учи бўш минорани ўрнатадилар. Унда ушланган кислота қуритиш минорасининг йиггичига оқиб тушади. Қуритиш минораси иккинчи минора сингари насадкалар билан тўлдирилган.

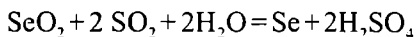
Марказдан қочирма типдаги марказдан қочирма ва вертикал чўктириладиган насослардан минораларни сульфат кислота билан ювиш учун фойдаланилади.

Босимни вужудга келтириш ва газни узатиш тизимида қуритиш кислотаси томчи ушлагичидан сўнг унумдорлиги 180 минг м³/соат ва тахминан 27,5 кПа босимни вужудга келтирадиган бир босқичли турбоҳайдагичларни ўрнатадилар. Турбогазпуфлагичгача бўлган барча ускуналар сийракланади, контакт бўлими ва ундан кейинги ускуналар босим остида бўлади.

Қуритиш минораси олдидан ҳавони намликдан қўшимча қуритиш мақсадида қолчеданни ёки олтингургуртни ҚҚ печларда

ёндирганда печларда ҳосил бўлган газ ҳаво билан 12–14 дан то 8–9 ҳажм % SO_2 гача сийраклашади.

Ювиш босимининг минораларида куйдириш газларидаги SeO_2 сульфат кислотаси билан ютилади ва шу вақт ичида SeO_2 то Se гача куйидаги тенглама бўйича кайтарилади:



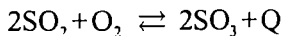
Ювиш кислотасидан металллик селен чанги билан бирга тиндиргич, тўплагич ва совитгичларда қисман 5 масс. % Se атрофида камбағал селен шламлари кўринишида чўқади. Қисман бой селенли шлам олтингургуртли кислота туманлари конденсацияси туфайли ҳўл электр фильтр электродларида чўқадилар. Конденсатдан селенни тўла ажратиб олиш учун тиндиргичга юборадилар, бу ерда селен чўктирилгач, селенга бой шлам ҳосил бўлади. Селен шламлари қайта ишлаш, филтрлаш натижасида олинган чўкмани сода эритмаси билан нейтраллашдан ва уни сув билан ювиш ва филтрлашдан иборат бўлади. Айланма барабанда куритилган нейтралланган селенни қоплайдилар ва кейинги ишлов учун жўнатадилар. 1 т колчедандан 10 дан 50 г металллик селен олинади.

4.4. СУЛЬФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ КОНТАКТ УСУЛИ

4.4.1. Олтингургурт тўрт оксидининг оксидланиши.

Оксидланиш жараёнининг назарий асослари

SO_2 оксидланиш реакцияси мувозанати. Ҳар бир кимёвий технологик жараён учун мувозанат ҳолатига назарий жиҳатдан максимал яқинлашиш шароити, сўнгра кинетик шароити аниқланади. Бу эса мувозанат ҳолатига тез яқинлашишни таъминлайди. Юқорида айтилганидек, SO_2 ва SO_3 оксидлаш жараёни қайтар ва иссиқлик ажралиш билан ўтади.



Олтингургурт диоксидини оксидлаш даражаси SO_3 гача оксидланган SO_2 микдорининг оксидланишга кетган SO_2 умумий микдорига нисбати бирлик усулида ёки процентларда ифодаланади. Агар тўғри

ва тескари реакциялар тезлиги тенг бўлса, унда ушбу газли тизим мувозанат ҳолатида бўлади ва доимий температурада унинг таркиби вақт бўйича ўзгармайди. Реакция тезлиги бу шароитда 0 га тенг бўлиб қолади. Бу ҳолда айланиш даражаси мувозанатли дсйилади ва қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$X_M = \frac{P_{SO_3}}{P_{SO_2} + P_{SO_3}},$$

бу ерда: P_{SO_2} , P_{SO_3} – SO_2 ва SO_3 нинг мувозанат парциал босими.

Ле-Шателье принципига мувофиқ SO_2 нинг SO_3 га айланиш мувозанат даражаси температурани ортиши билан пасаяди. Ҳосил бўлаётган азот уч оксидини реакция зонасидан четга чиқариш реакция мувозанати SO_3 ҳосил қилиш томонига силжитади ва оксидлаш реакцияси назарий жиҳатдан охирига бориши мумкин. Шу принципга кўра сульфат кислота ишлаб чиқариш тизими икки марта контактлашишга ва икки мартали абсорбцияга асосланган (ИК-ИА).

Босимнинг ортиши билан жараён мувозанати SO_3 ҳосил бўлиш томонга силжийди. Бироқ бундай жараён саноат миқёсида амалда ишлатилмайди, аммо бир қатор мамлакатларда (Россия, Франция, Канада) бу йўналишда илмий ишлар олиб борилмоқда (лойиҳалар ишлаб чиқилган, саноат миқёсида тажриба қурилмалари яратилган).

Контактлаштириш даражаси мувозанати (SO_3 чиқиш мувозанати) фақат температурага боглиқ мувозанат константаси – K_m микдорини аниқлайди. Вант-Гоффа тенгламаси бўйича:

$$K_m = 4905,5/T - 4,6455 \quad (a)$$

Турли температураларда тенглама (a) бўйича ҳисобланган K_m қиймати қуйида келтирилган:

$^{\circ}C$	K_m	$^{\circ}C$	K_m
390	566	575	13,7
425	241,4	600	9,37
500	49,8	650	4,68

K_m қанча катта бўлса, SO_2 ни SO_3 гача оксидлаш даражасининг мувозанати шунча катта бўлади. Константа мувозанати қийматидан кўриниб турибдики, SO_2 ни SO_3 гача оксидлаш жараёни температу-

ра ортиши билан мувозанатнинг айланиш даражаси (X_m) K_m кич-райишига мувофиқ камаяди.

SO₂ оксидланиш тезлиги. Жараённинг муҳим кўрсаткичи охирги маҳсулотнинг ҳосил бўлиш тезлиги ҳисобланади. SO₂ билан O₂ орасидаги реакция катализатор сиртида ўтади. SO₂ ни SO₃ ката-литик оксидланиш жараёни куйидаги босқичлардан таркиб топган бўлади:

- 1) газ массасидан таъсирлашувчи молекулаларнинг катализатор юзасининг сиртига кириши;
- 2) бу молекулаларнинг катализатор ғовакларига диффузияси;
- 3) ички ғовак юзаларидаги реакция;
- 4) реакцияга киришиб бўлган молекулаларнинг катализатор ташқи юзасининг сиртига тескари диффузияси;
- 5) таъсирлашувчи молекулаларни газ оқимида ўтказиш.

Реакция ўтиши учун SO₂ ва O₂ молекулалари газ оқимидан ол-дин катализатор юзасининг сиртига, сўнгра катализаторлар ички ғовакларига кириши керак. Ҳосил бўлган SO₃ катализаторлар юзи-нинг сиртидаги ғовакларидан қайта йўлни босиб ўтиб, яна газ оқимида келиб қўшилади.

Жараённинг умумий тезлиги энг суст босқич тезлиги билан аниқланади. SO₂ каталитик оксидлаш жараёнида бошқарувчи бос-қич бўлиб, молекулалар катализатор ғовакларига диффузияланади. Катализатор ғоваклари диффузияга қаршилик кўрсатади, яъни у катализатор структурасига (ўлчам ва ғовак ҳажми, сирти) боғлиқ бўлади.

Каталитик жараён тезлиги тезлик константаси k билан характер-ланади. Тезлик константаси k температура ва катализатор фаолли-гига боғлиқ. Агар мувозанат константаси реакциясини ҳисоблаш мумкин бўлса, у ҳолда ушбу катализатор учун константа тезлиги фақат экспериментал йўл билан аниқланади. Ҳар бир катализатор маълум константа тезлиги билан характерланади. Катализатор син-тез қилинадиган дастлабки компонентларга, уни тайёрлаш усулига, ўлчам ва зарраларнинг шаклига боғлиқ бўлади.

SO₂ ни SO₃ гача оксидлаш тезлигига температуранинг таъси-ри. Тезлик константасининг температурага боғлиқлиги Аррениус тенгламаси билан ифодаланади:

$$d \ln R/dT = E/(RT)^2$$

бу ерда: E – реакция активацияси энергияси; Ж/мол, R – газ доимийлиги; T – абсолют температура, К.

Тенгламадан кўриниб турибдики, константа тезлиги энергия активациясига боғлиқ бўлар экан. Ваннадийли катализатор учун тажриба йўли билан иккита энергия активация микдори аниқланган. Битта қиймат $U = 23000$ кал/г V^{+5} кўринишидаги ванадийга эга катализаторга, бошқаси- V^{+4} шаклидаги ванадий бор катализаторга ($E = 40000$ кал/г) тааллуқли. Энергия активациясини пасайтириш ва SO_2 ни SO_3 гача оксидланиш тезлигининг ортиши учун, масалан, ванадийли массасидан иборат катализатор ишлатилади. SO_2 реакциясининг оксидланиши иккита константа – мувозанат константаси ва тезлик константаси билан характерланади, улар турлича температурага боғлиқ бўлади. Оксидланиш тезлигининг максимал микдорига мос келадиган температура оптимал ҳисобланади. Дастлабки газнинг бир хил таркиби учун оптимал температурага реакция ўтиб бориши билан тинимсиз ўзгариб боради. Газ аралашмаси мувозанатдан узок бўлганда жараён юқори температурада олиб борилади. SO_2 ни SO_3 гача айлантириб боришда SO_2 ни максимал оксидланишини таъминлаш учун контактланиш температураси пасайтирилади.

7 ҳажм % SO_2 ва 11 ҳажм O_2 га эга бўлган газнинг оксидланиш режимининг оптимал температураси қуйида кўрсатилган:

Оксидланиш даражаси x , %	61	70	80	90	95	96	97	98	99
Қатламдаги температура, °C	600	572	537	492	455	445	436	418	389

4.4.2. Оксидланиш катализаторлари

XIX асрнинг 30-йилларида сульфат кислотаси ишлаб чиқаришда платинали катализатор ўрнига ванадийли катализаторлар ишлатила бошланади. Ванадий катализаторлари 6–8 масса % V_2O_5 , K_2O ва SiO_2 дан иборат ғовак моддадир. Бу катализаторнинг ички сирти $10 \text{ м}^2/\text{г}$, диаметри 4–4,5 мм ва узунлиги 10–15 мм доналар шаклида ишлаб чиқарилмоқда.

Ҳозирги кунда Россияда ванадийли катализаторлар СВД (диатомитга жойлашган сульфованадат), СВС (силикагельга жойлашган сульфованадат), КИ-1 ва КИ-2 (катализ институти), ҚҚ (қайнама қатлам) ва бошқалар ишлаб чиқарилади. Бу катализаторлар бири-бирдан тайёрлаш усули, таркиби ва ташувчиси билан фарқланади. Масалан, СВД катализатори тахминан $V_2O_5 \cdot 3 K_2O \cdot 6SO_3 \cdot 35SiO_2$ таркибга эга. Бу маркада ишлаб чиқарилаётган донали катализаторларнинг тўқма зичлиги 570 дан 700 г/л гача, механик мустаҳкамлиги 2–3 дан то 10 кг/см² гача дона узунлиги атрофида бўлади.

Катализаторларнинг асосий тавсифи бу фаоллик, термик барқарорлик ва механик мустаҳкамлик ҳисобланади. Контакт массасининг муҳим сифат кўрсаткичи ёндириш температураси ҳисобланади. Ёндириш температураси таъсирида катализатор тез қизий бошлайди ва SO_2 нинг оксидланиш жараёни ташқаридан иссиқ олмасдан автотермик суратда ўтади.

Катализаторлари ёндириш температураси катализатор табиати-га, реакция аралашмаси таркибига ва реакциянинг иссиқлик самарадорлигига боғлиқ бўлади. СВС ва КИ катализаторлари паст ёндириш температурасига эга. СВС ва КИ ники 390–400°C, СВД ники эмас 420–430°C атрофида.

Катализаторларни контакт ускунасига юклаш ва бўшатишдаги йўқолиши унинг механик мустаҳкамлигига боғлиқ бўлади. Бундан ташқари, сув буғлари, H_2SO_4 туманлари таъсирида катализатор заррачаларининг бузилиши содир бўлади, газ оқимида гидравлик қаршилик ортади ва натижада газни сўриб олишга электр энсргиясининг сарфи ошади, тизим унумдорлиги эса камаяди.

Ванадийли катализаторларнинг захарланиши. Олтингугурт-ли хом ашёда мавжуд бўлган аралашмалар билан ванадийли катализатор қайтиб бўлмас даражада захарланади. Ювиш бўлимида олтингугурт (IV) оксидли газдан ажратиб олинмаган мишьяк контакт аппарати-га келиб, контакт массасининг биринчи қаватида тўплана бошлайди ва температура 550–600°C га етганда V_2O_5 билан реакцияга киришиб, $V_2O_5 \cdot As_2O_3$ кўринишидаги учувчан бирикмани ҳосил қилади. Натижада катализаторларнинг биринчи қатламида ванадий кама-я бошлайди. Кейинги қатламларда 500°C паст температурада

V_2O_5 , As_2O_5 комплекси чўкиб, қобиқ ҳосил қилади, бу эса контакт ускунасида газ оқимиға нисбатан қаршилиқни оширади.

Катализаторлар учун кучли заҳар фтор таркибли бирикмалар HF ва SiF_4 ҳисобланади.

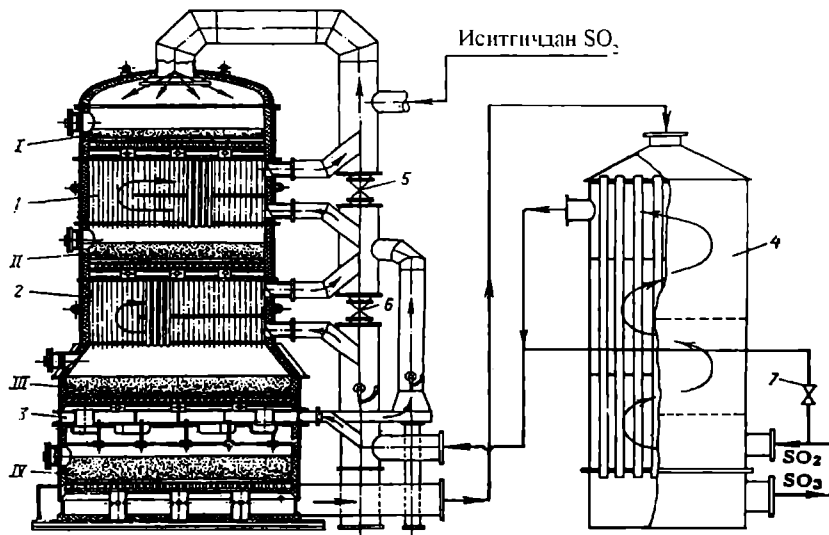
Контакт массанинг устки қатламларида қобиқнинг ҳосил бўлишида газ ўтказувчи ускуналарнинг смирлиши туфайли ҳосил бўладиган темир сульфати ҳам сабабчи бўлади. Бу гидравлик қаршилиқнинг ўсишиға сабаб бўлади ва контакт ускунаси ва демак, жами тизимнинг нормал ишлашиға салбий таъсир кўрасатади. Контакт массасининг хизмат муддати 3–5 йилға тенг. Биринчи қават бундан мустасно бўлиб, бу қават қоида бўйича ҳар йили алмаштириб турилади.

4.4.3. Контакт аппаратлари

SO_2 ни оксидлаш учун контакт аппаратлари икки турға бўлинади: иссиқликни ичкаридан олиб кетадиган ва совуқ газни ёки ташқаридан совуқ ҳавони киритадиган аппаратлар. Биринчи турдаги аппаратларға Филд найли контакт аппаратлари қиради. Бу аппаратларда SO_2 ни оксидлаш реакциялари иссиқлиги олиб кетиш реакция кетиши билан бирға амалға оширилади. Бу турдаги аппаратлар паст унумдорлиги туфайли ҳозирги кунда сульфат кислота ишлаб чиқаришда қатламлар оралиқ иссиқлик алмаштиргичли ускуналарға алмаштирилган.

Замонавий контакт аппаратларида SO_2 нинг оксидланиши ва реакция иссиқлигини олиб кетиш алоҳида-алоҳида амалға оширилади. Бу ҳолда газ қатлам массалари орасида жойлашган оралиқ иссиқлик алмаштиргичларида қатламлар ўртасида, ташқарида жойлашган қисмида, шунингдек, совуқ олтингугурт диоксиди контакт массасининг биринчи қатламидан сўнг пуфлаш йўли билан совитиш мумкин. Тизимға келаётган газ миқдорининг 20 ҳажм % ни совуқ газ ташкил қилади.

Оралиқ иссиқ алмаштиргичли контакт аппарати 4.15-расмда кўрсатилган контакт массасининг пастки қатламлари гидравлик қаршилигини камайтириш учун пастки қисми кенгайтирилган цилиндрлик корпусдан иборат (пастки қатламларда контакт массаси



4.15-расм. Тўрт қаватли контакт аппарати ва оралик иссиқ алмаштиргич билан контакт тугунининг схемаси:

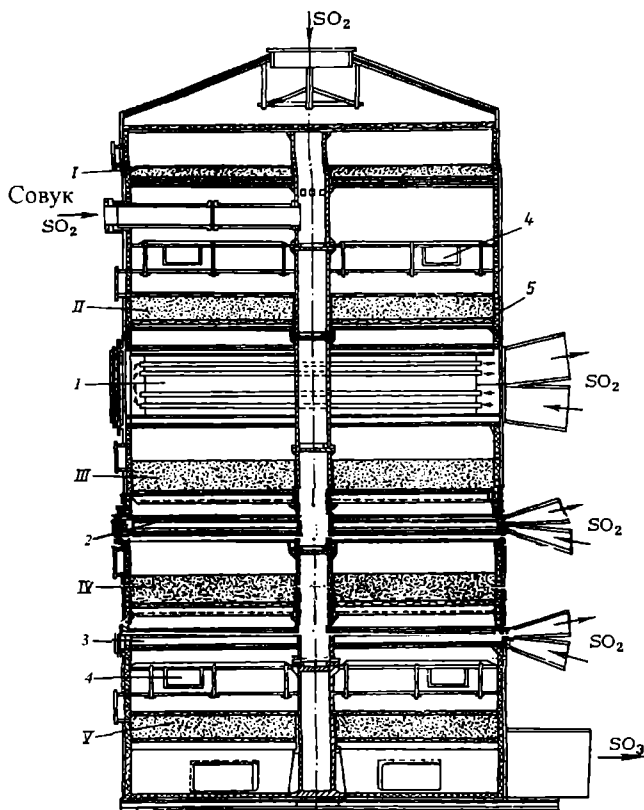
I–IV – контакт массаси қавати; 1–3 – оралик иссиқ алмаштиргич; 4 – сиртки иссиқлик алмаштиргич; 5–7 – газ задвижкалари (сурилма копкоклар).

Биринчи икки қаватга қараганда икки марта кўп). Биринчи (1) ва иккинчи (2) иссиқлик алмаштиргичларнинг жўваланган қувурли панжараси вертикал қувурлардан бажарилган. Катализаторнинг охирги қатлами олдидан иккита горизонтал пластинкадан иборат пластинкали иссиқлик алмаштиргич (3) жойлашган. Улар орасида вертикал спирал тўсиқ бор.

Қувурли панжараларда жойлаштирилган II–IV с иссиқлик алмаштиргич панжаларида контакт масса жойлаштирилган. Бундай контакт аппаратлари контакт массаси қатламлар сонига ва аппаратнинг асосий қатта бўлмаган ўлчамларига боғлиқ, суткасига 60 тоннадан 240 тоннагача сульфат кислотаси ишлаб чиқариши унумдорлигига эга. Уларни ишлатиш жараёни ишончли, бироқ контакт аппаратларини тайёрлаш мураккаб. Бундан ташқари, иссиқлик алмаштиргичларни таъмирлаш контакт массасини бўшатиш билан боғлиқ.

Унумдорлиги 540 т/сут H_2SO_4 бўлган контакт аппарати 4.16-расмда кўрсатилган. У 2, 3 ва 4 контакт массаси қатлампидан сўнг мон-

таж килинган 1–3 оралик иссиқлик алмаштиргичларга эга. Контакт массасининг биринчи қатлаидан сўнг газни совутиш совук олтингурт (IV) оксиди газини қўшиш билан амалга оширилади. Бундай контакт аппаратининг ички диаметри 8,5 м, умумий баландлиги 19,6 м. Аппаратнинг марказида чўян кувурлардан иборат йиғма таянч колонна бор. Унга колосникли панжаралар ўрнатилган, булар устига контакт массаси жойлашган. Бундай иссиқлик алмаштиргичларни таъмирлаш контакт массасини тўкишни талаб қилмайди.



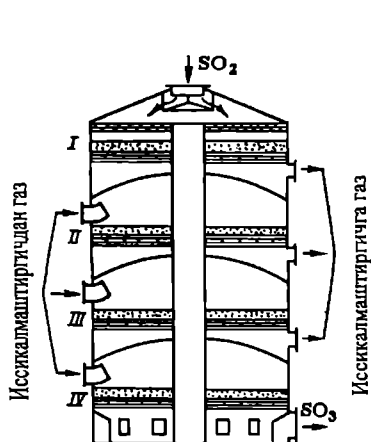
4.16-расм. Биринчи қатламлардан кейин совук газ қўшиладиган контакт аппарати: I–V – контакт массаси қатламлари; 1–3 – оралик иссиқлик алмаштиргичлари; 4 – аралаштиргичлар; 5 – 15–20 мм баландликдаги кварц қатлами.

Унумдорлиги 1000 т/сут H_2SO_4 ли контакт аппарати беш қатлам контакт массасига эга ва совук олтингугурт диоксиди контакт массасининг биринчи қатлампдан сўнг пуфланади. Бу эса иккинчи қатламга келаётган газ температурасини бошқаришга имкон беради. Иккинчи, учинчи ва тўртинчи қатламдан сўнг ташқарига чиқарилган иссиқлик алмаштиргичлар ўрнатилган (4.17-расм).

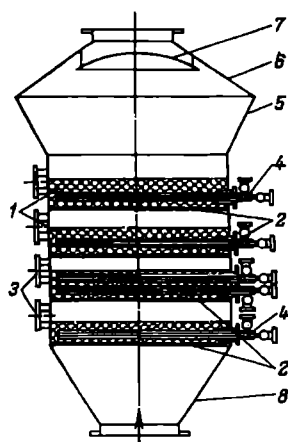
Катализаторлар қатламлари орасида жойлашган иссиқлик алмаштиргичли аппаратлар ҳўл катализ усули билан SO_2 ни қайта ишлаш учун ишлатилади.

Газни совутиш учун алмаштиргичларнинг қувурига қуририлган совук ҳаво берилади. Контакт аппарати тўхтаб қолганда катализатор сиртида сульфат кислота буғлари конденсация ҳосил бўлмаслиги учун катализатор сульфат кислота буғларининг конденсация ҳароратидан юқори температурадаги қуруқ ҳаво билан шамоллатилади.

Олтингугурт диоксиди оксидланиши анъанавий усуллари бўлган қатламли катализаторли стационар аппаратлардан ташқари қайнама қатламли катализаторли аппаратлар ишлаб чиқилган.



4.17-расм. Қуввати 1000 т/сут бўлган иссиқлик алмаштиргичлари ташқарига чиқарилган контакт аппарати: I–V – контакт массаси қатламлари.



4.18-расм. Қайнама қатламли контакт массали контакт аппарати:

1 – контакт массаси; 2 – газ тақсимлайдиган панжара; 3 – дарча (люклар); 4 – совутгич; 5, 8 – диффузорлар; 6 – конфузор; 7 – отбойник.

Контакт массали тўртта қайнама қатламли аппаратда кўрсатилган (4.18-расм). Ишлатиладиган ванадийли контакт массаси (1) ўлчамлари 0,75–1,00 мм заррачалар кўринишида тўртта панжара (2) жойлашади. Аппаратга киришда газ температураси 300–350°C ташкил этади. SO_2 ни оксидланишдаги ортикча реакция иссиқлиги катализатор қатламининг ичида жойлашган иссиқлик алмаштиргич (4) га ўтказилади. Битта масса қатламининг гидравлик қаршилиги $0,2 \cdot 10^5$ Па гача.

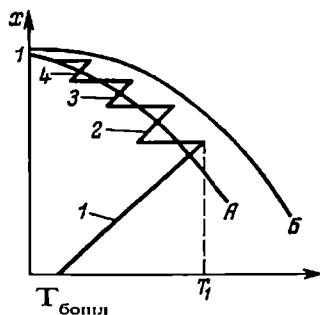
Қайнама қатлам SO_2 нинг оксидланишида контакт массанинг йўқотмаси сидирилиш ҳисобига йилига 10 масс. % ташкил этади. SO_2 нинг SO_3 қайнама қатламда оксидланиши жараёнининг тажриба саноат синовлари ўтказилган. Булар асосида саноат қурилмалари учун лойиҳалар бажарилган.

4.19-расмда кўриниб турганидек, контакт аппаратининг биринчи қатламида оксидланиш жараёни температурада (440–600°C) олиб борилади, бу эса SO_3 ни 60–70 % чиққанигача жараённинг юқори тезликда ўтишини таъминлайди. SO_2 айланиш даражасини ошириш учун катализатор қатламларида оптималга яқин температура ушлаб турилади.

Пастда икки тизимдаги контактлаштиришнинг бирламчи ва иккиламчи контакт аппаратларининг ишлаш режими келтирилган. Унумдорлиги 540 т/сут контакт аппаратига 7,5 ҳажм % SO_2 ва 10,5 ҳажм % O_2 концентрацияли келаётган газда:

Қатламлар	1	2	3	4	5
Қатламга киришдаги газ температураси, °C	440	496	467	440	416
Қатламга чиқишдаги газ температураси, °C	585	528	481	447	418
Оксидланиш даражаси, ҳажм %	0,71	0,70	0,93	0,97	0,98

4.19-расм. Катализатор қатламларида x нинг t температурга қараб ўзгариши даражасининг боғлиқлиги; t бошл = t ёниш (Λ оптимал температура чизиги, Б – SO_2 нинг мувозанат ҳолатида чиқиш чизиги).



Колчеданни куйдиришда олинган газда 8,5 % SO₂ концентрацияга эга бўлганда 1000 т/сут моногидрат бўйича унумдорликка эга икки марта контактлаштирилган контакт аппаратининг ишлаш режими:

	Биринчи боскич катлами			Иккинчи боскич катлами	
	1	2	3	4	5
Қатламга киришдаги температураси, °С	420	465	450	430	410
Қатламга чиқишдаги газ температураси, °С	603	575	465	446	414
SO ₂ ни SO ₃ гача оксидланиш даражаси, %	71,1	83,8	94,0	90,9	93,0

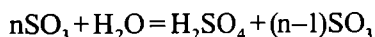
SO₂ ни SO₃ га умумий оксидланиш даражаси 99,6 %.

4.4.4. SO₃ абсорбцияси

Олтингугурт уч оксиди (олтингугурт ангидриди) SO₃ 80,062 нисбий молекуляр массага эга. У рангсиз газ, бир лахзада сув буғлари билан ўзаро таъсирлашиб, сульфат кислота туманини ҳосил қилади. Температура 44°С етганда олтингугурт уч оксиди рангсиз суюқликка айланади; у қаттиқ ҳолатда уч хил модификацияда α-, β- ва γ- мос равишда 16,8; 31,5; ва 62,2°С температурада суюқланади. Бунда α – SO₃ модификацияси мономер; β ва γ-SO₃ модификацияси полимердан иборат бўлади. Олтингугурт ангидридининг α – шакли кучли оксидловчи, уларнинг полимерли шаклининг фаоллиги анча кам бўлади. Суюқ олтингугурт уч оксиди SO₂ билан турли нисбатда аралаша олади.

Газсимон SO₃ хлорид кислота билан реакцияга киришиб, хлор-сульфон кислотани SO₂(OH)Cl ҳосил қилади.

Абсорбция жараёнининг назарий асослари. SO₃ абсорбция жараёнида сульфат кислотани олиш куйидаги тенглама бўйича ўтади:



Саноат микёсида олтингугурт ангидриди абсорбцияси сульфат кислота эритмалари билан амалга оширилади, бундан ташқари SO₃ кислотадаги сув билан реакцияга киришади. Маълум концентрацияли сульфат кислотани ишлатиб ва H₂SO₄ юзасида SO₃ буғларининг мувозанат босимининг қиймати минимал даражада бўлганда аб-

сорбциянинг тўлалигига эришилади. Бу шароитга 98,3 % H_2SO_4 мос келади. Бирок 98,3 % H_2SO_4 концентрациясидан бироз четга чиқилганда ҳам SO_3 нинг ютилиш даражаси кескин камаяди.

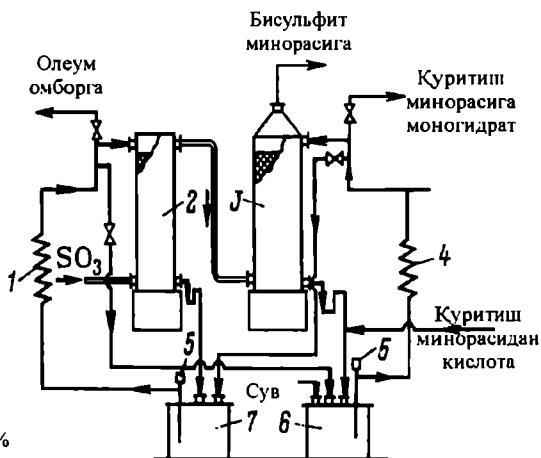
Абсорберни ювадиган кислота температураси паст бўлса, SO_3 ютиш даражаси шунча юкори бўлади. Саноат микёсида бу температура $\sim 60^\circ C$ га тенг.

4.20-расмдан кўриниб турибдики, бу ҳолда деярли 100 % ли SO_3 абсорбцияга эришилади, амалда у 99,9–99,99 %-ни ташкил қилади. Ювадиган сульфат кислота билан газ аралашмаси контакт апаратидан сўнг учрашганда ундан фақат олтингугурт ангидриди ютилади. Ютилмаган газлар ва моногидрат абсорберидан чиқаётган сульфат кислота буғлари SO_2 га ҳисоблаганда ПДК 0,03 ҳажм % тенг бўлганча барча қўшилмаларни ажратиб олиш учун чиқинди газларни тозалаш бўлимига келади.

Сульфат кислота ишлаб чиқаришда контакт абсорбцион бўлими иккита абсорбердан тузилган, бир-бири билан кетма-кет бириктирилган олеум ва моногидрат минораларидан иборат (4.21-расм).



4.20-расм. Турли температурада моногидрат абсорберида SO_3 нинг абсорбцияланиш даражаси: 1 – $60^\circ C$ да; 2 – $80^\circ C$ да; 3 – $100^\circ C$ да; 4 – $120^\circ C$ да.



4.21-расм. Абсорбцион бўлимининг схемаси: 1 – олеум совутгичи; 2 – олеум абсорбери; 3 – моногидрат абсорбери; 4 – моногидрат совутгичи; 5 – чўктириладиган насослар; 6 – моногидрат йиғгичи; 7 – олеум йиғгичи.

Контакт бўлимидан чиқаётган газ ангидрид совитгичи оркали олеумли абсорберга, сўнгра моногидратлига кирази.

Биринчи абсорбер 20 % ли олеум, иккинчиси 98,3 % ли сульфат кислота билан ювилади. SO_3 абсорбцияси жараёнида олеум концентрацияси ортади ва аппаратдан чиқишда 21–22 % ташкил этади, H_2SO_4 концентрацияси эса моногидрат абсорберига киришда 98,3 %, чиқишда эса 98,7 % гача кўпаяди. Ишлаб чиқаришда 98,3 % ли сульфат кислотани «моногидрат», абсорберни эса «моногидратли» деб аталади.

Биринчи абсорбердан чиқаётган 21–22 % олеум тўплагичига келади, бу ерга биринчи абсорберни ювишга сарфланадиган олеум концентрациясини доимий ишлаб туриш учун моногидрат тўплагичидан маълум миқдордаги кислота доимий равишда кўшилади. Шунингдек, қуритиш минораси тўплагичидан 93–94 % ли кислота тўплагичга бериш йўли билан моногидрат абсорбер кислота концентрацияси бир хилда ушлаб турилади. SO_3 ва сув буғларига эга бўлган газлар 400°C температурадан юқорида совитилса, сульфат кислота олиш мумкин, чунки температура пасайса H_2SO_4 ҳосил бўлиш реакцияси мувозанати сульфат кислота буғлари ҳосил бўлиш томонига силжийди ва улар янада совитилса, конденсирланади.

Сульфат кислота конденсацияси насадкали минораларда, барботаж ва бошқа конденсаторларда амалга оширилади.

SO_3 нинг абсорбцияланиш жараёнида иссиқлик ажралиб чиқади. Ажралиб чиққан иссиқлик совитгичга юборилади. Қуритиш ва моногидрат абсорберларидан кейинги совитгичлар кулранг чўяндан, олеум учун совитгичлар эса углеродли пўлатдан ишланган. Сульфат кислота ишлаб чиқарувчи йирик корхоналарда зангламайдиган ёки анод билан ҳимояланган пўлатдан тайёрланган олеум учун қобик қувурли совитгичлар ишлатилади. Қобик қувурли совитгичлардан ташқари пластинкали ёки спиралли совитгичлар ишлатилади. Совитувчи агент сифатида бир қатор ҳолларда сув ўрнига ҳаводан ҳам фойдаланилади.

Абсорбцион бўлимда асосий аппаратлар SO_3 ютиш учун насадка туридаги абсорберлар ва кислоталарни совитиш учун циркуляция қиладиган совитгичлардан иборат.

Олсум абсорбери пастки кнсмида колосникли панжара жойлашган пўлат аппаратдан иборат. Панжарада Рашиг керамик халкалари ёки турли ўлчамдаги пўлат халкалар жойлашган бўлади. Насадкалар ювиладиган олсум контакт юзасини ошириб, газнинг бир-бирига тегиб туришини яхшилайти. Шундай қилиб, 1 т ишлаб чиқариладиган маҳсулот учун насадка сирти 600 дан то 1000 т/сут бўлган абсорбер 8 м диаметрга ва 12 баландликка эга.

4.4.5. Ишлаб чиқаришнинг замонавий технологик схемалари.

Иккиланган контактлашиш-иккиланган абсорбция усулининг моҳияти (4.22-расм) SO_2 ни SO_3 гача оксидланишини биринчи босқичдан (тахминан конверция даражаси 92–95 % бўлганда) олтингугурт уч оксид гази абсорбциясининг биринчи босқичига келади. Оксидланмаган олтингугурт диоксиди филтрдан ўтиб, сачраган сульфат кислота томчилари ва тумани ажралиб, иссиқлик алмаштиргичларда контакт аппарати иккинчи босқичининг бирин-

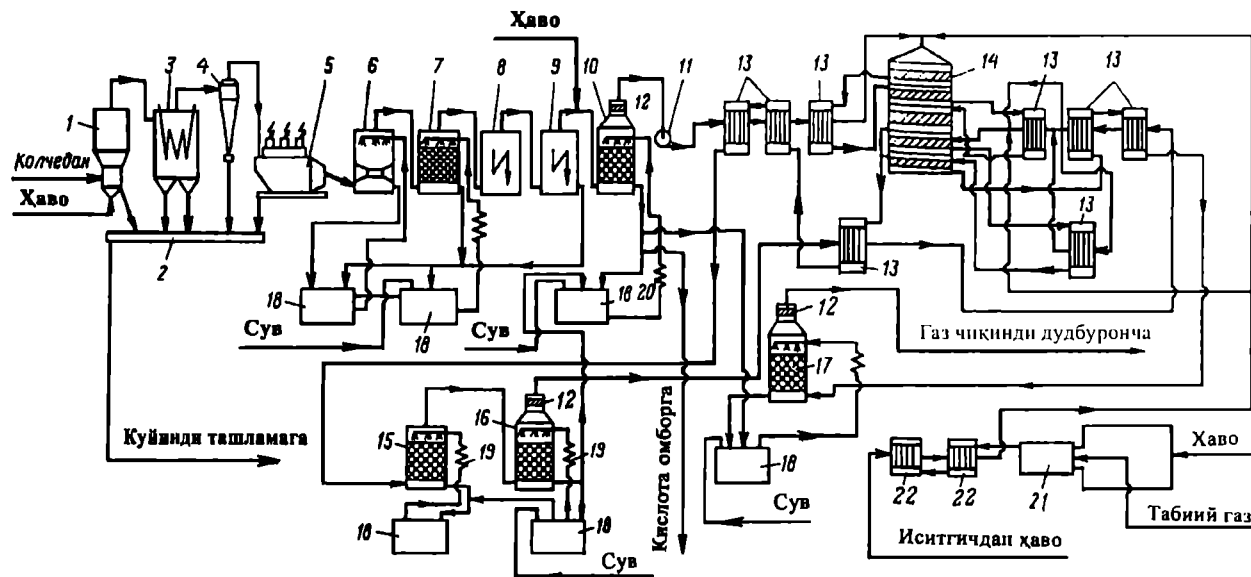
4.22-расм. Қўш контактлашадиган контакт бўлми:

чи катламида катализатор ёниш температурасигача киздирилади ва контакт массасининг икки катламидан ўтади. Бу ҳолда контактлашиш даражасининг йиғиндиси 99,7–99,8 % ни ташкил қилади. Контактлашишнинг иккинчи босқичидан сўнг газ абсорбцияга киради, бундан сўнг атмосферага чиқадиган газларда SO_2 миқдори 0,03–0,04 ҳажм % ташкил қилади, бу эса ПДК талабига мос келади.

КИ-АИ усулида сульфат кислотани олишнинг технологик схемаси 4.23-расмда келтирилган. Колчедан улушлагич оркали ҚҚ печи (1) га киради. Олинган 13 % SO_2 эга бўлган олтингургурт тўрт оксиди (олтингургурт диоксиди) гази 700°C температурада қозон-утилизатор (3) га юборилади, бу ерда у 420°C температурага совилади. Бу ҳолда босими 4 МПа гача ва 450°C температурадаги энергетик буг олинади, шунингдек, бу ерда темир куйиндисидан қисман тозаланиш ҳам содир бўлади. Газнинг кейинги тозаланиши циклон (4) ва УГП-3-30 маркали курук электр фильтр (5) да амалга ошади. Газни мишьяк, селен ва бошқа аралашмалардан тозалаш (6) ва (7) иккита юувчи минора бўлимида, икки жуфт ҳўл электр филтрда (8) ва (9) ҳамда курутиш минораси (10) да амалга оширилади.

Биринчи ичи бўш юувчи минора (6) буглантириш режимида ишлайди; циркуллашувчи кислота газни совитади, бу ҳолда иссиқлик ювишга келаётган кислота суви буглантиришга сарфланади. Биринчи минорадаги юувчи кислота концентрацияси 35–45 масс. % H_2SO_4 тенглиги иккинчи юувчи минорадан 5–10 % H_2SO_4 бериш ҳисобига бу даражада ушлаб турилади. Иккинчи минора (7) дан кислота тўплагич (18) га келади ва совигандан сўнг ювилишга қайтарилади.

Газ иккинчи юувчи минорадан сўнг кетма-кет икки жуфт электр фильтр (8) ва (9) дан, сўнгра 28–30°C да 93–94 % ли H_2SO_4 билан ювиладиган курутиш минораси (10) дан ўтади. Газдан сув бугларини ютиш ҳисобига юувчи кислота суюлади ва қизийди, шунинг учун температурани пасайтириш учун у ҳаво совитгичида (20) совитилади. Кислота концентрациясини ушлаб туриш учун унга моногидратли минорадан кислота қўшилади ва янгидан ювишга узатилади.



4.23-расм. Колчедандан сульфат кислотаси ишлаб чиқарадиган схема:

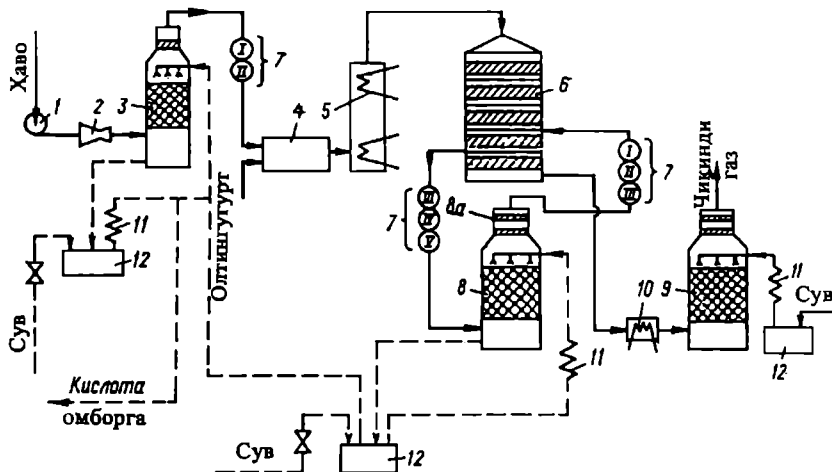
1 – печ; 2 – куйиндиларни сув билан чиқариб ташлаш схемаси; 3 – котел-утилизатор; 4 – бир жойдан иккинчи жойга соладиган тузилмали циклон; 5 – қуруқ электрфильтр; 6 – биринчи ювувчи минора; 7 – иккинчи ювувчи минора; 8 – биринчи ҳўл электрфильтр; 9 – иккинчи ҳўл электрфильтр; 10 – қуриштиш минораси; 11 – газпуфлагич; 12 – томчи ушлагич; 13 – контакт тугуннинг иссиқлик алмаштиргичи; 14 – контакт аппарати; 15 – олеум абсорбери; 16 – биринчи моногидрат абсорбери; 17 – иккинчи моногидрат абсорбери; 18 – кислота йиғичи; 19 – совутгич; 20 – кислотани ҳаво билан совутиш совутгичи; 21 – ишга туширувчи исситгич.

Куритиш минораси олдидан 9 ҳажм % SO_2 (олтингугурт диоксидини) микдоргача ҳаво билан контакт аппаратининг ишлаш технологик режимига мос равишда сийраклаштирилади.

Куритиладиган кислотани совитиш учун суғориш русумидаги қувур ёки қувур ичидаги русумдаги совитгичлар ва ҳаво билан совитадиган совитгичлар қўлланилади. Куритиш минорасидан сўнг олтингугурт диоксиди 28–30°C томчи ушлагич (12) дан ўтади ва турбогаз пуфлагич (11) га киради. Сўнгга газ учта қувурсимон иссиқлик алмаштиргич (13) да иситилади ва 420–440°C да контакт аппаратининг биринчи қатламига киради, бу ерда 73,8–74 % гача оксидланади; унинг температураси 600°C га кўтарилади. Газ иссиқлик алмаштиргич (13) дан ўтиб, катализаторнинг иккинчи қатламига киради, бу ерда контактлашиш даражаси 86 % етади, газнинг температураси 465 дан 514°C гача ошади. Иссиқлик алмаштиргич (13) да газнинг температураси яна 450°C гача камаяди ва у контакт аппаратининг учинчи қатламига келади. Бу ерда SO_2 нинг SO_3 гача оксидланиши 94–94,5 % га етади, температура эса 469–470°C гача ошади.

Иссиқлик алмаштиргич (13) га ўтиб, газ 100°C температурада абсорбциянинг биринчи босқичига аввал олеум абсорбери (15), сўнгга моногидрат абсорбери (16) га киради. Моногидрат абсорбери ва филтр томчи ушлагич (12) дан сўнг газ 430°C гача иссиқлик алмаштиргичлар тизимида исийди ва катализаторнинг тўртинчи қатламига киради, бунинг устига унда SO_2 концентрацияси 0,77–0,84 ҳажм % пи ташкил этади. Бу ерда SO_2 нинг оксидланиш даражаси 80 % га тенг. Иссиқлик алмаштиргич (13) да газ температураси 449 дан то 409°C гача камаяди. Бешинчи қатламда SO_2 оксидланиши 87 % га етади. Контактлашишнинг умумий даражаси бу ҳолда 99,8 % га тенг. Контакт аппаратининг бешинчи қатламидан сўнг газ 409°C температурада иссиқлик алмаштиргич (13) дан ўтиб, ўз иссиқлигини беради ва моногидрат абсорбери (17) нинг иккинчи босқичига абсорбцияланишга киради. Бир қисм кислота тўплагичи (18) га берилади. 0,02–0,03 ҳажм % SO_3 эга бўлган ютилмаган газ атмосферага чиқинди чиқарадиган қувур орқали чиқариб ташланади.

ИК-ИА усули билан олтингугуртдан сульфат кислота олишнинг технологик схемаси 4.24-расмда келтирилган. Ҳайдагич (1)



4.24-расм. Олтингугуртда ишлайдиган сульфат кислота тизимидаги контакт тугунининг схемаси:

1–хаво хайдагич; 2–Вентури куври; 3–куритиш минораси; 4–олтингугуртни ёндириш учун печи; 5–козон-утилизатор; 6–контакт аппарати; 7–иссиқлик алмаштиргичлар; 8–биринчи боскич абсорбери (оралик); 9–иккинчи боскич абсорбери; 10–экономайзер; 11–илонизи совутгичлар; 12–кислота йиғгичлари (яхши чизик–газ йўли, пунктир чизиклари–кислота йўли).

билан узатиладиган ҳаво 92–94 % ли H_2SO_4 ювиладиган Вентури куври (2) да чангдан тозаланади ва 94 % ли H_2SO_4 ювиладиган қуритиш минораси (3) га юборилади. Сўнгга иссиқлик алмаштиргич (7) дан ўтиб, 120°C температурада суюқ олтингугуртнинг ёниш печи (4) га киради. Ҳосил бўлган олтингугурт диоксид гази 1000°C температурада қозон-утилизатор (5) дан ўтади ва контакт аппаратининг биринчи боскичининг биринчи қатламига ўтади. Бу ерда газ температураси 440°C бўлганда SO_2 нинг SO_3 гача оксидланиши содир бўлади, конвенция даражаси 93,5 % ни ташкил этади. Контакт массанинг ҳар бир қатлаидан сўнг газни совитиш учун иссиқлик алмаштиргич (7) тизими хизмат қилади. Бу тизимда газлар қарама-қарши оқимда ҳаракат қилади.

Катализаторнинг учинчи қатлаидан чиқаётган SO_3 орқали абсорбер (8) да 99,9 % ютилади, абсорбцион зонадан чиқаётган газ 0,8 ҳажм % SO_2 ва 0,3–0,5 ҳажм % H_2SO_4 тумани ва томчиларига

эга. Газни томчи ва тумандан толали фильтрлар (8) да тозалашдан сўнг контактлаштиришнинг иккинчи боскичи SO_2 0,77–0,8 хажм % ли концентрацияда ва 405–410°C температурада киради; тўртинчи катламдан чиқишда газнинг температураси 415–425°C ни, бешинчи катламдан сўнг 420–430°C ни ташкил килади.

Сўнгра газ дастлаб экономайзер (10) дан ўтиб абсорбциянинг иккинчи боскичи (9) га боради. Айланувчи (циркуляцияланадиган) кислотани совитиш учун спирал совитгич (11) лар ишлатилади. Махсулий кислота қуритиш минорасидан сўнг берилади. Қуйида тоза олтингугуртдан ИҚ-ИА усули билан 1 т сульфат кислотаси ишлаб чиқариш учун сарф бўлиш коэффициентлари келтирилган:

Элементар олтингугурт, т	0,334
Электр энергия, кВ соат	40
Технологик сув, м ³	0,36
Айланадигаан совитувчи сув, м ³	52
Контакт массаси, кг	0,1

ИҚ-ИА тизимининг афзаллиги ва камчилиги. ИҚ-ИА тизи-мида SO_2 оксидланиши даражаси бир марта контактлашган тизими-даги 97,5–98,0 % га солиштирганда 99,5–99,7 % га етади.

Газ оралиқ моногидрат абсорберидан чиқаётганда анча миқдорда туман ва томчиларга эга бўлади. Туман ва томчиларни ушлаш учун ишлатиладиган толасимон фильтрлар уларнинг ютилишини тўла таъминлай олмайди, бу эса туманни иссиқлик алмаштиргич қувурларнинг деворлари сиртига ўтириб қолишига ва уларнинг тез емирилишига олиб келади. Иссиқлик алмаштиргичларда зичлик-нинг бузилиши ўз навбатида SO_2 ни SO_3 га оксидланиш даражасини пасайтиришга олиб келади, бу эса ИҚ-ИА тизимининг асосий кам-чилиги ҳисобланади.

Бундан ташқари, газни қўшимча совитиш ва қиздириш зарурли-ги туфайли ҳамда иссиқлик йўқотилишини бартараф қилиш учун юқори самарали иссиқлик алмаштириш аппарати керак бўлади.

Аппарат габаритларининг йириклиги, таянчлар бикирлиги, ёп-қичлар, алмаштиргичлар сонининг ортганлиги ва токча типигаги контакт аппаратларда газ оқимлари тақсимлагичларнинг катта-лашиши, металлнинг кўп ишлатилганлиги тизимнинг иккинчи камчилиги ҳисобланади. Пўлатларнинг емирилишга чидамлили-

гининг камлиги ва иссиқликка чидамлилигининг пастлиги катализаторли тоқчаларнинг осилиб қолишига олиб келади. Контакт аппарати, иссиқлик алмаштиргичларнинг қувурларини ва газ ўтказгичларнинг ички сиртининг емирилишидан сақлаш учун қалинлиги 0,25 мм бўлган алюминий қатлам билан қопланади.

4.4.6. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда иссиқликдан фойдаланиш

Маълумки, сульфат кислота ишлаб чиқаришда ажраладиган иссиқлик умумий миқдорининг 52–65 % олтингугуртли хом ашёни қуйдиришга сарфланади.

Бу иссиқликдан фойдаланиш учун қозон-утилизаторлари ишлатилади. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда асосан мажбурий сув айлантирувчи сув қувурли қозонлар ишлатилади. Шундай қилиб ҚҚ печларида ёниш реакцияси иссиқликдан фойдаланиш ҳисобига 1 т ёнган FeS_2 дан 1,5 т гача буғ олинади.

Колчеданни қуйдиришдан олинadиган SO_2 оксидланишида ажраладиган иссиқлик контакт аппаратининг биринчи қатламига совук газни иситиш учун ишлатилади.

Насадкали минораларда SO_3 абсорбцияси жараёнида катта миқдордаги ажраладиган иссиқлик ювиладиган кислота билан олиб кетилади, сўнгра у совитгичларда совитилади. SO_3 абсорбцияси жараёнининг адиабатик характери насадкали минорада жараён кечишида иссиқликни четга олиб кетиши мумкин эмаслиги туфайли оқиб чиқаётган олеум ва кислота температурасини 60–70°C даражада ушлаб туриш учун ювишга берилаётган кислота миқдорини ўзгартириш билан амалга оширилиб, иссиқлик баланси билан аниқланади.

Барботаж типдаги абсорберларни ишлатиш абсорбция жараёни иссиқлигини кислота қатламида жойлашган совитгичларда ишлатиш мумкин.

4.4.7. Сульфат кислота ишлаб чиқариш жараёнини автоматлаштириш

Сульфат кислота ишлаб чиқариш жараёнида жуда кўп аппаратлар ишлатилади. Ишлатилаётган аппаратлар фаол коррозияга учра-

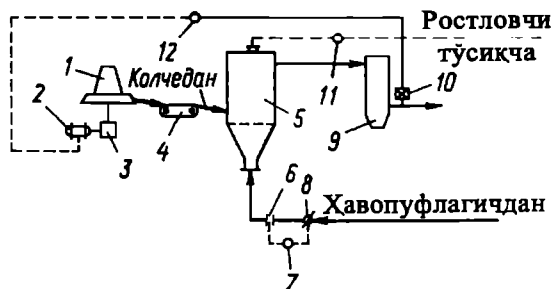
ши билан ажралиб туради. Бу эса ўз навбатида технологик тизимнинг айрим қисмларини, аппаратларини ва бутун тизимни тўхтатиб қўйишга олиб келади.

Бутун тизимни, айниқса йирик қувватли агрегатларнинг бир меъёрга ишлашини таъминлаш учун назорат-ўлчов ва қайд қилиб кўрсатувчи ўлчов асбоблари ёрдамида марказий пулздан бошқарилади. Кўрсатувчи асбоблар аппаратларга ўрнатилган бўлади. Температура, маҳсулот сарфи ва босимни бошқариш учун автоматик бошқаруви ёки автоматик ростловчи тизимлар қўлланилади.

Печ бўлимидан чиқаётган газдаги SO_2 концентрацияси ўзгармаслигини автоматик ростлаб, шунингдек, температуранинг барқарорлигини таъминлаб туриш керак бўлади.

Ишлаб чиқаришнинг бошидан охиригача меъёрга ишлаши контакт аппаратининг ишлашини ташкил қилишга боғлиқ. Контактлаштириш жараёнида жиддий бузилиш бутунлай цех ишини тўхтатиб қўяди. Мисол сифатида 4.25-расмда ҚҚ печининг автоматик схемаси кўрсатилган.

Ростловчи тўсма копқоқ (8) ва диафрагма (6) орқали ҳаво ҚҚ печининг пастки қисмига келади. Диафрагма (6) дан келган импульс тўсма копқоқ (8) қа таъсир қилади. Унинг очилиш даражаси киратган ҳаво микдорига боғлиқ бўлади. Куйдириш газидаги SO_2 нинг концентрациясини тарелкасимон таъминлагич (1) нинг айланиш тезлигини ўзгартириш йўли билан ростлайдилар. Ушбу таъминлагич ёрдамида колчеданни печга узатадилар. Қозон-утилизатор (9)

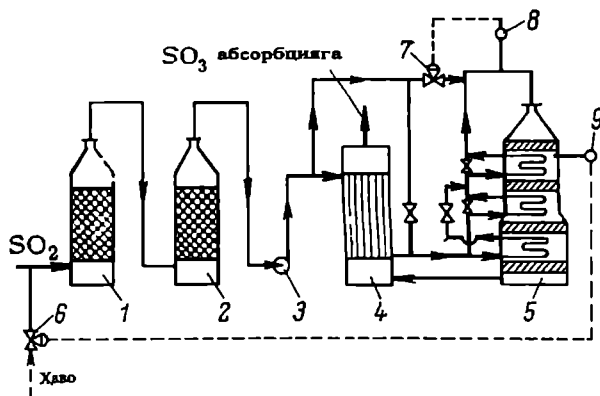


4.25-расм. Колчеданни куйдириш учун қабул қилиш печини ростловчи автоматик схема: 1 – тарелкасимон таъминлагич; 2 – таъминлагич юритмаси; 3 – редуктор; 4 – оралик транспортери; 5 – печь; 6 – диафрагма; 7, 11, 12 – ростлагичлар; 8 – ростловчи тўсма копқоқ; 9 – қозон утилизатор; 10 – газанализатор (SO_2 учун).

дан кейин ўрнатилган газанализатор (10) дан импульс ростловчи (12) орқали тарелкасимон таъминлагич айланиши тезлигига таъсир кўрсатади. Ростловчи (11) ёрдамида зарур сийраклаштириш ушлаб турилади: ростлагич (11) газўтказгичга тўсма копокок билан бириктирилган. SO_2 концентрацияси псчдан чиқаётганда $\pm 0,5$ хажм % даги аниқликда ушлаб турилади.

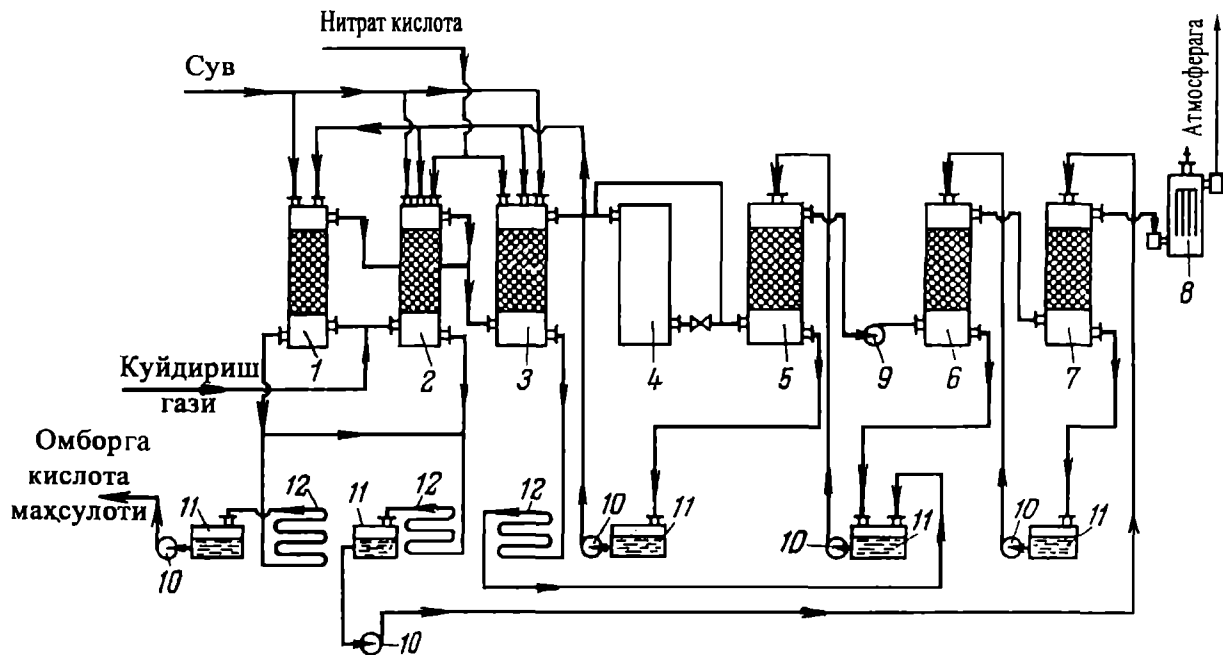
Колчеданда ишлайдиган ҚҚ печларида печ бўлимининг автомат тизими SO_2 нинг газдаги концентрациясини барқарор ушлаб туриш билан боғлиқ. Газда SO_2 нинг бундай концентрацияси газанализатордан берилган сигнал бўйича ростлагич орқали печга бериладиган ҳавонинг миқдорини ўзгартириш билан амалга оширилади. Бу усул газанализатор импульси таъсиридан колчедан печнинг таъминланишини айланиш тезлигининг ўзгаришига нисбатан тез ишловчанлиги билан фарқланади.

Контакт бўлимининг автоматлаштирилиши (4.26-расм). Контакт аппаратида SO_2 ни оксидлаш жараёнини бошқаришдан мақсад SO_3 нинг максимал миқдорда чиқишини таъминлашдир, яъни максимал даражада контактлашга эришишдир. Контактлаштириш даражаси катализатор фаоллиги, газ таркиби ва контакт аппаратининг биринчи қатламига келаётган газнинг дастлабки температурасига



4.26-расм. Контакт тугуннинг автоматлаштириш схемаси:

- 1- қуриш минораси; 2- томчи ушлагич; 3- турбо газ пуфлагич; 4- ташки иссиқлик алмаштиргич; 5- контакт аппарати; 6, 7- растлов клапанлар; 8-9- термопарали температура ростлагичлар.



4.27-расм. Нитроза усулида сулфат кислота ишлаб чиқариш схемаси:

1 – денитратор; 2 – биринчи маҳсулот минораси; 3 – иккинчи маҳсулот минораси; 4 – оксидловчи минора; 5 – абсорбцион минора; 6 – абсорбцион минора; 7 – абсорбцион минора; 8 – электрфилтр; 9 – дум вентилатори; 10 – насослар; 11 – йиғгич.

боғлик. Киришда SO_2 концентрациясининг барқарорлиги биринчи навбатда қуритиш минораси олдидан ҳавони сўриб олиш ҳисобига таъминланади. Печ газида SO_2 микдорини ўлчайдиган газанализатордан импульс ростлагичга юборилади, у қуритиш минораси олдидан ростловчи клапан (6) билан бошқарилади. Бир пайтнинг ўзида газ концентрацияси ушлаб туриши билан унинг температураси аппаратга киришда ростлаб турилади, бу эса контакт массасининг ёниш температураси билан аниқланади.

Олтингургурт диоксид гази (4.27-расмга қаранг) қуритиш минораси (1) ва сачраган томчиларни ушлагич (2) дан қувур газ пуфлагич (3) билан иссиқлик алмаштиргич (4) га, катализатор ёниши температурасигача қизийдиган учинчи, иккинчи ва биринчидаги қатламларга ва сўнгра контакт аппаратининг биринчи қатламига юборилади. Бир пайтнинг ўзида SO_2 нинг SO_3 гача оксидланиши ҳисобига қизиган газнинг совуши бошланади.

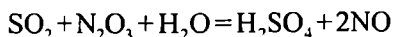
Аппаратга киришда газнинг температурасини бир хилда ташқи иссиқлик алмаштиргич (4) дан ташқари биринчи қатлам контакт массасидан сўнг совуқ газни юборишни ростлаш клапани (7) ёрдамида бир хилда ушлаб турилади. Ростловчи клапанлар (6) ва (7) билан боғланган датчик вазифасини термопара (9) бажаради.

Олтингургурт диоксидини оксидлаш жараёнини автоматлаштириш газ температурасини $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ва олтингургурт диоксид концентрациясини $\pm 0,3\%$ аниқликда ростлашга имкон беради, бу эса қўл билан бошқарганга қараганда оксидлаш даражасини $0,75\%$ га оширишни таъминлайди. Катта қувватли аппаратларда SO_2 ни оксидлаш жараёнини автоматлаштириш катализатор қатламлари бўйича газнинг нотекис тақсимланиши сабабли ўзгарувчан қатламлар бўйича температурани аниқ ростлаш зарурати билан боғланган.

4.5. НИТРОЗА УСУЛИ БИЛАН СУЛЬФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

4.5.1. Жараённинг назарий асослари

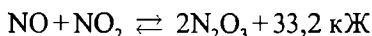
Насадкали минораларда SO_2 ни нитроза билан оксидлашда сульфат кислота олинади. Бу қуйидагича ифодаланади:



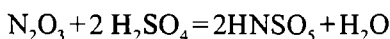
Бу жараён суюк фазада ўтади ва кайтмас жараён ҳисобланади. Сульфат кислотанинг ҳосил бўлиши билан бирга азот оксиди ажралиб чиқади, у сульфат кислотада эримайди, шунинг учун у газ фазасига ажралиб чиқади ва шу заҳотиёқ газда мавжуд кислород билан реакцияга киришади:



Азот оксидлари NO ва NO_2 бир-бири билан реакцияга киришиб, эквимолекуляр аралашма ҳосил қилади:



Бу бирикма сульфат кислота билан ютилиб, нитрозил сульфат кислота ҳосил қилади:



SO_2 нинг нитроза билан бирикиш жараёни гетерогенли бўлганлиги учун унинг тезлиги газ ва суюк фазани ажратиш сиртига боғлиқ.

Сульфат кислота олиш реакцияси тенгламасига мос равишда бир ҳажм SO_2 газ фазасига 2 ҳажм NO ажратиб чиқаради. Амалда биринчи минорадан кейин газда 1–1,5 ҳажмга яқин NO бўлади. Бу фақат кимёвий таҳлиллар билан эмас, балки 1 т H_2SO_4 олиш учун зарур бўлган азот оксидлари миқдори – азот айланиши ҳисоби ёрдамида ҳам тасдиқланади:

$$\frac{1000 \text{ N}_2\text{O}_3}{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1000 \cdot \frac{76}{98} = 775 \text{ кг N}_2\text{O}_3,$$

ёки 1290 кг HNO_3

Амалиётда минора тизимларида HNO_3 нинг зарур миқдори 500 кг га яқинни ташкил этади. Бу назарий миқдорнинг тахминан 40 % га тўғри келади. Демак, азот оксидлари SO_2 ни сульфат кислотага қайта ишлаш жараёнида биринчи марта қатнашади, бу эса NO нинг NO_2 гача оксидланиши фақатгина газ фазасида эмас, балки суюк фазадалиги билан ҳам тушунтирилади. Бунинг тасдиғи шундаки, биринчи минорада NO NO_2 гача оксидланади, бу эса ҳисоблаш бўйича NO ни NO_2 гача газ фазасида оксидлашидан кўпроқ бўлади.

Нитросульфат кислота сувсиз сульфат кислотада барқарор бўлиб, сульфат кислотанинг сувли эритмаларида эса гидролизла-

нади. Гидролиз даражаси температуранинг ортиши ва сульфат кислота концентрациясининг пасайиши билан кўпаяди. Хона температурасида NO_2 концентрациясидан гидролизланиш даражасининг боғликлиги келтирилган:

H_2SO_4 микдори, масс.%	98,0	80,0	70,0	57,0
H_2SO_4 гидролизланиши даражаси, %	1,1	27,7	49,8	100

Температуранинг ортиши билан нитрозанинг SO_2 га нисбатан реакцияга киришиш хусусияти ва нитросульфат кислотанинг ўта чуқур гидролизланиш ортади. Амалиётда бу мақсадлар учун нитрозага сув қўшилади.

4.5.2. Технологик схема

Нитроза усули билан сульфат кислотасини олиш жараёни қуйидаги асосий босқичлардан ташкил топган:

1. Олтингугурт тўрт оксидини олиш;
2. SO_2 ни нитроза билан оксидлаб, сульфат кислотани олиш ва улардан азот оксидларини бирга ажратиш (денитрация);
3. Азот оксидларини абсорбцияга тайёрлаш (N_2O_3 олиш);
4. Азот оксидларининг абсорбцияси билан бирга нитрозани олиш;
5. Чиқинди газларни санитар тозалаш.

Реакцияга киришувчи фазалар сиртини катталаштиришга эришиш учун жараён насадкали минораларда олиб борилади.

4.27-расмда минорали сульфат кислотани олиш технологик схемаси кўрсатилган.

Колчеданни ёндириш билан олинган куйдириш газни печ бўлимидан кейин электр фильтларда темир куйиндиси чангидан тозаланади ва икки параллел турган минораларга киради, улардан биттаси денитрацион, иккинчиси маҳсулий минора ҳисобланади. Денитратор (1) га газнинг умумий ҳажмидан 25 % яқини киради. Бу миноралардан чиқишда газ бор оқимга бирлашади ва иккинчи маҳсулий минора (3) га келади. Маҳсулий минорани ювувчи сульфат кислотада азот оксидлари миқдори 60–70°C температурада 15 ҳажм % N_2O_3 га яқинни ташкил қилади.

Махсулий минорадан сўнг газ оксидловчи минора (4) га келади, бу ерда NO оксидининг N_2O_3 гача оксидланиши билан бирга максимал даражага абсорбция учун зарур бўлган эквимолекуляр аралашмани ҳосил қилади ва атмосферага чиқариб ташланадиган азот оксидларининг минимумини таъминлайди. Кўпи билан 0,5 ҳажм % SO_2 ва 10 ҳажм % гача азот оксидига эга бўлган абсорбция учун тайёрланган газ абсорбция минораларидан (5, 7) ва (8) электр филтрдан кетма-кет ўтади. Охири абсорбциявий минора биринчи махсулий минорадан 40–45°C температурада кўпи билан 0,5 ҳажм % N_2O_3 эга бўлган нитроза билан ювилади. Денитрацион минорадан чиқаётган махсулот 75 масс % H_2SO_4 ва 0,03 ҳажм % N_2O_3 га эга бўлади. Ҳамма тизим сийраклашишда ишлайди; охириги иккита абсорбцион миноралар бундан мустасно, булар олдида вентилятор (6) туради. Юувчи кислоталар совитгич (9) ларда совитилади. Учинчи абсорбердан кейин 0,1–0,15 ҳажм % N_2O_3 га эга бўлган чиқинди чиқиш кувурларидан атмосферага чиқиб кетади. Минораларни ювиш учун кислотани узатиш ёпиқ хонада жойлашган марказдан қочирма насослар ёрдамида амалга оширилади. Минора ва совитгичлар очиқ ҳавода жойлашган бўлади. Минора тепаси шатёр (чодир) билан химояланган бўлиб, нарвонлар билан ўзаро бирлашган майдончаларда уларга хизмат кўрсатилади.

Нитроза усули билан сульфат кислота ишлаб чиқаришда минора асосий аппарат бўлиб, унинг диаметри 4,5–5 м ва баландлиги 16–18 м. Улар пўлатдан ясалади ва кислотага чидамли ғиштлар ёки андизит асосида тайёрланган кислотага чидамли цемент билан қопланади.

Минора ичида кислотага ёки андизитдан қурилган колонналарга керамик ҳалқалардан ясалган насадкалар ётқизилган бўлади. Майда ҳалқалар керамик панжарадан тушиб кетмаслиги учун аввал ўлчамлари 120×120×10 мм ҳалқаларни, сўнг 100×100×10 мм, 80×80×8 мм, кейин эса ўлчамлари 50×50×5 мм ҳалқалар ётқизилади. Насадкалар пастдан келаётган газ оқимининг гидравлик қаршилигини камайтириш мақсадида тўғри қаторлар бўйича ётқизилади.

Сульфат кислота минорага минора томига ўрнатилган томчи сачратувчи орқали киради, гидравлик тамба орқали эса оқиб чиқади. Миноралар бир-бири билан кислотага чидамли пўлат қопламали

газ ўтказгичлар оркали боғланган. Томчи сачратувчилар турли конструкцияли бўлиб, уларнинг вазифаси минора кесими бўйича кислотани бир текис тақсимлашдан иборат бўлади.

1 т H_2SO_4 га сарф коэффициентлари:

Колчедан (45 % S га ҳисоблаганда), кг	760 – 780
Нитрат кислота, кг	20 гача
Электр энергия, кВт-соат	25 – 30
Сув, м ³	25 – 30

4.6. СУЛЬФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШДА ТЕХНИКА ХАВФСИЗЛИГИ

Сульфат кислота ишлаб чиқаришда олтингугурт икки диоксиди, азот оксидлари, буғлар ёки куруқ материаллар, тумансимон сульфат кислоталар билан заҳарланиш, сульфат кислота ва олеумга тегиб кетганда кимёвий куйиши, термик куйиш ва электр токи билан шикастланиш ҳоллари учраши мумкин.

Контакт аппаратида ванадийли, катализатор массасини солаётганда ва ундан бўшатаётганда ванадий бирикманинг чанги хавфли бўлиб, у қон айланишини ўзгартиради, яллиғланиши ва аллергиялик тери касаллигини келтириб чиқаради, нафас олиш органларига салбий таъсир кўрсатади. Конъюктивитнинг пайдо бўлишига ва буруннинг шиллиқ пардаси яллиғланишига сабаб бўлиши мумкин. Ишчи хонада ванадий чангги массасининг концентрацияси йўл қўйиладиган чегараси билан 0,5 мг/м³ га тенг бўлади. Чангга қарши распирторлаар ёки «ВКФ» маркали противогазлардан фойдаланиш зарур. Коммуникация ва аппаратларнинг қизиган сиртига тегиб кетиш натижасида куйиб қолиш, электр токи билан эҳтиётсизлик билан муомала қилганда шикастланиш мумкин.

Олтингугурт диоксиди нафас олиш йўларига таъсир кўрсатади. Унинг катта концентрациялари бўғиш, нафас қисилишига олиб келади. Ишчи хоналарда SO_2 нинг йўл қўйиладиган концентрацияси чегараси 10 мг/м³ га тўғри келади. SO_2 таъсиридан химояланиш учун филтрловчи «V» ёки «ВКФ» маркали противогазлардан фойдаланадилар. Кучли шикастлангандан зарар кўрган кишини хона-

дан ташкарига тоза ҳавога олиб чиқиб, кислород бериш зарур. Керак бўлган ҳолларда тез тиббий ёрдамни чақириш лозим.

SO₂ олтингугурт уч оксиди нафас олиш йўлларини кичитиб, каттик йўтални қўзғатади, ўпканинг яллиғланишига сабаб бўлади. Ишчи хонада SO₂ нинг йўл қўйиладиган концентрацияси чегараси 1 мг/м³ атрофида бўлиши мумкин. Ҳимояланиш учун «ВКФ» маркали противогаздан фойдаланилади. Заҳарланганда 2 % ли ичимлик содаси билан томоқни чайиш, тезда шифокорга мурожаат этиш лозим.

Маргумуш ва селен ангидридлари жуда кучли заҳарловчи моддалардир. Ишчи хона ҳавосида маргумушли бирикмаларнинг йўл қўйиладиган концентрацияси чегараси кўпи билан 0,3 мг/м³ атрофида бўлади.

Сульфат кислота ва олеум киши танасига текканида кучли, тез битмайдиган куйдиришга сабаб бўлади. Тананинг катта қисмини куйдириш билан шикастлаши жуда хавфли, баъзан у ўлимга олиб келиши мумкин. Терига сульфат кислота ёки олсум текканда уни кучли босим остида оқаётган сув билан тезда ювиб ташлаш керак. Сўнгра терининг куйган жойини 5 % ли сода эритмаси билан намлаб, вазелин суртиб қўйиш керак.

Ток билан шикастланганда шикастланган кишини иложи борича тезроқ ток таъсиридан озод қилиш, сунъий нафас олдириш керак ва шифокорни чақириш лозим.

Электр ўтказгич ёки электр жиҳози бузилиши натижасида ёнгин содир бўлиши мумкин. Бунда зудлик билан электр шитини токсизлантириш зарур ва ўт ўчириш гуруҳини чақириш ва олдини олиш учун цех маъмуриятига хабар қилиш керак.

Углерод диоксиди – рангсиз, ҳидсиз, нордон таъмга эга газ. Ишчи хонада кишилар кам вақт бўлсалар ҳавода CO₂ микдори 0,2 ҳажм % ни ташкил қилиши мумкин; кишилар узок вақт туриб қоладиган бўлсалар ҳаводаги микдори 0,1 ҳажм % бўлиши керак.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Сульфат кислота олиш учун қандай хом ашё ишлатилади?
2. Колчедан, олтингугурт куйдириш печларининг тузилишини айтиб бering.

- H_2SO_4 ишлаб чиқаришда ювиш бўлимининг роли кандай?
4. SO_2 ни оксидлаш учун қандай катализаторлар ишлатилади?
 5. SO_2 ни оксидлаш оптимал температураси деганда нима назарда тутилади?
 6. Бир қатламли катализаторда SO_2 ни SO_3 нинг юкори оксидланиш даражасига нимага етказиш мумкин эмас?
 7. ИК-ИА тизимини ишлаш иринципини айтиб беринг.
 8. Айланма азот деб нимага айтилади?
 9. Контакт бўлими ишлашининг автоматик бошқариш принципини тушунтириб беринг.

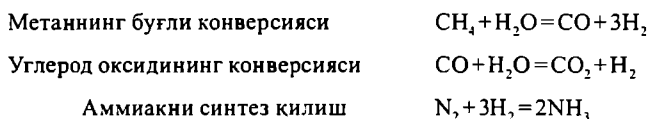
4.7. АММИАК ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Азот табиатда жуда кенг тарқалган, у оксил моддаларининг асосий элсментларидан бири бўлиб, ҳайвон ва ўсимликлар таркибий қисмини ташкил этади. У асосан атмосферада эркин молекулалар кўринишида бўлади. Ернинг 1 га майдони устида 80 минг тн. азот мавжудлиги ҳисоблаб чиқилган. Бирок ўсимликлар атмосферадаги азотни бевосита ўзлаштиролмайди. Уларнинг озикланиши учун сувда ёки кучсиз кислоталарда эрийдиган ноорганик бирикмалар зарурдир. Азотли ўғитлар ишлаб чиқариш учун минерал хом ашёлардан жуда чекланган миқдорда фойдаланилади. Асосий хом ашё манбаи сифатида атмосферадаги азот ҳисобланади. Азотни эркин (молекуляр) ҳолатдан кимёвий бириккан шаклга ўтказиш кимёвий технология соҳасида «боғланган азот (ёки технологияси) ишлаб чиқариш» ибораси билан юритилади. Ҳаводаги молекуляр азотни азот таркибли бирикмалар кўринишида боғлашнинг бир неча усуллари асосийси аммиакли усул – аммиакни азот ва водороддан олишдир: $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$. Аммиак синтез қилинишининг назарий асослари Ф.Гарбернинг 1904–1907 йиллари Германияда амалга оширган илмий изланишларида баён этилган эди ва ўша ерда 1913 йилда К.Бош томонидан илк бор саноат қурилмаси яратилди.

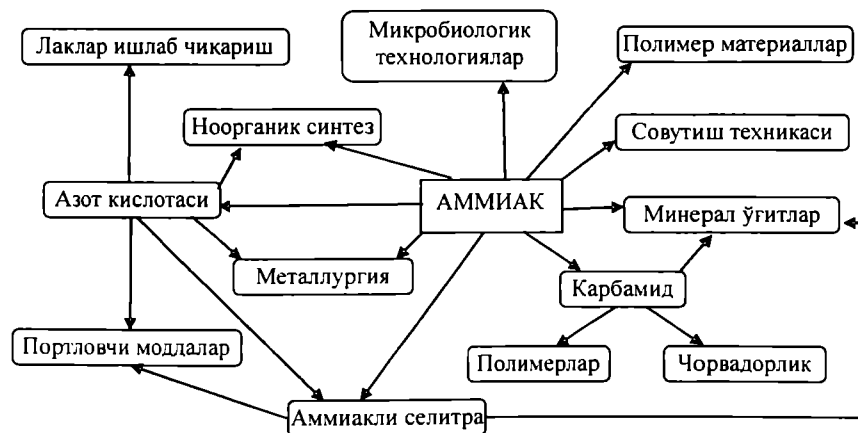
Азотдан фарқ қилган ҳолда водород табиатда молекуляр кўринишда деярли учрамайди, аммо боғланган ҳолда – сув ва органик хом ашё (нсфт, газ) кўринишида водороднинг захиралари гоятда кўпдир. Водород сувдан кўмирни газ ҳолига ўтказиш орқали олин-

ган, $(2C + O_2 = 2CO$ – газификация, $CO + H_2O = CO + H_2$ – конверсия CO) ҳамда сувни электролизлаш орқали олинган. Ҳозирги вақтда водороднинг асосий манбаи табиий газ (CH_4) ва сув ҳисобланиб, иккала компонентдан ҳам H_2 олинади. Олинadиган аммиак азот таркибли бирикмалар чиқаришнинг бошқа қўплаб турлари учун боғланган азотнинг бирдан-бир манбаи бўлиб қолди. Ҳар йили аммиак истеъмоли ўн миллион тонналаб миқдорни ташкил этади. Ундан фойдаланиш ўғитлар ишлаб чиқариш билан чекланмайди. NH_3 қайта ишлашнинг асосий йўллари 4.28-расмда келтирилган.

Аммиак ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси. Кимёвий схема куйидаги реакцияларни ўз ичига олади:

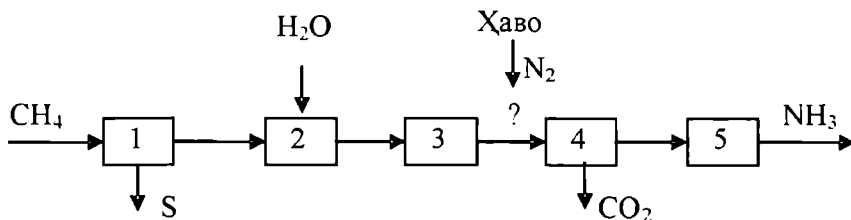


Барча реакциялар каталитик реакциялар бўлиб, бу ерда фақат асосий стехиометрик тенгламалар келтирилган. Функционал технологик тизимчалар табиий газнинг каталитик ядролари бўлмиш олтингугурт таркибли бирикмалардан тозалаш ҳамда азот водородли аралашмани углерод оксидидан тозалашни ўз ичига олади.



4.28-расм. Аммиакдан саноатда фойдаланиш.

Аммиак ишлаб чиқаришнинг функционал схемаси 4.29-расмда келтирилган. Ушуб схемада элементар азот олишнинг тузилмаси кўрсатилган – унинг ўрнига сўроқ белгиси қўйилган. Кўрсатилган тизимчаларнинг бундан қйсин кўриб чиқилишида хаводан азот ажратиб олиш усули асослаб бериладн.



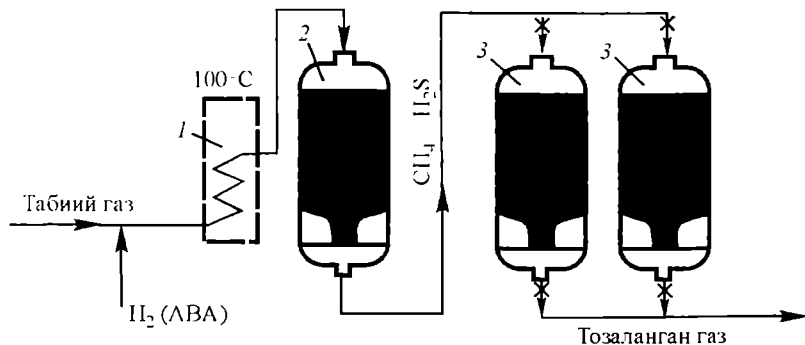
4.29-рasm. Аммиак ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси:

1 – табиий газни олтингугуртли бирикмалардан тозалаш; 2 – метаннинг конверсияси; 3 – углерод оксиди конверсияси; 4 – углерод оксидларидан тозалаш; 5 – аммиак синтези.

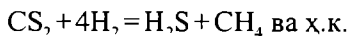
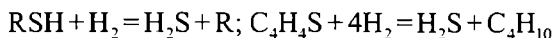
Табиий газни олтингугуртли бирикмалардан тозалаш. Табиий газ ўзида олтингугуртли бирикмалар аралашмаларини тутади. Улар меркаптанлар (RSH), тиофен (гетероциклик бирикмалар C_4H_4S), олтингугурт углерод (CS_2), сульфидлар (R_2S), олтингугуртли водород (H_2S) ва бошқалардир. Бундан ташқари газга кучли ҳидга эга бўлган этилмеркаптан қўшилади. Ушбу қўшимча табиий газга ўзига хос хид беради (метан – ҳидсиз газдир). Бу хавфсизликни таъминлаш учун қилинади – портлаш хавфига эга бўлган газнинг силкиб чиқиши атрофдагиларга сезилиши зарур. Табиий газ таркибида олтингугуртнинг миқдори кўп эмас, ўртача бир неча ўн mg/m^3 ни ташкил этади. Аммо олтингугурт барча кўринишда ҳам аммиак ишлаб чиқарилишида фойдаланиладиган катализаторларни заҳарлайди. Унинг миқдори $0,5 mg S/m^3$ қийматдан ортмаслиги лозим.

Кам миқдордаги аралашмалардан тозалаш учун сорбцион усуллар самаралидир, бироқ турли компонентлар турлича ўзига хос сорбентлар орқали йўқотилади.

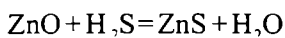
Кўп босқичли сорбцион тозалашдан қутулиш учун, барча олтингугурт таркибли бирикмалар аввал бир ҳолатга келтирилади – улар олтингугуртли водородгача гидратация қилинади:



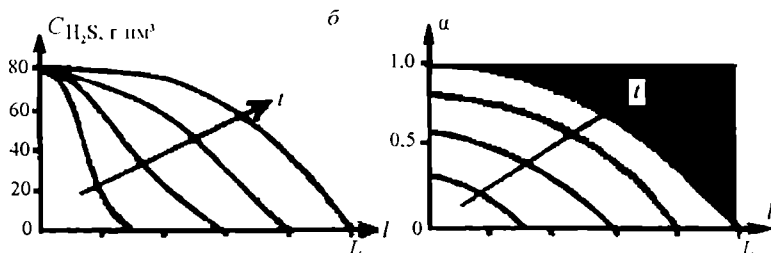
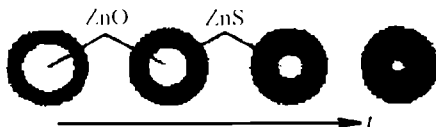
4.30-расм. Табиий газни олтингугурт таркибли бирикмалардан тозалашнинг технологик схемаси: 1 – чўғланма иситгич; 2 – гидрирлаш реактори; 3 – абсорберлар АВА-азотоводородли аралашма.



Гидратлаш учун керакли водород азотоводородли аралашма кўринишида аммиак ишлаб чиқаришда мавжуд. У 15 % гача микдорда кўшилади. Ушбу реакцияларда кобальт-молибденли катализатор 670K° ҳароратда фаол бўлади. Гидрирлаш реактори ичидан чикувчи газда олтингугурт H_2S кўринишида мавжуддир ва шу ерда газни адсорберда тозалаш амалга ошади. Табиий газни олтингугуртдан тозалашнинг технологик схемаси 4.30-расмда кўрсатилган. Олтингугуртни ютувчи рух оксидидир-ZnO:



Ютувчи модданинг тўлик ёки статистик олтингугурт ютиш ҳажми 670 K ҳароратда унинг массасининг 28 % ни ташкил этади. Ғовакли доначанинг олтингугурт ютиши катламма-катлам тарзда содир бўлади (4.31, а-расм) ва «газ-каттик» жараёнининг «ўзаро таъсир қилмовчи ядроси» модели оркали баён этилади. Абсорбер – донатор ютувчи модданинг қўзғалмас катлами солинган бир катламли реактордир. Ундаги реакция зонаси (сорбция) катлам баландлигининг фақат бир қисминигина эгаллайди ва сорбентнинг олтингугуртга тўйиниши билан катлам бўйича ҳаракатланади (4.31, б-расм). Чиқишдаги концентрация йўл қўйилган микдордан ошиши

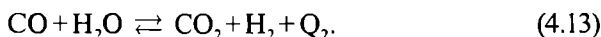
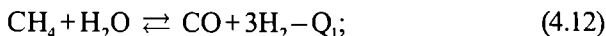


4.31-расм. Водород сульфидни рух оксиди оркали ютилиши:

a – ютувчи таблеткасининг олтингугуртга вақт бирлигида тўйиниши (қора билан кўрсатилган) – радиография маълумотлари. *б* – H_2S ($C_{\text{H}_2\text{S}}$) концентрацияси-ни катлам узунлиги l ва t вақт бўйича ҳамда ютувчининг α – водород сульфид билан тўйиниши даражасининг ўзгариши.

билан (тахминан 2–3 ой ўтгач) оқим бошқа абсорберга ўтказилади, ишлатиб бўлинган ютувчи модда янгиси билан алмаштирилади. Модомики, бунда сорбентнинг ҳаммаси тўйинмаган экан (расмда тўйинмаган қисми штрих билан кўрсатилган), демак, амалдаги, ёки динамик олтингугурт ютиш ҳажми 15–18 % ни ташкил қилади.

Метаннинг конверсияси. Метаннинг сув билан ўзаро таъсири никель таркибли катализатор иштирокида содир бўлади ва у икки қайтар реакциялар оркали ифодаланади:



Булардан биринчиси – эндотермик, иккинчиси экзотермик реакциялардир. Уларнинг мувозанатига ҳарорат даражаси турлича таъсир кўрсатади: биринчисига ижобий ва иккинчисига салбий. Модомики, бошида метаннинг мумкин қадар тўлиқ ажратилишини таъминлаш лозим бўлар экан, демак, жараённинг ҳароратини кўтариш мақсадга мувофиқдир. Бунда иккинчи реакциянинг му-

возанатн чап томонга сурнади. Метаннинг конверсияси ҳажм катталашуви билан содир бўлади, шунинг учун паст босим метаннинг янада тўлиқроқ ажралишига ёрдам беради.

Шу тарика, юкори ҳарорат ва паст босим метаннинг конверсияланишига термодинамик жиҳатдан фойдалидир. Аммо ушбу шартлар умуман технологик жараён учун фойдали бўлмаслиги мумкин. Охирги боскич бўлмиш аммиакнинг синтези юкори босим шароитида (30 МПа) ўтказилади. Газни сиқиш учун сарфланувчи А энергия P_1 дан ва P_2 гача босимлар бўйича қуйидагича ифодаланади:

$$A = \frac{\gamma}{\gamma-1} nRT \left[1 - (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma} \right]$$

бунда γ -политроп кўрсаткичи.

Энергия сарфланиши газ ҳажми n -моллар сонига мутаносибдир. Метан ва СО ларнинг тўлиқ ўтишида 4 моль водород ҳосил бўлади ва уларга азотнинг 4/3 моль стехиометрик миқдори қўшилади. Агар метан конверсияси термодинамик жиҳатдан фойдали, атмосфера босими остидаги шароитларда ўтказилса, кейинчалик азот-водород аралашмасининг беш ҳажмдан ортиқроғини сиқиш зарур бўлади.

Агар факат метаннигина (сув буғи босим остида киритилади) сиққан ҳолда, конверсияни оралик босим остида ўтказилса, энергия сарфи камроқ миқдорни ташкил этади. У ҳолда азот-водородли аралашманинг беш баробар ҳажмини сиқиш учун сарфланувчи энергия сезиларли равишда камаяди. Ҳар бир омилни ҳисобга олиб амалга оширилган ҳисоблашлар, конверсия боскичида 4 МПа миқдоридаги босим оптимал (энг мақбул) босим эканлигини кўрсатди.

Босимнинг метаннинг конверсияланиш мувозанатига бўлган таъсири 4.2-жадвалда келтирилган.

Буг: газ $\lambda = 2:1$ стехиометрик босимнинг 4 МПа миқдоргача қўтарилиши ҳаттоки 1300 К ҳароратда ҳам тўлиқ ўтишга эришишга имкон бермайди (жадвалнинг иккинчи устуни).

**ТУРЛИ ҲАРОРАТЛАРДА Т, БУҒ: ГАЗ λ ВА Р БОСИМЛАРДА
МЕТАННИНГ ЎТИШИНИНГ МУВОЗАНАТИ ДАРАЖАЛАРИ**

Т, К	CH ₄ – х _н ўтишининг мувозанат даражалари			
	P=0,1 МПа $\lambda=2$ I	P=4 МПа* $\lambda=2$ I	P=4 МПа $\lambda=4$ I	P=3,3 МПа* $\lambda=4$ I**
900	0,74	0,19	0,30	–
1000	0,91	0,33	0,50	0,64
1100	0,997	0,54	0,74	0,87
1200	0,999	0,75	0,92	0,97
1300	~1	0,91	0,99	0,994

Сув буғининг икки баробар ортиқлиги ($\lambda=4:1$) тўлиқ ўтишга эришишга имкон беради: $x_n=99\%$ (жадвалнинг учинчи устуни). Реакцион аралашманинг мана шундай таркиби саноатда қўлланилган.

Энди эса метан конверсиясининг танлаб олинган шароитларининг аппаратура-технологияга оид амалга ошувини кўриб чиқамиз. Мувозанат маълумотларига кўра, жараён учун юқори ҳарорат зарур бўлади. Ушбу шароитларда катализатор ниҳоятда фаол ва мувозанатга тез эришилади. Шунинг учун реактор ичида эришилган ўтишни етарли аниқлик билан мувозанат маълумотларидан аниқлаш мумкин. Метаннинг конверсияси-эндотермик реакциядир: метаннинг сув билан ўзаро таъсирининг иссиқлик эффекти 1 тенглама бўйича 206,4 кЖ/моль бўлиб, бошқа босқичнинг экзотермик эффектидан ортиқдир. (2) тенгламага К 41,0 кЖ/моль. Керакли иссиқлик катализатор жойлашган ва реакция содир бўлувчи, иссиқлик билан таъминловчи қувурларнинг девори орқали берилиши мумкин, яъни жараёни қувурсимон реакторда ёки аталишига кўра қувурсимон печда амалга ошириш мумкин. Қиздириш алангали инъекцион горелкаларда табиий газни ёқиш орқали амалга оширилади ва улар қувурлараро бўшлиқнинг юқори қисмида жойлаштирилади. 1200–1300 К ҳарорат остидаги тутун газлари реакторнинг пастки қисмидан чиқарилади.

* Метан конверсиясининг иккинчи босқичидан чиқишдаги босим.

** Шахтали конверторга кириш олдидан ҳаво қўшиш билан.

Конверсиянинг иккинчи босқичи жуда зарурдир. У адиабатик реактор ёки юритилишига кўра шахтали конвертор юқорида кўрсатилган. Унинг деворлари ичидан юқори ҳароратга чидамли материал бетондан футеровкаланган (қопланган) бўлиб, у корпусни ҳаддан ташқари кизиб кетишдан сақлайди. Керакли ҳарорат реактор ичига ҳаво киритиш орқали ҳосил қилинади. Метаннинг бир қисми ҳаводаги кислород билан ёнади ва ҳарорат 1230–1280 К гача кўтарилади. Аммо ҳаво билан бирга азот ҳам киритилади. Шундай бўлгач шахтали конвертор ҳаводан азотни ажратиш функциясини ҳам бажаради. Шу билан 4.29-расмдаги элементар азот олиш тизимчаси тўғрисидаги масала ҳал этилди. Метан конверсиясининг технологик схемаси 4.32-расмда келтирилган.

1 – кувурсимон печь; 2 – шахтали конвертор; 3 – утилизацияловчи козон;
4 – аралаштиргич; 5–7 – киздиргичлар.

Бериладиган ҳавонинг миқдори шундай бўлиши керакки, бунда водород: азот нисбати аммиакнинг синтез қилиниши учун стехиометрик бўлиб, 3:1 га тенг бўлиши лозим. Ҳисоблашни метаннинг ҳажм бирлигига мувофиқ равишда олиб борамиз:

ҳосил бўлувчи H_2 – 4 ҳажм;

керакли N_2 – 1,33 ҳажм ёки ҳаво – $1,33/0,79 = 1,69$ ҳажм (0,79-ҳаводаги N_2 миқдори);

ҳаво билан 0,21 $1,69 = 0,354$ ҳажм кислород киритилади;

кислород орқали газнинг ёниши учун стехиометрик тенгламага мувофиқ $2O_2 + CH_4 = CO_2 + 2H_2O$ 0,177 ҳажм метан CH_4 сарф бўлади.

Ушбу қўшимча равишдаги метан миқдорини ҳисобга олган ҳолда қувурсимон 1 реакторнинг биринчи конверсия босқичига киришда 1,177 ҳажм CH_4 ва 4,7 ҳажм H_2O берилади (буғ газ=4:1 нисбатда), иккинчи босқичга – шахтали конверторга 2–1,69 ҳажм ҳаво берилади. Шахтали конвертордан кейин ҳарорат 1230–1280 К ва босим 3,3 МПа ни ташкил этади, бу реакторларнинг гидравлик қаршиликлари сабаблидир. Реакцион аралашмага инерт газ бўлмиш азотни қўшиш ҳам, босимнинг камайтирилиши ҳам реакция мувозанатининг ўнг томонга сурилишига ёрдам беради. Бундай аралашманинг таркиби учун метаннинг ўтишининг мувозанат даражалари 5.4-жадвалнинг охириги устунида келтирилган. Шахтали реактордан кейин қуруқ газнинг таркиби:

H_2 –57–58 %; N_2 –22–23 %; CO –12–12,5 %;

CO_2 –7,5–8 %; CH_4 –0,3 %.

Газдаги сув буғининг миқдори – 35–39 %.

Реакцион аралашманинг иссиқлиги реактордан кейинги утилизатор-қозонда 3 да утиллаштирилади.

Албатта, жараёни фақат шахтали конверторнинг ўзида ўтказиш мумкин. Аппаратура жиҳатдан бу фойдали: табиий газнинг ёнишидан ҳосил бўлувчи иссиқлик реактор ичида ажралади ва ундан эндотермик реакциянинг режимини ушлаб туриш учун фойдаланиш энг тўлиқ бўлади (қувурсимон реакторда деворнинг термик қаршилигини ҳамда катализаторнинг донатор қатлами қаршилигини енгиш зарур). Модомики, азотнинг миқдори дозаланган бўлиши лозим экан, иссиқликни эса жуда кўп миқдорда бе-

рилиши керак экан, дсмак, ҳаво кислородн етмаслиги аник. Реактор ичига кислород билан бойитилган ҳаво берилади. Метаннинг бир босқичли буг кислород ҳаволи конверсияси аввалроқ ёйилган бўлади. Аммо унда рсакцион аралашманинг иссиқлигинн самарали тарзда фойдаланиш ва ёниш махсулотларини ажратиб олиш кийинроқ кечади. Схемаларга оид ечимларни оптимизациялаш реактор ичидаги жараённинг оптимизацияланиши устидан устунлик қилади. Аммиак ишлаб чиқаришнинг ҳозирги замон кўриниши метаннинг икки босқичли конверсиясини ўз ичига олади.

СО нинг конверсияси. Метаннинг конверсияланиш босқичида юқори ҳарорат водород олиш учун СО нинг салоҳиятидан фойдаланишга имкон бермайди. СО нинг реакцияни тескари томонга қараб содир бўлишига монелик қилувчи (4.12) танланган конверсия жараёни катализаторнинг ўзига хос тарздаги таъсирида олиб борилади. СО конверсиясининг селектив катализаторларидан темирхромли ва мис таркибли катализаторларидир. Булардан биринчиси 600–700 К ҳароратларда фаол, иккинчи 480–530 К ҳароратда бундан ҳам фаолроқ, аммо янада юқорироқ ҳароратларда фаоллиги пасаяди (дезактивацияланади).

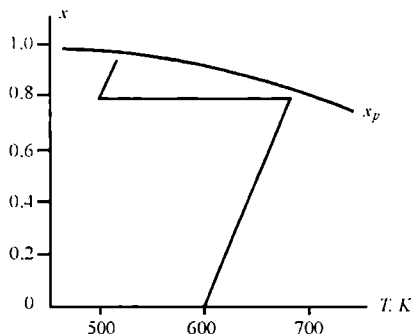
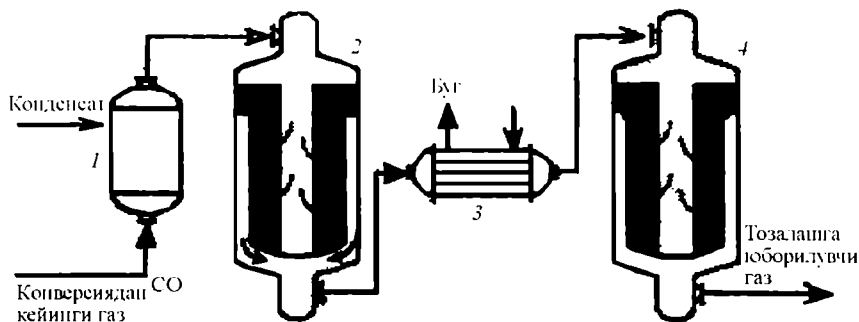
СО нинг конверсияси қайтар экзотермик реакциядир:



SO₂ нинг оксидланиш реакцияси сингари реакция реакторда катализаторнинг адиабатик қатламлари билан ва улар оралиғида совутишлар орқали ўтказилади. Оралик утилизатор-қозони бўлган қурилманинг технологик схемаси 4.33-расмда келтирилган; бу ерда «Т-х» диаграмма ҳам кўрсатилган; Биринчи қатламда (реакторда) термобарқарорроқ бўлган темирхромли катализатор, иккинчисига эса юқори фаолликка эга бўлган мис таркибли катализатор солинган. Буг газ нисбати=(0,6÷0,7) 1 га тенг бўлиб, намловчи орқали ушлаб турилади.

СО нинг қолган микдори 0,3–0,5 % ни ташкил қилади.

Баъзи схемаларда оралиқ совутиш конденсатни пуркаш орқали амалга оширилади ва сувнинг буғланиши ҳисобига қатламлар орасидаги ҳарорат пасаяди. Шу билан бир вақтда буг газ нисбати, яъни реагентлардан бирининг ортикча микдори кўпаяди ва ўтишнинг



4.33-расм. СО конверсиясининг технологик схемаси ва «Т-х» диаграммаси:

1 – намловчи; 2 – реактор тёмнохромли катализатор билан; 3 – утилизатор-қозон; 4 – мис таркибли катализатор солинган реактор; x_a – СО ўтишининг мувозанат даражаси; синик чизиқ-жараённинг режими.

керакли даражасига анча юкори ҳароратларда эришилади. Бундай схема иккала қатламга тёмнохромли катализатор юкланиши ҳолатларида қўлланиши мумкин бўлар эди.

4.7.1. Углерод оксидларидан тозалаш

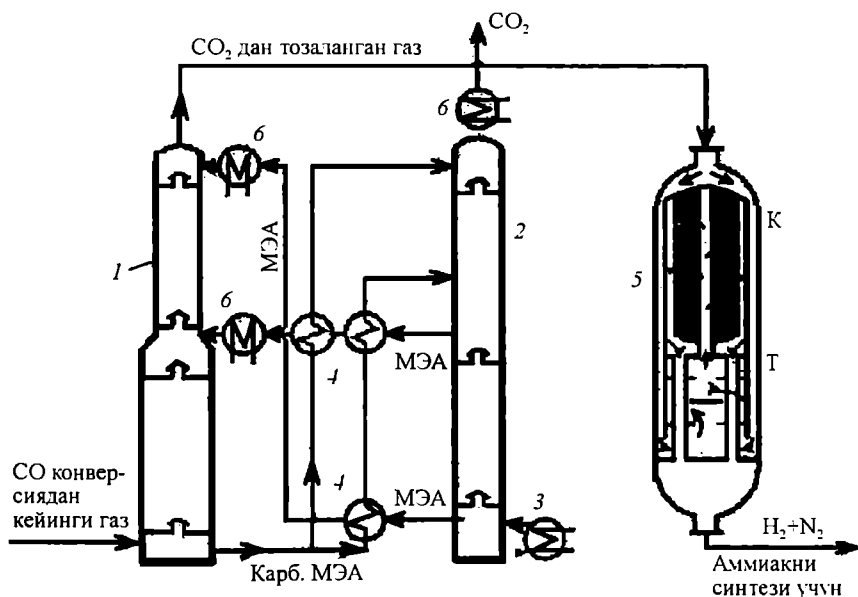
Конвертланган газ 17–18 % CO_2 ва 0,3–0,5 % СО газларидан ташкил топади. Булардан биринчи аралашма-аммиакнинг синтез қилиниши учун баланс бўлса, иккинчиси катализатор учун заҳарли ҳисобланади. Углерод диоксида моноэтаноламиннинг $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ (МЭА-тозалаш) 19–21 % сувли эритмаси орқали абсорбцияланади:



CO_2 нинг ютилиши (МЭА эритмасининг карбонизацияси) қайтар жараёндир. Ҳароратнинг кўтарилиши билан мувозанат чапга сури-

лади, яъни сорбентнинг регенерацияланиши мумкин бўладн. МЭА-тозалашнинг технологик схемаси абсорбер ва десорберлардан иборат икки асосий аппаратни ўз ичига олади (4.34-расм).

Тоза МЭА-эритма устида CO_2 нинг мувозанатга оид босими кам, шунинг учун газ ва суюклик карама-карши оқим билан берилади. Абсорбер – икки секцияга бўлинган учли шаклдаги (насадкасимон) ёки тарелкасимон кўринишдаги вертикал газ-суюкликли реактор. Газ аввал абсорбернинг пастки секциясидан ўтади ва бу ерда CO_2 гази асосий қисмининг ютилиши содир бўлади. Ушбу секция регенерацияланган эритма билан тўлик суғорилмайди. Яхши (тоза) регенерацияланган МЭА-эритма билан суғориловчи устки секцияда қайта тозалаш жараёни амалга оширилиб, газ кўпи билан 0,03 %



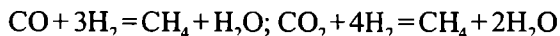
4.34-расм. CO_2 дан (МЭА-тозалаш) ва CO дан (метанлаш) тозалашнинг технологик схемаси:

1 – абсорбер; 2 – десорбер; 3 – қайнатгич; 4 – иссиқлик алмаштиргич; 5 – метанлаш реактори (К – катализатор, Т – иссиқлик алмаштиргич); 6 – совутгичлар, МЭА – моноэтаноламин, МЭА – тўлик регенерацияланмаган МЭА, карб МЭА – карбонизацияланган МЭА.

(хажмий) колдик микдордаги CO_2 билан чиқади. Абсорбция харорати кўпи билан 330 К ни ташкил этади.

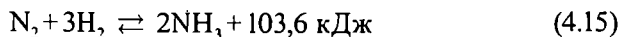
80–100 г/л карбонат кислотасидан иборат тўйинган эритма ресуператив иссиқлик алмаштиргичларда исийди ва учта оқим кўринишида десорберга йўналтирилади. Десорбциялаш учун иссиқлик бугли қайнатгич орқали берилади. Тоза эритма десорбнинг пастки қисмидан, дағал ресгенерацияланган эритма эса колоннанинг ўртасидан чиқариб олинади. Ушбу оқимлар совутилгач, абсорберга йўналтирилади. Бундай «рецикл билан регенерациялаш» схемаси аралашманинг тоза ҳолда ажратилишига ҳамда сорбентнинг тўхтовсиз сарфланишига йўл қўймаслик имконини беради (фақатгина йўқотишларнинг ўрнини тўлдириш учун сарфланади). Соф ҳолдаги CO_2 дан (карбамид, қаттик карбонат кислота ва б.) бошқа ишлаб чиқаришларда фойдаланилади.

МЭА эритмаси углерод оксидини ютмайди ва чиқаётган газ таркибида СО мавжуд бўлади. Аралашма сифатида у ажратиб олинмайди, балки катализатор учун зарарсиз ҳамда аммиак синтез қилиниши жараёнида инерт бўлган метанга айлантирилади. Метаннинг тесқари конверсияси реакцияси билан (метанлаш), катализатор заҳари сифатида СО дезактивацияланади. МЭА-тозалаш жараёнидан бўлган реакторга юборилади (4.34-расмда кўрсатилган). Бу ерда шунингдек CO_2 гидрацияланади:



СО микдори кам ва адиабатик киздириш бир неча ўн даражани ташкил этади. Бу эса бир қаватли реактордан фойдаланишга имкон яратади. Аммиакнинг синтез қилиниши учун келаётган, тозаланган синтез-газда мавжуд СО микдори $20 \cdot 10^{-6}$ хажмий улушдан ошмаслиги лозим. Метаннинг умумий микдори синтез-газ таркибида 1 % га яқинни ташкил этади.

Аммиакнинг синтези қуйидаги реакцияга мувофиқ



Ушбу реакция қайтар бўлиб, иссиқлик ажралиши ва ҳажм қисқариши билан содир бўлади. Ле-Шателье тамойилига мувофиқ, хароратнинг пасайиши ва босим кўтарилиши билан реакциянинг мувозанати аммиакнинг кўпайиши томонга сурилади.

Азотоводородли-аммиакли аралашма – идсал газ эмас ва реакци-
янинг мувозанат константаси K_M мураккаб равишда ҳарорат T ва
босимга P боғлиқ бўлади. Маълумотномага оид адабиётда K_M ни
ҳисоблаш ва мувозанат бўйича аниқ формулалар келтирилган.
600–900 К ҳароратли ва 20–40 МПа босимли соҳаларни тахминий
бўлсада ҳисоблаш учун аппроксимирловчи тенгламалардан фойда-
ланиш мумкин:

$$\lg K_M = -29,44 + 12770/T - 0,41 \lg P;$$

бу ердаги K_M (4.4) стехиометриктенглама учун аниқланган; ўлчамлар
бирлиги $T[K]$, $P[at]$.

Агар дастлабки (бошланғич) стехиометрик аралашма 1 моль
 N_2 ва 3 моль H_2 микдорлардан иборат бўлган бўлса, у ҳолда
ўтишнинг мувозанат даражасида x_M ($1-x_M$) моль N_2 ва 3 ($1-x_M$)
моль H_2 қолади, 2 x_M моль NH_3 ҳосил бўлади, умумий ҳажм эса
камайиб, $(4-2x_M)$ мольга тенг бўлиб қолади. Ҳажмий концентра-
циялар $(1-x_M)/(4-2x_M)$, $3(1-x_M)/(4-2x_M)$ ва $2x_M/(4-2x_M)$ га мувофиқ
тенг бўлиб қолади. Реакция мувозанатини куйидаги тенглама
орқали ифодалаймиз:

$$K_M = \left[\frac{P_{NH_3}^2}{P_{N_2} P_{H_2}^3} \right]_{\text{мувоз.}} = \frac{4^2}{3^3} \frac{(2-x_M)^2}{p^2} \frac{x_M^2}{(1-x_M)^4},$$

Ўтишнинг мувозанатли даражаларини касрдан топиш 4.3-жад-
валда келтирилган.

4.3-жадвал

СТЕХИОМЕТРИК АЗОТОВОДОРОД АРАЛАШМАСИНИНГ АММИАККА АЙЛАНИШИ МУВОЗАНАТЛИ ДАРАЖАЛАРИ, x_M

Ҳарорат, К°	P (МПа) босимлардаги x_M				
	0,1	1	10	30	100
600	0,0810	0,140	0,61	0,61	0,89
700	0,0024	0,036	0,33	0,57	0,78
800	0,0008	0,012	0,15	0,36	0,63
900	0,0003	0,005	0,07	0,21	0,47

Реакция (Al, K, Ca ва б.) элементларни барқарорлаштирувчи ва бехуда сарфланишига йўл қўйувчи говакли тсмир катализатори иштирокида содир бўлади. У 650–830 К ҳароратлар атрофида фаол ва тсрмик жихатдан тургундир. Шунинг учун синтез босимларининг саноатга оид муҳим соҳаси 20 МПа микдордан юкори бўлиб, бунда ўтиш даражаси 20 % дан ортик бўлади. Жараённинг техник-иктисодий асослари жараённинг 30–32 МПа босимда бўлиши энг мақбул (оптимал) ечим эканлигини кўрсатади. Босимнинг кўтарилиши аммиак микдорининг кам ҳосил бўлиши муносабати билан ускуна ва курилмалар ҳамда компрессияга бўладиган сарф-харажатларни кескин кўтариб юборади. Бу шарт-шароитлардан аммиак ишлаб чиқаришнинг замонавий агрегатларида фойдаланилади. Бундан кейин синтез тизимида жараёнларни таҳлил этишда азотоводородли аралашманинг x_m анъанавий ўтиш даражасидан эмас, балки куйида кўрсатиладиган нисбат билан боғлиқ, реакцион аралашмада аммиак концентрациясидан Z фойдаланамиз:

$$Z = x/(2 - x) \quad (4.16)$$

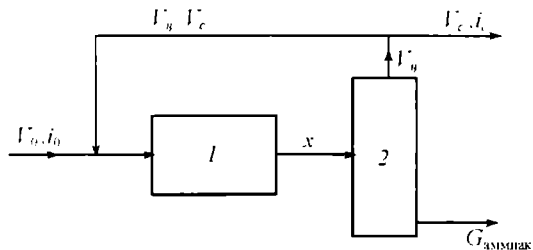
i инертлардан ташкил топган аралашма учун

$$Z = \frac{(1-i) x}{2-(1-i) x} \quad (4.17)$$

Кўриниб турибдики, Z катталиқ x қийматдан кичик, концентрация оқим ҳолатини яхшироқ тавсифлайди (унинг таркиби, ўтиш тезлиги, маҳсулот ажралиш имкониятларини ва ҳ.к.).

Танлаб олинган ҳарорат ва босимда реакторда тўлиқ ўтишга эришилиб бўлмайди – чиқувчи газда 16 % яқин NH_3 мавжуд бўлади (ўтиш даражаси 27–28 %). Азотоводородли аралашмадан янада тўлиқроқ фойдаланиш учун рецикл қўлланади – реактордан кейин маҳсулот (аммиак) ажратиб олиниб, реакцияга киришмай қолган H_2 ва N_2 реактор ичига қайтарилади. Аммиак аввал ҳаво орқали совиувчи совитгичда конденсация йўли орқали ажратилади, сўнгра эса конденсацион колонна ичида манфий 2–5°C ҳароратда қайта ажратилади.

Шундай бўлса ҳам, аммиакни тўлиқ ажратиб олишга эришилмайди ва синтезлаш реактор ичига киришда аммиак микдори 3 % ни ташкил этади.



4.35-расм. Учириб (пуфланиб) олиб кетилишини ҳисоблашнинг циркуляцион схемаси:

1 – реактор; 2 – маҳсулот ажралиш тизими.

Кселаётган реакцион аралашма таркибида 1,4 % микдоргача инерт бўлади (ҳаво орқали кириб қолган CH_4 ва Ar). Маҳсулот билан бирга чиқмаган ҳолда ушбу инертлар рсциклда тўпланади. Циркуляцияланувчан газдаги уларнинг микдори газнинг бир қисмини чиқариш йўли билан (учириш, пуфлаш) 16 % атрофида тутиб турилади. Ташланувчи газнинг ҳажмини циркуляцион схеманинг (4.35-расм) моддий баланси орқали топамиз. Кириб кселаётган газда i_0 , ташланадиган газда эса (циркуляцияланувчилар ҳам) – i_c инертлар мавжуд бўлади. Тизим ичига кирувчи V_0 ҳажмдаги синтез-газ унинг ичидан $G_{\text{аммиак}}$ микдордаги аммиак кўринишида ва V_c ҳажмдаги учирилувчи кўринишида чиқади.

Кирувчи ва чиқувчи окимлар орасидаги азотоводородли аралашма бўйича массавий баланс қуйидагича:

$$V_0(1-i_0)\gamma = G_{\text{аммиак}} + V_c(1-i_c)\gamma, \quad (4.18)$$

бу ерда γ – H_2 ва N_2 стехиометрик аралашманинг зичлиги.

Кирувчи синтез-газ ва чиқувчи окимлар орасидаги инерт бўйича массавий баланс қуйидагича:

$$V_0 i_0 = V_c i_c \quad (4.19)$$

Реактор олдидан янги синтез-газ (V_0) ҳамда циркуляцияланувчи ($V_u - V_c$) газдан иборат иккита оким аралашади. Рсактор ичида ҳосил бўлувчи аммиакнинг микдори $G_{\text{аммиак}}$ азотоводород аралашмасининг x ўтиш даражасида қуйидагича бўлади:

$$G_{\text{аммиак}} = [V_0(1-i_0) + (V_u - V_c)(1-i_c)]\gamma x \quad (4.20)$$

(4.7) ва (4.8) баланс тенгламан орқали, (4.9) тенгламадан фойдаланилган ҳолда $G_{аммиак}$ аммиак бўйича ишлаб чиқариш реактори учун ўчириб кетиш ҳажми ва рсциклни ҳосил қиламиз:

$$V_c = V_0 i_0 / i_c \quad (4.21)$$

$$V_u = \frac{(V_0 - V_c)(1-x)}{(1-i_c)x} \quad (4.22)$$

Рсактор ичидаги ўтиш даражасини унда мавжуд бўлган аммиак концентрацияси орқали аннқлаймиз:

$$x = x_0(Z_0) - x_0(Z_0) \quad (4.23)$$

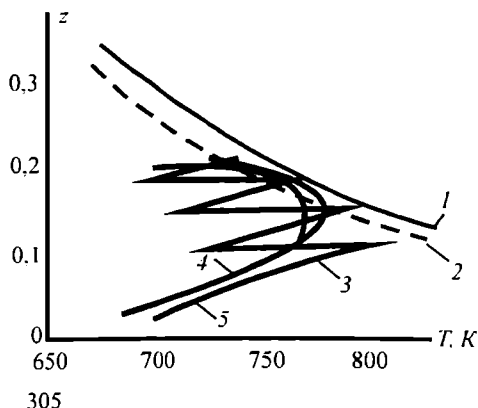
Бунда $x_0(Z_0)$, $x_0(Z_0)$ – аммиакнинг охириги Z_0 ва бошланғич Z_0 концентрацияларидаги, (4.6) тенгламадан инерт микдори i_c бўлишидаги азотоводород арашмасининг ўтиш даражалари.

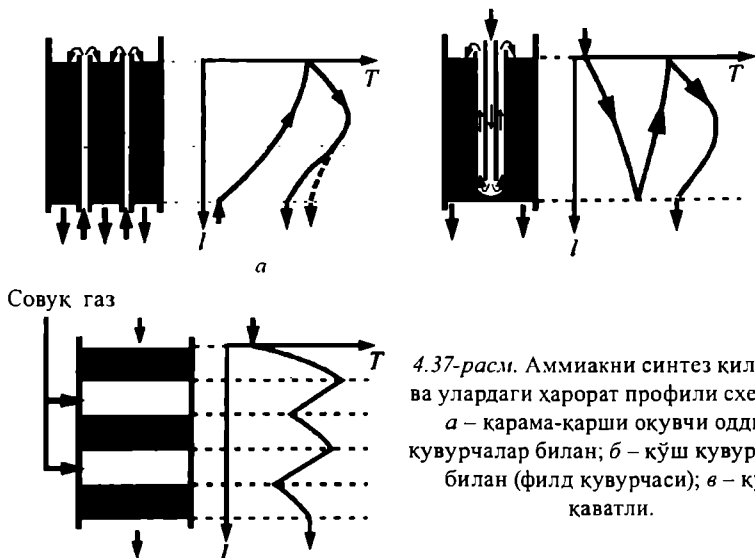
(4.21) ва (4.22) тенгламалар бўйича ҳисоблар юқорида баён этилган жараён режимида (i_0 , i_c , Z_0 , Z_0 қийматларда), янгигина синтез-газ оқимидан учириб олиб ютилиувчи (пуфланувчи) микдор 8 % ни ташкил этади, циркуляцияланувчи оқим эса ундан уч баробардан ортиқ микдорга кўп эканлигини кўрсатади. Бир тонна аммиакка тўғри келадиган синтез-газ сарфи 2600 нм³ ни ташкил этади. Қуввати 1360 т/сут бўлган замонавий аммиак агрегатида циркуляцияланувчи оқими 450 минг. нм³/соат ни ташкил қилади.

Аммиакни синтез қилиш реакцияси – қайтар экзотермик реакция. Ҳарорат назарий оптимал қийматга яқин бўлиши учун реакция зонадан иссиқлик олиб турилиши зарур. 4.36-расм, 2-эгри

4.36-расм. Аммиакни синтез қилиш рсактордаги жараён режимининг «Т-З» диаграммаси:

1 мувозанатли концентрациялар; 2–оптимал ҳароратлар; 3–кўп қаватли рсактордаги жараён; 4–5 – кувурсимон рсактордаги жараён (мувофик рсактордаги битталиқ ва иккиталиқ кувурчалар).





4.37-расм. Аммиакни синтез қилишда ва улардаги ҳарорат профили схемаси: а – қарама-қарши оқувчи оддий қувурчалар билан; б – қўш қувурчалар билан (филд қувурчаси); в – қўп қаватли.

чизик. Бу совитилувчи қувурсимон реакторда ёки бўлмаса оралик иссиқлик алмашиниши билан ишловчи қўп қаватли реакторда амалга оширилади. Реакторлар схемалари 4.37-расмда кўрсатилган.

Қувурсимон реакторда реакция зонадан иссиқлик янги реакция аралашмага ўтказилади. Катализатор қувурлараро бўшлиққа жойлаштирилади. Газ қувурчаларга кириб (4.37, а-расм) исийди ва улардан чиқиш чоғида қарши оқим таъсири остида катализатор қаватига қараб бурилади. 4.37-расмда реактордаги ҳароратлар профили, 4.36-расмда эса «Т-З» координатлардаги қаватдаги жараён режими келтирилган.

Бундай автотермик реактор аввалроқ кўриб чиқилган эди. Катализатор қавати пастки қисмида кучли совиб кетиши мумкин. Қаватда бир текисда бўлган профил қувурчаларнинг бир қисми изоляциялаш орқали олинishi мумкин. Расмда энлироқ чизик орқали қувурчаларнинг изоляцияланган қисми ажратиб кўрсатилган, ҳароратлар профилининг ўзгариши пунктир чизиклар орқали ифодаланган.

Худди шундай эффектга Фильда қувурчаларидан фойдаланган ҳолда эришилган (иккиланган) 4.36, б-расм. Газ ички қувурчаларга

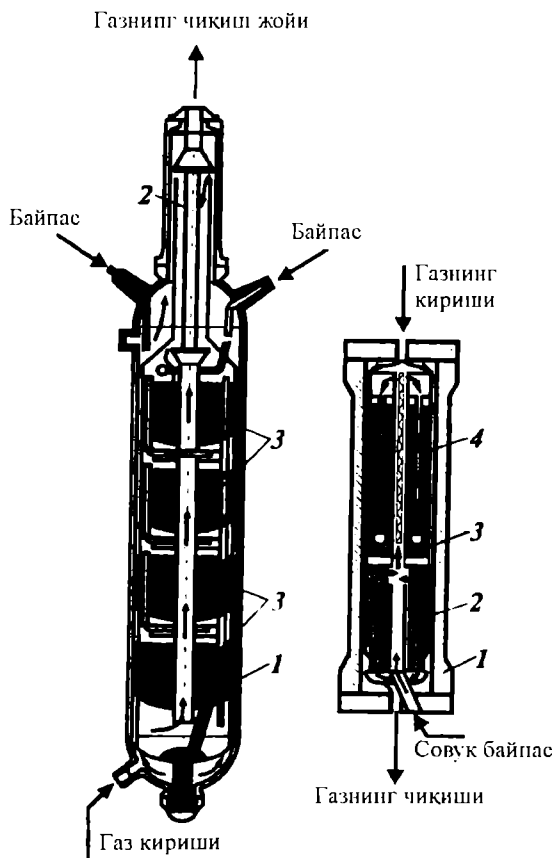
кнради, сўнг ички ва ташқи кувурчалар оралиғидаги ҳалқасимон бўшлиққа томон борилади. Улардан ўта туриб газ катализатор қаватидан иссиқлик олиб, шу билан бир вақтда иссиқликнинг бир қисмини ички кувурчалардаги мавжуд газга узатади. Иссиш анча равон содир бўлади, бу эса қаватдаги режимни яхшилайдди. Жараён бевосита қават олдидаги совуқ газнинг бир қисмини олиб келиш йўли билан, қаватдан бошланғич ҳароратнинг T_6 ўзгариши билан бошқарилади. Автотермик реакторда режимнинг бир хилда бўлмаслиги ва унинг турғун бўлмаслик ҳолати кузатилиши мумкин. Шунинг учун T_6 нинг ўзгариш чегаралари чекланган.

Кўп қаватли реакторда (4.36-расм) жараён адиабатик тарзда бир неча қаватларда оралиқ совитиш билан амалга оширилади. Реактор тузилишининг ихчам ва қулайлигига қаватлар орасидаги ҳароратни совуқ газ киритиш билан пасайтириш орқали эришиш мумкин бўлади. Пуфлаш миқдорини бошқариш билан режим назарий яқинлаштирилади. Реактордаги жараён режимини оптималлаштириш, яъни энг мақбул нуқтага келтириш оралиқ иссиқлик алмаштиргичлари бўлган реактор учун баён қилинганларга айнан ўхшаш тарзда амалга оширилади. Реакторнинг тузилмаси охириги вақтда кенг тарқала бошлади.

Барча турдаги реакторларда газнинг дастлабки исиши иссиқлик алмаштиргич ичида катализатор қаватидан чикувчи оқим орқали амалга оширилади. Реакторнинг барча элементлари – катализатор қаватлари, иссиқлик алмаштиргичлар, аралаштиргичлар юқори босим остида бўлган бир корпусда жойлашади. Кириб келувчи совуқ газ деворлар бўйлаб ўтувчи тор ҳалқасимон бўшлиқ ичидан ўтади ва бу билан уларни қизиби кетишдан сақлайди. Бу юқори босим таъсирида ўзида юкланиш тутувчи корпуснинг мустаҳкамлигининг сақланиб туриши учун жудамухимдир. Кувурсимон ва кўп қатламли реакторларнинг умумий кўриниши 4.38-расмда кўрсатилган. Замоновий ташқи реакторлар вертикал ҳолатда турувчи цилиндрсимон аппаратлардан иборат бўлиб, уларнинг ички диаметри 2400 мм, деворининг қалинлиги 265 мм, баландлиги 19,4 м ни ташкил этади. Шунинг учун улар аммиакни синтез қилиш колонналари деб юритилади.

4.7.2. Аммиак ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим

Табиий газ ва технологик ҳавони 4,5 МПа гача сиқиш, азотоводородли аралашмани 32 МПа гача сиқиш, унинг синтез тизимчаси ичида циркуляцияланиши юқори қувватли турбокомпрессорлар ёрдамида амалга оширилади. Бундан ташқари энергетик тизимда яна бир қатор машиналар мавжуд. Умумий энсргия истеъмоли 880—



4.38-расм. Аммиакни синтез қилиш реакторларининг умумий қўриниши:
а – қўп қатламли радиал қатламлар билан; *б* – иссиқлик алмаштиргичли
 иккиланган Фильд қувурчалари билан; 1 – корпус; 2 – иссиқлик алмаштиргич;
 3 – катализатор; 4 – Фильд қувурчаси.

900 кВт·соат/т NH_3 ни ташкил этади. Валининг айланиш частотаси 11000 айл./мин бўлган, аммиак ишлаб чиқаришнинг барча истъмоли қилинувчи энергиясининг ярмидан кўпини истъмол қилувчи газ синтез компрессорлари бош қурилма ҳисобланади. Ушбу компрессорни ҳаракатга келтириш учун электродвигателни қўллашнинг иложи бўмайди. Шунинг учун буг турбинасидан фойдаланилган. Унинг энергия тутувчиси – юқори параметрга эга бўлган буғ бўлиб, у 10 МПа гача босими ва 720–740 К ҳароратдан иборат. Бошқа компрессорлардан фойдаланиш учун кичикроқ параметрли энергия тутувчи буғ турбиналаридан фойдаланилади. Истъмол қилинувчи қувватнинг қопланиши ташқаридан энергия келтириш ёки ўзининг энергия тутувчисидан, хусусан, энергетик сув буғидан фойдаланиш ҳисобига амалга оширилиши мумкин бўлади.

4.39-расм. Аммиакни синтез қилиш агрегатининг энерготехнологик тизими:
1–қувурсимон печдан кейинги газ йўли; 2–буг тўплагич; 3–қўшимча горелка;
4–5–утилизатор-қозонлари (шахтали метан конверторидан ва мувофик равишда
СО конверсиясидан кейинги); 6–ёрдамчи қозон.

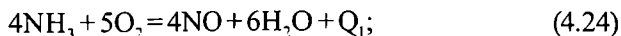
Аммиак ишлаб чиқаришда конвертирланган газ ҳамда метаннинг конверсияланишидан кейинги тутун газлари каби юқори лаёкатга эга бўлган технологик оқимлар мавжуд. Аммо уларнинг қуввати ва лаёкати юқори параметрли буғ ҳосил қилиниши учун етарли эмас. Бунда қўшимча равишда юқори ҳароратли энергия манбаи зарур бўлади. Мана шу вазифани бажарувчи қўшимча энергетик узел бўлиб, у аланга билан қиздирилувчи ва қувурсимон печдан кейинги газ йўлига ўрнатилган қўшимча қозондан иборат (4.39-расм). Технологик оқимлар линияларидаги утилизатор-қозонлари ҳамда қўшимча қозонда ҳосил қилинувчи буғ буғ тўплагичда йигилади ва бу ердан компрессорларнинг ҳаракатга келтириш қисми (привод) бўлмиш буғ турбиналарига тақсимланади. Шу тариқа, аммиак ишлаб чиқариш энергетик буғ бўйича автоном ҳисобланади, шу билан бирга уни ҳосил қилиш учун ўзининг иккиламчи ресурсларидан фойдаланган ҳолда, шунингдек, қўшимча равишдаги иссиқлик миқдори – табиий газни истеъмол қилади. Ишлаб чиқаришни энергия билан таъминлашнинг бундай схемаси энерготехнологик схема ҳисобланади.

4.8. АЗОТ КИСЛОТАСИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

1914 йилда кокс газни аммиаки асосида азот кислотаси ишлаб чиқариш ишланмаси амалга оширилиб, 1916 йили ҳозирги Донецк шаҳрида азот кислотаси ишлаб чиқарувчи цех фойдаланишга топширилди. Ишланма рус муҳандиси И.Н. Андреев раҳбарлигида олиб борилди. Ҳозирда аммиакдан азот кислотаси олиш – уни ишлаб чиқаришнинг асосий усули ҳисобланади.

Азот кислотаси ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси. Азот кислотаси ишлаб чиқариш учун асосий хом ашё синтетик аммиак, ҳаво кислороди ва сув ҳисобланади. Бунда куйидаги реакциялар содир бўлади:

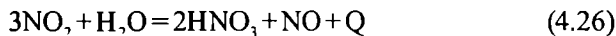
Аммиакнинг ҳаво кислороди орқали оксидланиши



Азот оксидининг азот диоксидигача қўшимча равишда оксидланиши



NO газининг сув орқали ютилиб, азот кислотаси ҳосил бўлиши

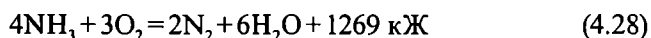
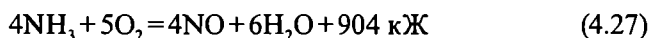


Учинчи реакция билан бир вақтда иккинчиси ҳам содир этилади, чунки NO_2 барча микдорини HNO_3 га айлантириш мумкин. Барча реакциялар экзотермик реакциялардир.

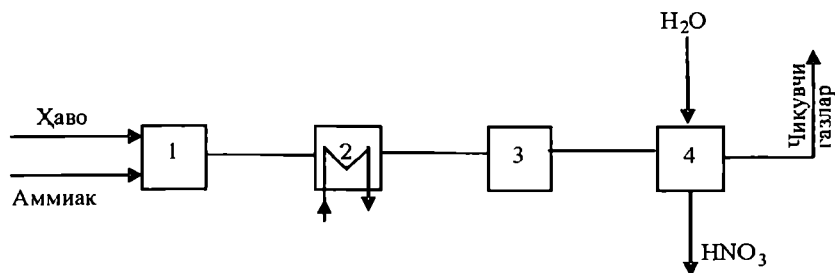
(4.24)–(4.26) кимёвий тенгламалардан келиб чиққан ҳолда функционал схема аммиакнинг оксидланиши, газларнинг кейинчалик совутилиши [(4.23) реакция юқори ҳароратда ўтади], азот оксидининг оксидланиши ҳамда ҳосил бўлувчи нитроз газларни сув билан абсорбциялаш тизимчаларини ўз ичига олади (4.40-расм). Азот кислотаси ишлаб чиқаришнинг КТТ-кимёвий технологик тизимини тузиш 5.2. бўлимда кўриб чиқилган эди.

Бу ерда биз ишлаб чиқариш айрим босқичларининг физик-кимёвий асосланишларига тўхталамиз.

Аммиакнинг оксидланиши – мураккаб қайтмас экзотермик каталитик реакциядир. Аммиак N_2 ва NO гача оксидланади. Ўтиш икки мустақил стехиометрик тенгламалар орқали ифодаланади:



Катализатор сифатида платина ёки платинопалладийродийли қотишма қўлланади (Pt микдори 81–92 %). Жараённинг ҳарорати

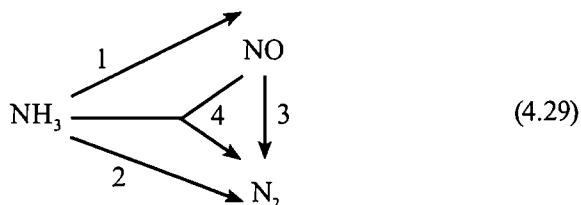


4.40-расм. Азот кислотаси ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси:

1 – аммиакни оксидланиши; 2 – газнинг совуши; 3 – азот оксидининг оксидланиши; 4 – абсорбция.

1100–1200 К. Бундай шароитларда азот оксиди N_2O амалда ҳосил бўлмайди. Экзотермик реакциянинг қайтар реакция бўлганлигидан (4.24) унинг мувозанати аммиакнинг оксидланиш ҳароратида чапга сурилган, шунингдек, азот диоксида мавжуд эмас.

Ўтиш (айланиш) схемаси стехиометрик тенгламалар (4.27)–(4.28) тизимидан фарқ қилади – аммиакнинг оксидланиш реакцияси тўртта хусусий реакцияларни (босқич) ўз ичига олади:



Бу схема экспериментал аниқланган: катализаторга фақат NO бериб, $2NO = N_2 + O_2$ реакцияси бўйича азот ва кислороднинг ҳосил бўлиши кузатилди; NH_3 ва NO аралашмасини бериб $4NH_3 + 6NO = 5N_2 + 6H_2O$ реакцияси бўйича N_2 ҳосил бўлиши кузатилди.

Ўтишнинг (айланиш) бундай схемаси азот оксиди чиқишининг ўтиш (айланиш) вақтига экстремал боғлиқлигини беради (4.41-расм).

Реакция тез содир бўлади, ташқи диффузион соҳада ўтади. Модомики, тезлик оқим ҳамда катализатор юзасидан иссиқлик ва модданинг олиб ўтилиши билан чекланар экан, унинг ички юзасини ривожлантиришга зарурият қолмайди ва у 0,09 мм диаметрли металл симдан тўқилган тўрдан иборат бўлади. Тутатиш вақти (тўқнашиш) $(1 \div 2) \cdot 10^{-4}$ миқдорни ташкил этади. Бу вақт ичида аммиак тўлиқ оксидланади, шундай бўлгач NO нинг чиқиши азот оксиди бўйича реакция селективлигига мос тушади.

Ташқи диффузион олиб ўтилишнинг ҳисобга олинишида қуйидаги формулалардан фойдаланилади:

$$\beta_1(C_1 - C_{1n})/V_1 = \beta_2(C_2 - C_{2n})/V_2 = r(C_{1n}, C_{2n}) \quad (4.30)$$

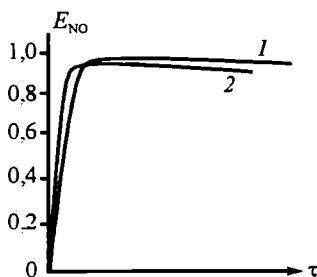
Индекслар каерда β_1 ва β_2 кам бўлса, мувофик равишда NH_3 ва O_2 га тааллуқли бўлади; β_1, β_2 – оқим ва юза орасидаги масса олиб ўтилиш коэффициентлари; C_1, C_2 – оқимдаги концентрациялар; C_{1n}, C_{2n} – юзадаги концентрациялар; $V_1 = 4$, $V_2 = 5$ – стехиометрик коэффициентлар; $r(C_{1n}, C_{2n})$ – реакция тезлиги.

$\beta_1 = \beta_2$ дсб ва стехиометрик нисбатни NH_3 $\text{O}_2 = 1:1,25$ дсб тахминлаб, (4.29) орқали C_{1n} $\text{C}_{2n} = 1:1,25$ нисбатни ҳосил қиламиз.

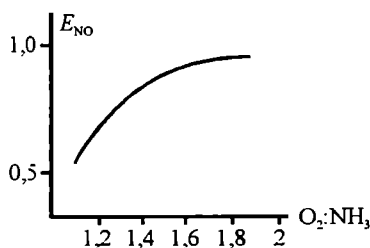
Ташқи диффузион соҳасида юзадаги дастлабки моддалар концентрацияси ҳажмидагига қараганда анча кам. Юза олдида NH_3 нинг миқдори кам бўлгани каби O_2 ҳам оз бўлади. Бундай шароитларда оксидланиш асосан азотгача давом этади. Ундан аммиакни сиқиб чиқариш учун юза олдида кислороднинг ортиқча миқдори зарур бўлади. Шунда унинг оксидланиши янада чуқурроқ, яъни NO гача бўлиши мумкин.

$\text{O}_2:\text{NH}_3$ нисбатнинг оқимда NO чиқишига бўлган таъсири 4.42-расмда кўрсатилган. $\text{O}_2:\text{NH}_3$ нисбатнинг $1:1,8$ миқдордан ортиқ бўлишида жараённинг селективлиги амалда ўзгармайди. (4.29) формуладан $\text{C}_{1n} = 0,01$ C_1 бўлишида юза устида 50 мартадан ортиқ миқдорда O_2 бўлади ва бу реакциянинг юқори селективлигини таъминлайди. $\text{O}_2:\text{NH}_3 = 1$ $1,8$ нисбат аммиак – ҳаво аралашмасида 10 % NH_3 бўлишига жавоб бўлади ва ишлаб чиқаришда шундай қабул қилинган.

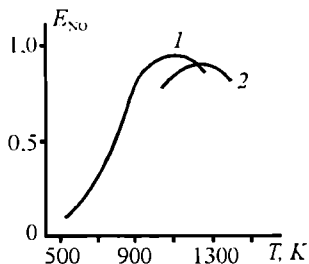
Босим (4.44) схемадаги 3 боскич бўйича NO ни N_2 гача парчалашини кучайтиради ва шу билан максимал чиқиш миқдорини 0,1 МПа босимда 97–98 % гача, 0,7 МПа босимда эса 95–96 % гача максимал чиқишни камайтиради, гарчи ўтиш (айланиш) тезлиги кўпайганда ҳам (қ.4.41-расм). Мувофиқ равишда жараённинг 0,1 МПа бўлишида ўтказиш учун 8–12 та катализатор тўрлари, 0,7 МПа бўлишида эса 5–6 та камализатор тўр керак бўлади.



4.41-расм. Азот оксиди ҳосил бўлиш миқдорининг E_{NO} аммиакни 0,1 МПа (1) ва 0,7 МПа (2) босимларда оксидланишида туташиш вақтига τ боғлиқлиги.



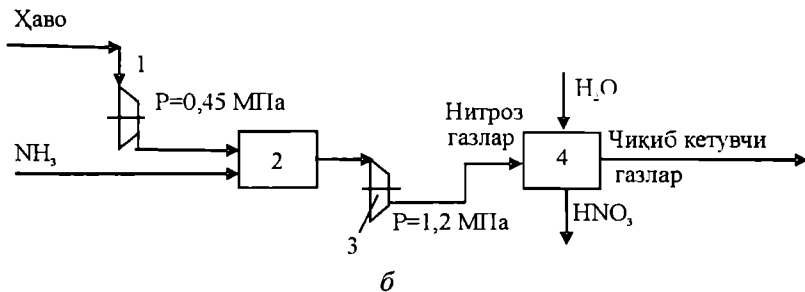
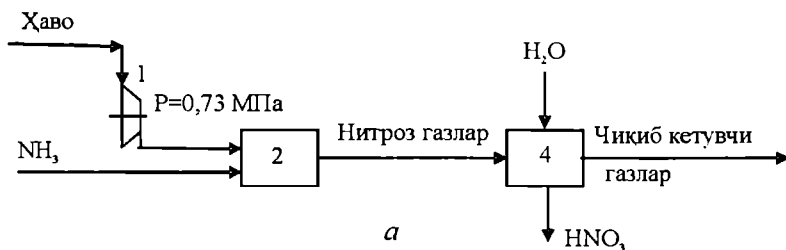
4.42-расм. Аммиакнинг оксидланишида $\text{O}_2:\text{NH}_3$ нисбатнинг азот оксиди ҳосил бўлиш миқдорига E_{NO} таъсири.



4.43-расм. Т ҳароратни аммиакни 0,1 МПа (1) ва 0,7 МПа (2) босимларда азот оксидининг ҳосил бўлиш миқдорига E_{NO} таъсири.

Ҳароратнинг NO нинг максимал чиқишига таъсир этиш кўрсатиши экстримал хусусият касб этади (4.43-расм) ва босимнинг ортиши билан NO нинг максимал чиқиш ҳарорати кўтариллади.

Босим NO нинг чиқишини камайтирса ҳам, ишлаб чиқаришда жараён кўтарилган босим остида олиб борилади. Россияда ишлаб чиқилган жараёни 0,73 МПа босим остида олиб бориш кенг татбиқини топган (4.44, а-расм). Умуман олганда, кимёвий-технологик тизим (КТТ) оптималлик шартларидан танлаб олинган.

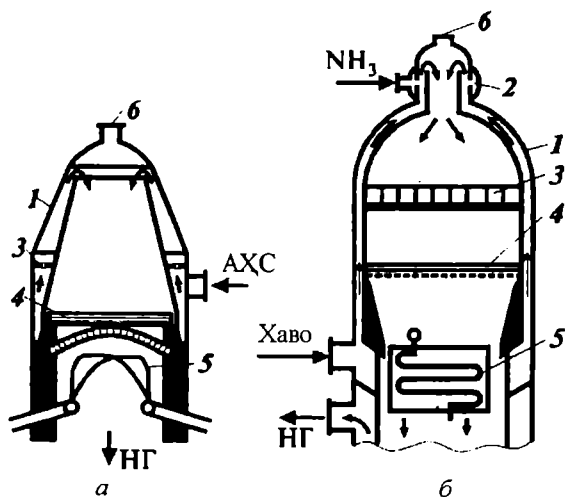


4.44-расм. Ягона босим (а) ва икки хил босимлар (б) остида азот кислотаси олиш схемаси:

1 – ҳаво компрессори; 2 – аммиакни оксидлаш тизими; 3 – нитроз газлар компрессори; 4 – нитроз газларнинг абсорбциялаш тизими.

Босимнинг ортиши абсорбцияни сезиларли равишда яхшилайдиган реакция: атмосфера босимида фойдаланувчи 6–8 та колонналар ўрнига 0,7 МПа босимда битта колоннанинг ўзи кифоядир. Бошқа ускуналарнинг ташки ўлчамлари (габаритлари) ҳам кичрайдиган, ихчамлашади. Оширилган босимда энергетика бўйича ёпиқ бўлган энергетик технологияни яратиш мумкин. Охириги ишланмалар – икки хил босимдаги схемалардир (АК-72 тизим) (4.44, б-расм). Оксидлаш 0,4–0,45 МПа босим шароитида ўтказилади, сўнг нитроз газ абсорбция олдида 1–1,2 МПа гача сиқилади. Кўринишидан ойдинки, асосий жараёнлар учун-оксидлаш ва абсорбциялаш-ягона босимда бўлганига қараганда яхшироқдир, гарчи бу нитроз газ билан ишловчи махсус компрессордан фойдаланишни талаб қилса ҳам (ягона босимда фақат ҳаво компрессоридан фойдаланилади).

4.45-расмда баён этилган икки тизим учун аммиакни оксидлаш реактори келтирилган. Тўр кўринишида бўлган катализатор 4 корпус ичига тортилган. Тўрларни осилиб қолишининг олди олини-



4.45-расм. Ягона босим тизими 0,73 МПа (а) ҳамда икки хил босим-АК-72 (б) тизимларидаги аммиакни оксидлаш реактори:

1 – корпус; 2 – аралаштиргич; 3 – таксимлаш жиҳози; 4 – катализатор тўрлари; 5 – утилизатор-козони; 6 – портлаш мембранаси; АХА – аммиак-ҳаво аралашмаси; НГ – нитроз газлар.

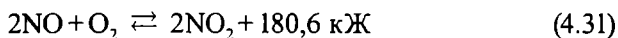
шн учун уларнинг остига таянч панжара устига вертикал тарзда халкалар ўрнатилган.

Аммиак чиқарувчи аралаштиргичга ёки ҳалқасимон тиркиш орқали бир маромда бериш орқали ҳаво билан аралаштирилади. Реакторнинг баланд конуссимон қисми окимнинг рсакторнинг кўндаланг кесими бўйлаб бир тскисда ёйилиши учун хизмат қилади, тўрлар кавати жуда юпка бўлиб, окимни тўғрилай олмайди. Модомики, окимнинг абсолют (мутлок) бир текисда бўлишини амалга ошириш қийин экан, бунда тўрларнинг кўпайтирилган – 10–12 со- нидан фойдаланилади ва бунда босим 0,7 МПа бўлади.

Юкори ҳароратларда платина кўпинча PtO_2 – оксиди кўринишида буғланади. Бунда йўқотишлар 0,16 г Pt/t HNO_3 (1200 К ҳароратда)ни ташкил қилади. Платинани ушлаб қолиш учун тўрлар остидан CaO асосида тайёрланган ютгич солинади. Қайтмайдиган йўқотишлар 0,07 грамм Pt/t HNO_3 микдоргача камаяди.

Аммиакнинг оксидланишидан сўнг ҳосил бўлувчи газларнинг иссиқлигидан утилизатор-козонида буғ ҳосил қилинишида фойда- ланилади. У тузилмавий жиҳатдан реактор билан уйғунлашган.

Азот оксидининг оксидланиши – гомоген қайтарилувчи экзо- термик реакция:



400 К дан паст ҳароратда реакция мувозанати амалда тўлиқ NO_2 ҳосил бўлиш тарафига сурилган. Рсакция барча ускуналарда – кувурўтказгичларда, иссиқлик алмаштиргичларда ва бошқа аппа- ратларда ўтиши мумкин.

Кинетик моделнинг реакция стехиометриясига жавоб бериши аниқланган:

$$r = k_1 P_{\text{NO}}^2 P_{\text{O}_2} - k_2 P_{\text{NO}_2}^2 \quad (4.32)$$

Бу формуладан кўриниб турибдики, босим реакцияни сезиларли тарзда тезлаштиради ва бу уни КТТ да кўтарилиш фойдаси ҳақида дарак беради. Шунинг учун, реакциянинг тугалланишида реакцион аралашманинг маълум вақт давомида тутиб турилишини таъмин- ловчи ҳажмли аппарат бўлмиш оксидлаш ускунаси ўрнатилади.

4.46-расм. Азот кислотаси олиш реактори (абсорбцион колонна): 1 тўрсимон тарелкалар; 2 иссиқлик алмаштиргичлик элементлари; 3 сачратгичлар.

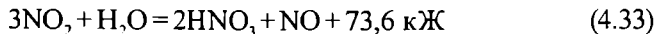
NO нинг оксидланиш реакцияси экзотермик реакциядир. Нитроз газ қўшимча равишда совутилиши зарур. Совутишда сув конденсатланади. Бунда ҳосил бўлувчи суваммиакка бериладиган сувга қараганда 1,5 марта ортик бўлади. Конденсатланувчи сув нитроз газ билан ўзаро таъсирга киришиб, азот кислотасини ҳосил қилади. Газнинг сув билан туташиш вақтини камайтириш мақсадга мувофиқдир, шунинг учун махсус тезлаштирилган иссиқлик алмаштиргич-конденсатор қўлланилади. Унинг ичида 30 % ли кислота ҳосил бўлади. У шу концентрацияга мувофиқ келувчи абсорбцион колоннанинг кесимига юборилади.

Азот оксидининг абсорбцияси.

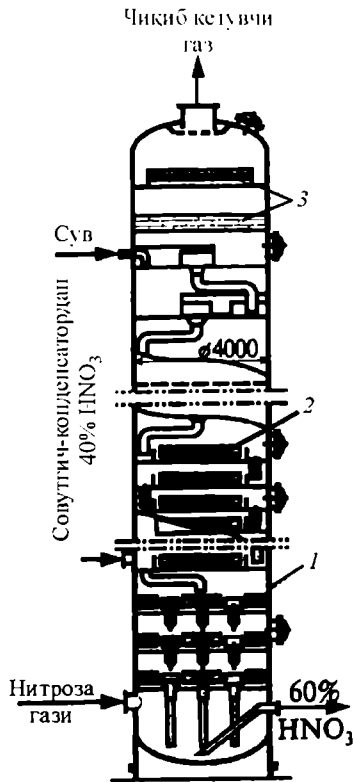
Азот диоксида сув билан қуйидаги реакция орқали ўзаро таъсирга киришади.



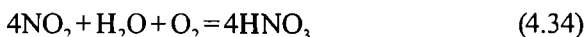
Биринчи реакция бўйича ҳосил бўлувчи азот кислотаси барқарор эмас ва тезликда NO қисми газ фазасига айланади. Умумий ҳолда абсорбция қуйидаги тенглама орқали ифодаланади:



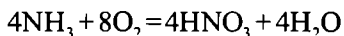
NO₂ нинг H₂O билан ўзаро таъсири – жуда тез реакция, HNO₃ билан суюқликда ва NO₂ билан газда мувозанатга эришилади. NO нинг бундан кейинги оксидланиши (ҳам газли, ҳам суюқ фазаларда) секин ўтади. Унинг тугалланиши учун маълум вақт ҳамда NO



нинг оксидланиши содир бўладиган бўшлиқ зарур бўлади. (4.32) реакция-гетероген газ-суюкликка оид реакция, (4.30) эса гомоген реакциядир. Шунинг учун азот кислотаси ҳосил қилинувчи реактор қуйилувчи тўрсимон тарелкалари бўлган абсорбцион колоннадан иборат (4.46-расм). Тарелкалар ораларидаги бўшлиқ ажралиб чикувчи NO асосий миқдорининг газ фазали оксидлагичи сифатида ишлайди. Суюкликнинг унча баланд бўлмаган қаватида (тарелкада) амалга оширилувчи барботаж газ билан жадал масса алмашинувининг амалга оширилишини таъминлайди ва бунда у газ аралашмаси компонентлари ютилишига ёрдам бериб, HNO_3 ҳосил бўлиши ҳамда NO нинг суюқ фазали оксидланишини таъминлайди. Абсорбцион колоннада қуйидагича брутто-тенглама орқали ифодаланувчи айланишлар—ўтишлар содир бўлади, деб ҳисобланиши мумкин:



NH_3 ни HNO_3 га айланишининг қуйидаги умумий тенграмасидан



кўриниб турибдики, 1 ҳажм NH_3 га 2 ҳажм кислород сарфланаяпти. Аммиакнинг оксидланиш босқичида ҳаво билан бирга 1,8 ҳажм O_2 берилади. Қолган кислородни (ҳаво) абсорбцион колоннага NO тўлиқ оксидланиши учун берилиши лозим бўлади.

Ҳароратнинг пасайиши билан NO_2 ютилиши яхшиланади. Реакция иссиқлигини олиб кетиш учун тарелкалар ичида сув циркуляцияланувчи текис ясси илонизисимон найчалар ўрнатилган.

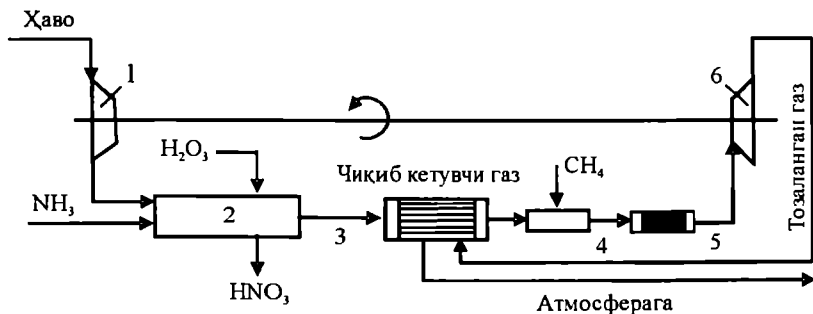
Босимнинг ортиши NO_2 нинг ютилишига ва ҳосил бўлувчи кислотанинг концентрациясини 1 ат. босимда 47–49 % лик HNO_3 , 7 ат. босимда 58 % лик, 11 ат. босимда 62 % гача концентрациядаги HNO_3 кўпайишига ёрдам беради.

Азот кислотаси ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим. Абсорбциядан кейин чикиб кетувчи газлар таркибида 0,1 % миқдордагача азот оксидларидан тозаланиши лозим. Атмосфера босими ва паст ҳароратда азот диоксидининг димери N_2O_4 — кўнғир-сарғиш рангли газ ҳосил бўлади. Шунинг учун мўрикондан чиқадиған тозаланмаған нитроз гази «тулки думи» деган ном ол-

ган. Атмосфера ёгинлари азот оксидларни камраб олиб, кислотали ёмғирларни ҳосил қилади.

Газларни азот оксидларидан тозалаш уларни N_2 гача каталитик қайтариш орқали амалга оширилади. Қайтарувчи сифатида реактор-нейтрализаторнинг олдидан, абсорбциядан сўнг газларга дозаланувчи аммиак хизмат қилиши мумкин. Шунингдек, қайтарувчи ролини метан (табиий газ) ўйнаши мумкин. Булардан охиргисидан энерготехнологик тизимни ташкил қилишда фойдаланиш мумкин.

Газлар абсорбциядан сўнг юқорилашган босим остида бўлади ва унинг қувватидан газ турбинасида ҳаво компрессори ҳаракат узатгичи учун фойдаланиш мумкин. Бирок чиқиб кетувчи газларнинг энергияси турбинанинг ишчи жисми сифатида ҳавони тизимга кириш босимигача сиқиш учун етарли эмас. Биринчидан, аппаратлар ва қувур ўтказгичлардаги гидравлик қаршиликни енгилда босим йўқотишлари юзага келади ва чиқиб кетувчи газлар киришдагига қараганда бир мунча паст босимга эга бўлади. Иккинчидан, чиқиб кетаётган газнинг ҳажми зарурат кераклисига қараганда кам – кислороднинг деярли барча қисми маҳсулот ҳосил бўлиши учун сарфланади. Ишчи жисмнинг энергиясини ошириш учун уни иситиш лозим бўлади. Бунинг учун технологик тизимга энергетик узел бўлмиш табиий газ горелкаси киритилади (4.47-расм). Юқори ҳарорат (1000–1050 K) азот оксидларининг палладийли катализатор устида нейтралланиши ўтказилишига, сўнгра эса компрессор билан бирга бир валга ўрнатиловчи турбинадаги тозаланган газ-



4.47-расм. Азот кислотаси ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим:

1 – компрессор; 2 – технологик аппаратлар; 3 – иссиқлик алмаштиргич;

4 – газ горелкаси; 5 – каталитик тозалаш реактори; 6 – газ турбинаси.

нинг босими ва ҳарорати қувватидан фойдаланишга имкон беради. Горелкага ёқилган сарфлай туриб, ҳаво компрессори тизимида энергиянинг асосий истисмолчиси учун ташқаридаги энергиядан фойдаланиш муаммосидан тўлиқ қутулиш мумкин.

Газдаги абсорбциядан кейин қолдиқ кислороднинг концентрацияси ҳамда табиий газ миқдори шундай тарзда танланадики, бунда газда горелкадан кейин етарли даражада метан бўлсин ва қайтарувчи атмосфера мавжуд бўлсин. Ушбу шартларга CH_4 нинг 10 % ортиқча қисми ва CH_4 : $\text{O}_2 = 0,55$ нисбат жавоб беради. Каталитик тозаланишдан кейин азот оксидлари концентрацияси 0,1 % (ҳажм) дан 0,002-0,008 % (ҳажм) гача пасаяди.

Азот кислотаси ишлаб чиқариш реакторлар назарияси ва кимё-технологик тизимларнинг кўпгина низомларининг амалга оширилишига яхши мисол бўла олади.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Атмосфера ҳавосидаги азотни боғлашнинг қандай турлари ва усуллари биласиз?
2. Кальций цианамиди қандай модда ва уни элементар азотни боғлашдаги аҳамиятини тушунтириб беринг.
3. Боғланган азот ишлаб чиқариш ҳам ашёларининг қандай турларини биласиз?
4. Ўзбекистон Республикасидаги боғланган азот ишлаб чиқарадиган қандай корхоналар бор?
5. Атмосфера ҳавосини ажратиш усулларини сўзлаб беринг.
6. Ҳавони суюклантириш ва сўнгра уни ажратиш учун чуқур совуқлик олишнинг қандай цикллари қўлланилади?
7. Нима учун ҳавони сув буғи, углерод диоксида, чанг ва ацетилендан тозалаш зарур? Йирик ҳаво ажратиш қурилмаларида ҳаво бу аралашмалардан қандай тозаланади?
8. АКТ-1Б ҳаво ажратиш қурилмаси қандай ишлайди?
9. Регенераторлар, бу қурилмадаги пластинки ва юқориги ректификация миноралари, асосий кондензатор-буғлатгичлар тузилишини тушунтириб беринг.
10. Газ ва суюклантирилган ҳолдаги газлар қандай сақланиши ва ташилиши ҳақида сўзлаб беринг.
11. Нима учун табиий ва йўлдош газлар аммиак ишлаб чиқаришда асосий ҳам ашё ҳисобланади?

12. Метан конверсиясининг асосий тенгламаларини ёзинг. Қайси реакциялар амалий қайтар реакциялар ҳисобланади? Метан конверсияси даражасига босим, температура ва CH_4 $\text{H}_2\text{O}_{(\text{буғ})}$ ёки CH_4 $\text{H}_2\text{O}_{(\text{буғ})}$ O_2 нисбатларининг таъсири қандай?
13. СО конверсияси жараёнига босим, температура ва N_2O SO нисбатларининг таъсири қандай?
14. CH_4 ва СО нинг конверсияси жараёнларида қандай катализаторлар ишлатилади?
15. Метаннинг бир босқичли буғ-кислородли конверсияси тасвирини тушунтиринг. Жараённинг асосий параметрлари (босим, температура, CH_4 $\text{H}_2\text{O}_{(\text{буғ})}$ O_2)ни айтинг.
16. Метаннинг икки босқичли буғли ва буғ-ҳаволи каталитик конверсияси қандай хусусиятларга эга? Бу жараённинг тасвирини тушунтиринг ва жараённинг асосий параметрларини айтинг.
17. Газларни сиқишда ажралиб чиқадиган иссиқлик қандай олиб ташла-нишини тушунтириб беринг.
18. Нима учун йирик тонналик аммиак ишлаб чиқарувчи ҳозирги замон курилмаларида поршенли компрессорлар ўрнига марказдан қочмали компрессорлар ишлатилади?
19. Аммиак синтези жараёнининг тенгламасини ёзинг, бу жараёнда босим ва температуранинг ролини тушунтиринг.
20. Аммиак синтези катализаторларининг вазифаси қандай? Саноатда қандай катализаторлар қўлланилади? Аммиак синтези катализаторларининг таркибига қандай промотор (активатор)лар киради ва уларнинг вазифаси?
21. Каталитик заҳарлар нима, азот-водород аралашмасидаги уларнинг рухсат этилган концентрациялари қандай?
22. Аммиак синтези агрегатининг тасвирини тушунтиринг. Катализатор зонасидаги температурани айтинг. Синтез минорасидан кейин газдаги аммиакнинг концентрацияси қандай?
23. Синтез минорасининг тузилишини таърифланг. Иссиқлик алмаш-тиргичнинг роли қандай, катализатор зонасидаги реакция иссиқлиги қандай ва нима учун чиқариб ташланади?
24. Агрегатда қайси максадларда циркуляцион компрессор ёки инжектор ўрнатилади?
25. Агрегатнинг назорати ва автоматлаштириш принципини тушунти-ринг.
26. Аммиак ишлаб чиқаришдаги техника хавфсизлиги асосий қоидалари нималардан иборат?

27. Азот кислотасининг хусусиятлари ҳақида гапириб беринг.
28. Аммиакни оксидлаш учун қандай катализаторлар ишлатилади?
29. Платина катализаторида аммиакни азот монооксидигача оксидлаш механизмини тушунтиринг.
30. Азот кислотасини атмосфера босими ва юкори босим остида ишлаб чиқаришда платинанинг йўқолиши нималардан иборат эканлигини тушунтиринг.
31. Азот монооксидини азот диоксидига оксидлаш реакциясини ёзинг. Бу реакциянинг тезлигига температура ва босимнинг таъсирини тушунтиринг.
32. Концентранмаган азот кислота олишнинг қандай тасвирлари мавжуд? Уларнинг бир-биридан фарқи нимада?
33. Азот кислотаси ишлаб чиқаришда ташландик газларни тозалашнинг қандай усуллари қўлланилади?

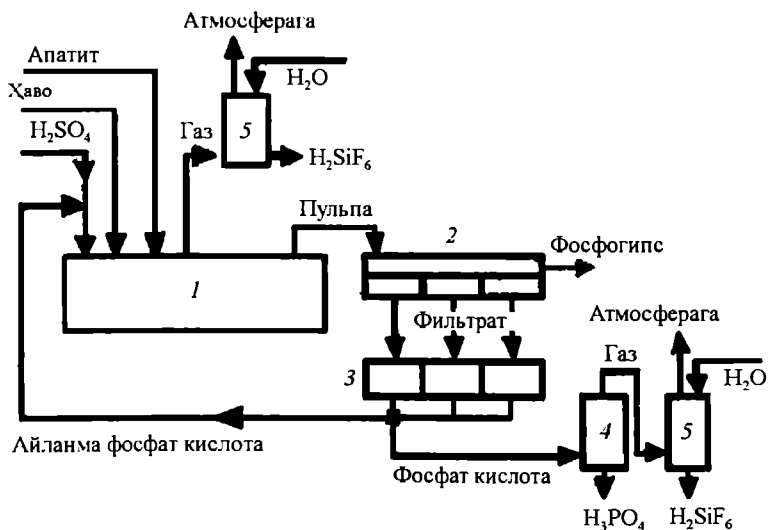
4.9. ФОСФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Фосфат кислота H_3PO_4 концентранган фосфор таркибли ўғитлар ишлаб чиқаришда муҳим оралик маҳсулот ҳисобланади. Бундан ташқари, фосфат кислотадан турли-туман техник тузлар, турлича фосфорорганик маҳсулотлар, шу жумладан, ярим ўтказгичлар, инсектицидлар, фаоллаштирилган кўмир (чўкиндисини йўқотиш ва сувни юмшатиш учун сульфокўмир), ионалмашиниш смолалари ишлаб чиқаришда ҳамда металлларда химоя қопламалари пайдо қилишда фойдаланилади. Тозаланган ёки озикавий деб аталувчи H_3PO_4 озик-овқат саноатида, ем концентратлари, формацевтик препаратлар тайёрлашда қўлланилади.

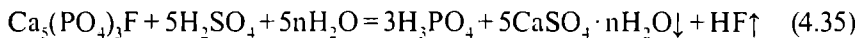
Фосфатли хом ашё ўз таркибида рудалар – апатитлар ва фосфоритлар тутган ҳолда 3–5 % дан 25–30 % гача P_2O_5 иборат мураккаб минераллар аралашмасини ҳосил қилади. Фосфорнинг асосий миқдори апатит гуруҳи минераллари таркибига киради. Уларнинг умумий формуласи $3Ca(PO_4)_2 \cdot CaX$, бунда X-фтор, хлор ёки гидроксил-ион бўлиши мумкин. Энг кенг тарқалганлардан фторапатитдир $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$ ёки $Ca_5(PO_4)_3F$. Уларнинг таркибидан фосфор минерал хом ашёни парчалаб олинади. Ҳозирги пайтда таркибида 25 % ортик миқдорда P_2O_5 бўлган рудаларни кислота ёрдамида парчалаш усули кенг қўлланилади. Фосфат кислотаси

руданинг бевосита эришида, яъни фосфор бирикмалари экстракциясини тўғридан-тўғри чиқариб олишда ҳосил бўлади. Шу сабабли маҳсулотнинг номи экстракцион фосфор кислотаси (ЭФК) деб юритилади. Камрок миқдорда фосфор бирикмаларига эга бўлган рудалардан термик фосфат кислотаси олинади. Ушбу жараён табиий фосфатлар таркибидаги фосфорни кокс иштирокида юкори ҳароратларда қайтариш ва сўнг фосфордан H_3PO_4 олишга асосланган.

ЭФК ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси. Дастлабки хом ашё таркибининг мураккаблиги уни қайта ишланишининг технологик схемаларининг бир қатор вариантлари мавжудлигини келтириб чиқаради. Яхши тадқиқ этилган ишланмалардан бири апатитли концентратни сульфат кислотаси орқали парчалаш усули бўлиб, у таркибида 39 % га яқин миқдорда P_2O_5 тутган хибин апатит – нефелин рудасини бойитиш орқали олинади. Унинг парчаланиши «суюқлик-қаттик» – гетероген реакциядир.



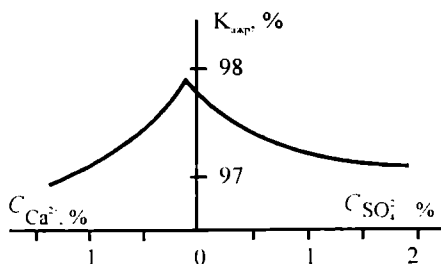
4.48-расм. Экстракцион фосфат кислота ишлаб чиқаришнинг функционал схемаси: 1 – апатит парчалаш реактори (экстрактор); 2 – вакуум-фильтр; 3 – фильтрат тўплагич; 4 – фосфат кислотани буглатиш колоннаси; 5 – газларни тозалаш тизими.



Са ва F аралашмалари – тезда рсакторда ажралади. Биринчиси гипс (CaSO_4) кўринишида чўкмага тушадн, иккинчиси водород фтор HF кўринишда газ фазасига ўтади. Функционал схема (4.48-расм) майдаланган хом ашёни рсакторда (экстракторларда) парчалашни, каттик чўкмани филтрлашни, фосфор кислотасини товар концентрациягача буглатиш ва чикиб кетувчи газларни тозалаш каби жараёнларни ўз ичига олади. Каттик чиқинди «фосфогипс» деган номни олган. Чиқиб кетувчи газларни сув билан ювишда водород фторид кремнефторводород кислота H_2SiF_6 кўринишида тутиб олинади.

Апатитни сульфат кислотаси орқали парчалаш. (4.34) реакция бўйича айланиш (ўтиш) тезлигига реакция маҳсулотлари – Ca^{2+} ва P_4^{3-} ионларнинг олиб кетилиши таъсир қилади, улар заррачалар юзасидан эритмага ўтиб, эритмадаги Ca^{2+} концентрацияси канча кам бўлса, эриш тезлиги шунча катта бўлади.

Апатитнинг эриши билан бир вақтда кийин эрувчи каттик CaSO_4 ҳосил бўлиши содир бўлади. Ca^{2+} ни CaSO_4 га боғланиши, яъни унинг эритмадан ажралиб чиқиши рсакция тезлигини оширади. Сульфат кислота концентрациясини, яъни SO_4^{2-} ионларининг ортиши яхши омил бўлиб кўринса-да, аммо SO_4^{2-} Ca^{2+} ни эритмадаги нафақат алоҳида фаза кўринишида, балки апатит заррачалари юзасида ҳам чўқишини келтириб чиқаради. Ҳосил бўлувчи CaSO_4 пардаси аввал эришни секинлаштиради, кейин эса юзани қуршаб олиб, эриш жараёни амалда тўхтайтиди. Шунинг



4.49-расм. Фосфорни ажратишнинг тезлиги $K_{ажр}$ Ca^{2+} ва SO_4^{2-} ионларининг ортиқча миқдорига боғлиқлик графиги.

учун CaSO_4 нинг шундай оптимал концентрацияси мавжудки, бунда фосфорни хом ашёдан чиқариб олиш даражаси максимал кийматда бўлади (4.49-расм). Шу билан рсакторда H_2SO_4 концентрациясининг катъий ушлаб турилиши ва реактор ҳажми бўйича бир хилда бўлишига катъий талаблар қўйилади.

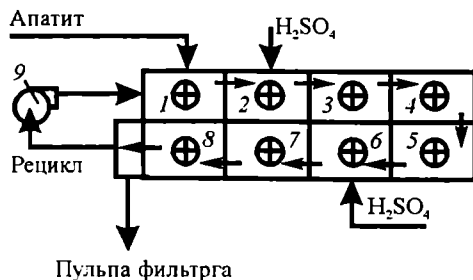
Парчалаш реактори реагентларнинг жадал ва бир-биридан оқиб ўтувчи равишда аралаштирилишини ҳар қайсиси секцияда алоҳида амалга оширувчи кетма-кетликда жойлашган секциялардан иборат. Унинг вариантларидан бири 4.50-расмда кўрсатилган. Аралаштириш каттиқ ва суюқ фазага катламланишнинг олдини олиши лозим.

Секцияларнинг биринчи ярмида асосан апатитнинг эриши содир бўлади. Қолган секциялар етиштирувчи каби ишлайди, уларда CaSO_4 кристаллари шаклланади. Охирги ва биринчи секциялар оралигида жадал рецикл ташкил этилган (циркуляциялар сони 20 марта ва ундан ортиқ бўлади). Унинг вазифаси:

Реагентлар кириш зонасида локал ўта тўйинишларни бартараф этиш;

Ca^{2+} ионларининг эриш бошланишида боғланишларини осонлаштирувчи кристалланиш маркази сифатида биринчи секцияга CaSO_4 кристалларини ўтказиш;

Хом ашёнинг эриши ва кристалларнинг ўсиши учун секцияларда бир жинсли шароит яратиш (реакторнинг барча ҳажми бўйича аралаштириш).



4.50-расм. Апатитни парчалаш реакторининг (экстракторининг) схемаси:
1-8 – реактор секциялари; 9-циркуляцияловчи насос; (+) – аралаштиригичлар.

SO_4^{2-} ионларининг баланс концентрациясига эга бўлиши керак бўлганда, кейин эса SO_4^{2-} ионларининг бир озгина ортиқча микдорида кристалларнинг шаклланиши лозим бўлганда, аввал эриш учун яхши, қулай шароит яратилиши учун, сульфат кислотанинг 4.48-расмда кўрсатилгани каби иккинчи ва олтинчи секцияларга тақсимланган ҳолда берилиши мақсадга мувофиқдир. Апатитнинг парчаланиш даражаси 97 % гача етади ва ундан ҳам ортиши мумкин ва бунда уларни филтрлаш орқали ажратиб олиниши енгиллаштирувчи йирик кристаллар ҳосил бўлади.

Маҳсулот кўринишидаги фосфат кислотасининг ҳосил бўлиши CaSO_4 (фосфогипс) чўкмасининг ажралиши ва кислотани концентрлашни ўз ичига олади. Парчаланиш шартларига боғлиқ равишда $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (дигидрат) ёки $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (яримгидрат) кристаллари ҳосил бўлади. Дигидрат жараёнда ҳарорат 343–353 K бўлиб, фосфат кислотасининг концентрацияси 25–35 % (P_2O_5 га ҳисоблаганда) ташкил этади; яримгидратли жараёнда ушбу кўрсаткичлар 358–378 K ва 35–40 % атрофида бўлади.

Фосфогипс тасмали ёки карусел туридаги вакуум-филтрда ажратиб олинади. Ҳосил бўлган филтрат буғлатишга юборилади ва унинг натижасида кислотанинг концентрацияси P_2O_5 га ҳисобланишида 52–54 % гача кўпаяди. Мана шу маҳсулот кўринишидаги кислотади. Буғлатишда кислотадан HF кўринишидаги 80–90 % фтор чиқиб кетади. Реактордан ва буғлатиш узлидан чиқиб кетувчи фтор таркибли газлар тозалаш тизимида крефнефторводород кислота ҳосил қилиниши билан ютилади.

Маҳсулотнинг 1 тоннасига (P_2O_5 -га ҳисобланишида) 2,5 тоннадан ортиқ қийин ишланувчи CaSO_4 ҳосил бўлади. У билан бирга сульфат кислотаси ҳам йўқотилади, унинг самарали саноат регенерацияси ҳанузгача ишлаб чиқилмаган. Фосфогипсдан гипс боғловчилар ишлаб чиқаришда, цементга қўшимчалар сифатида, қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Қишлоқ хўжалигида шўрланган ерларни гипслаштиришда қўлланилади. Фосфогипснинг катта қисми ағдарма-уюмлар кўринишида сақланади.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Фосфорли ўғитлар олишда қандай хом ашёларнинг турлари ишлатилади?
2. Фосфорли ўғитлар қандай хусусиятларига қараб гуруҳларга бўлинади?
3. Фосфорли ўғитларнинг гуруҳларини келтиринг.
4. Фосфоритлар қаерларда учрайди?
5. Секин эрувчан ўғитларга мисол келтиринг?
6. Фосфорит ундан ўғит сифатида фойдаланиш мумкинми?
7. Қора-тоғ фосфоритининг таркиби.
8. Флотконцентрат деб нимага айтилади?
9. Фосфоритларда қандай аралашмалар учрайди?

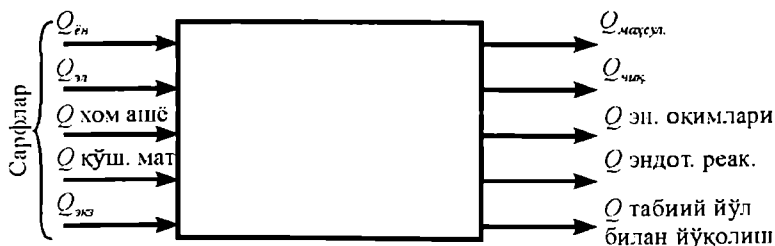
У БОБ. КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМАСИНИ ТАҲЛИЛ (АНАЛИЗ) ҚИЛИШ

5.1. КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМАСИНИНГ ЭНЕРГЕТИК ВА ЭКСЕРГЕТИК САМАРАДОРЛИГИ

Иссиқлик фойдали иш коэффициенти. (КТС) энергетика окимларининг таркиби 5.1-расмда кўрсатилган. КТС ни энергия билан таъминлаш манбалари: ёнилғи энергияси ($Q_{\text{ён}}$), электр энергияси ($Q_{\text{эл}}$), хом ашё иссиқлиги ($Q_{\text{хом}}$) ва қўшимча материаллар иссиқлиги ($Q_{\text{мат}}$) нинг элтувчи кириш окимлари ҳамда экзотермик реакциялар ($Q_{\text{экз}}$) дан иборат бўлади. Уларнинг умумий (суммар) миқдори ёки энергия истеъмоли, сарфи $Q_{\text{сарф}}$ билан белгиланади. Энергия системадан маҳсулотлар оқими ($Q_{\text{мах}}$) ва ишлаб чиқариш чиқиндилари ($Q_{\text{чик}}$) энергетика окимлари ($Q_{\text{ю}}$) билан чиқиб кетади, эндотермик реакциялар ($Q_{\text{энд}}$) га сарфланади ва табиий йўл билан йўқолади ($Q_{\text{йўқ}}$). Чиқаётган энергетика окимлари ($Q_{\text{ю}}$) нинг бир қисми ташқи окимлар (масалан, сув) алмашгич-утилизаторлари кизийдиган қозон-утилизаторларнинг буғи, турбиналарнинг ва электр генераторларнинг энергияси кўринишида фойдали ишлатилади. Ана шу нуқтаи назардан КТС нинг энергетик самарадорлиги иссиқлик фойдали иш коэффициенти – иссиқлик ФИК билан ифодаланади:

$$\eta_{\text{ис}} = Q_{\text{эл}}/Q_{\text{сарф.}}$$

Бундай таърифда ички зиддият мавжуд. Биринчидан, агар энергетика окимлари сарфларнинг бир қисmini қоплаб, система ичида



5.1-расм. КТС энергетик окимлар таркиби.

фойдаланиладиган бўлса, яъни $Q_{\text{н}}=0$, у ҳолда $\eta_{\text{ис}}=0$ бўлади. Иккинчидан, агар энергетика окимлари бутунлай энергия ишлаб чиқариш учун фойдаланиладиган бўлса, у ҳолда $\eta_{\text{ис}} < 100\%$. Биринчиси ҳам, иккинчиси ҳам мантикий эмас.

Фойдали иш коэффициентини фойдали сарфланган иссиқликнинг кимё-технология системасига киритилган умумий (суммар) микдорига нисбати тарзида ифодалаш тўғрирок бўлар эди:

$$\eta_{\text{ис}} = \frac{Q_{\text{фой}} + \alpha Q_{\text{искр}}}{B Q_{\text{ен}} + Q_{\text{кз}} + Q_{\text{н}}} \quad (5.1)$$

бунда: $Q_{\text{фой}}$ – технологик мақсадларга фойдали сарфланган иссиқлик; у КТС элементларидаги физикавий (жисмоний) ва кимёвий жараёнларни амалга ошириш учун назарий сарфлаш шартидан аниқланади; α – КТС элементлари (қозон-утилизаторлар) да ҳосил бўладиган, система ташқарисида ва ичида сарфланадиган иккиламчи энергия ресурслари улуши; $Q_{\text{искр}}$ – КТС энергетика элементида ҳосил бўладиган иккиламчи энергия ресурслари иссиқлиги; B – КТС нинг технологик эҳтиёжларига сарфланадиган ёнилги; $Q_{\text{ен}}$ – ёнилгининг ёниш иссиқлиги; $Q_{\text{кз}}$ – КТС даги кимёвий ва физикавий айланишларда ҳосил бўладиган иссиқлик; $Q_{\text{н}}$ – энергия элтувчилар (сув буги, иссиқ сув ва ҳ.к.) орқали КТС га келадиган иссиқлик.

ФИК ни бундай ифодалаш анча мантикий, лекин бунинг ҳам камчиликлари йўқ эмас. Маҳсулот муайян потенциал (салоҳият)га эга бўлади, маҳсулотни истеъмол қилганда ана шу потенциалдан фойдаланилади (5.1) ифода маҳсулот потенциалли $Q_{\text{фой}}$ фақат унинг ҳосил бўлиши учун кетадиган сарфлар билангина белгиланмайди. Агар маҳсулот фақат экзотермик реакция ўтиши натижасида ҳосил бўладиган бўлса, унга кетадиган сарфлар камроқ бўлади, шунинг учун маҳсулотнинг истеъмол қийматидан қатъи назар Q , камаяди. Хулоса – иссиқлик ФИК ҳар доим эндотермик реакциядагига нисбатан экзотермик реакцияда ёмонроқ бўлади.

Тўлиқ энергия фойдали иш коэффициенти. Атроф-муҳитга нисбатан ҳар қандай окимнинг иссиқлик потенциаллини аниқлаш учун бошқача ёндашув, яъни фақат окимнинг иссиқлик характеристикасига эмас, балки унинг кимёвий ташкил этувчиси – окимнинг кимёвий энергияси (1 кимё) га ҳам асосланган ёндашувдан фойдала-

нилади. Шундай қилиб, тўлиқ энергия учун I ифодаси қуйидагича бўлади.

$$I = I_q + I_{\text{кимё}} \quad (5.2)$$

I аникланадиган атроф-муҳит параметрлари жумласига ундаги барқарор моддаларнинг кимёвий потенциалли ва температура T_0 киради. Шундай муҳитга нисбатан оқимнинг потенциалли унинг тўлиқ энергиясини белгилайди. Бундай ҳолда босим ҳисобга олинмайди, чунки КТС атроф-муҳитдан изоляция қилинган эмас.

Тўлиқ энергиянинг ташкил этувчиларини аниқлаймиз.

Оқимнинг тўлиқ энергияси модданинг T_0 дан токи оқимнинг ҳолати температураси T гача қизиш иссиқлигидир. Умумий ҳолда солиштирма иссиқлик энергияси i_q нинг ҳисоби қуйидагича:

$$i_q = \int_{T_0}^{T_{\text{суюкл}}} c_{p,\text{кат}} dt + \Delta H_{\text{суюкл}} + \int_{T_{\text{суюкл}}}^{T_{\text{қайнаш}}} c_{p,\text{суюк}} dt + \Delta H_{\text{қайнаш}} c_{p,g} dt \quad (5.3)$$

Бу тенгламада модданинг қизиши натижасида юз бериши мумкин бўлган барча фаза ўтишлари – суюкланиш ва буғланиш (қайнаш) омиллари ҳисобга олинган. Агар $(T_0 - T)$ интервалда бирон-бир фазанинг мавжуд бўлиши мумкин бўлмаса, тегишли кўрсаткич (5.3) тенгламадан чиқариб ташланади.

Оқимнинг кимёвий энергияси $I_{\text{кимё}}$ (солиштирма – $i_{\text{кимё}}$) – атроф-муҳитдаги энергетик жиҳатдан тўлиқ кадрсизланган бирикмалардан технологик оқимлар компонентларининг ҳосил бўлиш энергияси. Булар «ҳисоб боши» моддалари деб аталади. Ернинг турли қобикларида ётган бундай моддаларга мисоллар келтирамиз: атмосферада – N_2 , O_2 , Ar ; гидросферада – H_2O ва эрийдиган тузлар тарзидаги деярли барча элементлар; литосферада – кучсиз эрийдиган юкори оксидлар (қум, кварцит ва ҳ.к.).

«Ҳисоб боши» моддаларининг рўйхати доимо тўлдириб турилади ва ҳозирча мутахассисларнинг асосланган келишув маҳсули ҳисобланади. Кимёвий энергия оқим компонентлари $(\Delta H_{\text{ҳос}})$ ва ҳисоб боши моддалари $(\Delta H_{\text{ҳос}}^T)$ ҳосил бўлиш энтальпиясидан ҳисобланади. Бунда ҳисоб боши моддасининг тегишли муҳит (ΔH_p) да эриши ҳисобга олинади (узлуксиз суюлтирилган эритма ҳосил бўлади):

$$\dot{I}_{\text{кимё}} = \Delta H_{\text{кокс}} - \Delta_{\text{кокс}}^{CT} + \Delta H_{\text{пр}} \quad (5.4)$$

Оқимнинг кимёвий энергиясини моддаларнинг энергетик жинхатдан кадрсизланган бирикмаларга девальвациялаш энергияси сифатида таърифлаш мумкин. Бу эса (5.2)-(5.4) ифодаларга мос келади. Уларда атроф-муҳитнинг кабул қилинган ҳолатига нисбатан исталган оқимнинг потенциали ёки атроф-муҳит ҳолатига ўтганда оқим ажратиш мумкин бўлган энергия (иссиклик) тўғри ҳисобга олинади.

Оқимларнинг тўлиқ энергияси бўйича жараённинг самарадорлиги – тўлиқ энергиянинг фойдали иш коэффициенти $\eta_{\text{эн}}$ – фойдали оқимларнинг тўлиқ энергияси $\Sigma I_{\text{тўл}}$ ва системадан чиқаётган барча оқимлар энергияси ($\Sigma I_{\text{сарф}}$) суммалари нисбати каби белгиланади:

$$\eta_{\text{эн}} = \Sigma I_{\text{тўл}} / \Sigma I_{\text{сарф}}$$

бунда $\Sigma I_{\text{сарф}} = \Sigma I_{\text{кир}} = \Sigma I_{\text{чик}}$ – энергетик балансидан келиб чиқади.

Қуйида кокс батареясида чиқаётган оқимларнинг кимёвий ва иссиклик энергиялари қийматлари келтирилган.

	$I_{\text{кимё}}$, МВт·соат	$I_{\text{қ}}$, МВт·соат
Кокс	11.5	0.62
Кокс газы	4.51	0.02
Кокс газы совитилганидан кейинги буг- сув аралашмаси	0	0.54
Коксни (ўчириш)даги йўқотишлар.....	0	0.62
Кокс газы йўқотишлари.....	0.42	0
Иссиклик йўқотишлари	0	0.3
Жами		18.08

Кўриб чиқилган мисолда кокс маҳсулот сифатида, кокс газы эса энергия ишлаб чиқаришда фойдаланиладиган модда сифатида фойдали ишлатиладиган оқим ҳисобланади. Уларнинг тўлиқ (фойдали) энергияси $= \Sigma I_{\text{тўл}} = 16.2$ МВт·соат ва $\eta_{\text{эн}} = 0.9$. Агар кокс газини ёққанда ажраладиган энергияни ҳисобга олсак, $Q_{\text{эн}} = 4.51 + 0.02 = 4.53$ МВт·соат бўлади, у ҳолда ҳосил бўладиган иссиклик ФИК, яъни $\eta_{\text{ис}} = 0.25$. Демак, ишлаб чиқаришнинг энергетик самарадорлигини $\eta_{\text{эн}}$ = бўйича ҳисоблаш анча маъқул ҳисобланади.

Эксергетик фойдали иш коэффициенти. Оқимнинг тўлиқ энергиясини баҳолаш хали ундан фойдаланиш мумкинлигини кўрсатмайди. Фараз қилайлик, системадан ҳажми 100 м^3 ва температураси 40°C бўлган сув оқими чиқмоқда. Унинг иссиқлик энергияси $I_q = 8.4 \cdot 10^6 \text{ кДж}$ ($T_0 = 20^\circ\text{C}$). Бу иссиқликдан рационал фойдаланиш кийин: ҳаракатлантириш кучи кичик бўлганлиги туфайли ИЭМ (ТЭЦ) учун сувни киздириш жуда кўп иссиқлик алмашгичларни талаб қилади, хоналарни иситиш учун эса оқимнинг температураси паст (у техник шартларга тўғри келмайди, иссиқхоналарни иситиш учун ярайди холос). Бошқа системадан 3 атм босимдаги 130°C температурали, 18 м^3 микдордаги сув чиқмоқда, дейлик. Унинг иссиқлик энергияси ҳам деярли ўшандай – $I_q = 8.3 \cdot 10^6 \text{ кДж}$, лекин бу ҳолда ундан фойдаланиш вариантлари кўп: юқори температурали, 2 атм босимли технологик буғ тайёрлаб, кейин ундан турли мақсадларда фойдаланиш мумкин. Кўриб чиқилган оқимларнинг иссиқликлари тенг бўлишига қарамай, уларнинг энергетик қиймати турлича. Оқимнинг ишга яроқлилиқ потенциали таърифидан фойдаланиб, оқимнинг тўлиқ энергияси бўйича уни баҳолаш ғоясини давом эттирамиз.

КТС ни ишчи жисм ёки иш манбаи сифатида ҳамда атроф-мухитни берк система, деб қараб чиқамиз. Ички энергия, энтропия, босим, температура ва иш жисми ҳажмини бошланғич ҳолатда U_0, S_0, P_0, T_0, V_0 деб белгилаймиз. Атроф-мухит параметрлари учун шу белгиларнинг ўзидан фойдаланамиз, лекин пастки индексни «0» (ноль) деб оламиз. Атроф-мухит температураси T_0 ва P_0 ўзгармай қолади.

Бундай системада ишчи жисмнинг ҳолати атроф-мухит билан мувозанатда бўлади, яъни $U_0 = U_{00} = U_0$; $S_0 = S_{00} = S_0$; $P_0 = P_0$; $T_0 = T_0$.

Берк система ўзининг ички энергияси камайиши ҳисобига, яъни ишчи жисм ва атроф-мухитнинг ички энергияси бошланғич ҳолатдан сўнгги ҳолатга ўзгариши ҳисобига A ишни бажара олади:

$$A = (U_0 - U_0) + (U_{00} - U_0) \quad (5.5)$$

Термодинамиканинг биринчи қонунига мувофиқ, мухитнинг ички энергияси ўзгариши $(U_{00} - U_0)$ унинг устидаги иш A_0 (мухит-

нинг босимиға қарши иш) ва унга берилган иссиқлик Q_0 ҳисобига юз бсради:

$$U_{0o} + U_{0\phi} = Q_0 + A_0 \quad (5.6)$$

Иш жисми ўз босими ва ҳажми ўзгариши ҳисобига атроф-муҳит устида иш A_0 бажаради:

$$A_0 = P_o V_o - P_\phi V_\phi = P_o V_o - P_\phi V_\phi \quad (5.7)$$

Атроф-муҳитнинг температураси T_0 доимий бўлганлиги учун муҳитга берилган иссиқлик унинг энтропиясини ўзгартиради, яъни

$$Q_0 = T_0(S_{0o} - S_{0\phi}).$$

Изоляцияланган системадаги қайтар жараён унинг энтропиясини ўзгартирмайди ($S + S_0 = \text{const}$). Шунинг учун изоляцияланган системада «ишчи муҳит-атроф-муҳит»

$$\begin{aligned} S_{0\phi} + S_\phi + S_0 &= S_{0o} + S_o + S_0 \text{ ёки } Q_0 = T_0(S_{0o} - S_{0\phi}) = \\ &= T_0(S_\phi - S_o) = T_0(S_\phi - S_{0\phi}) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Агар изоляцияланган системанинг ҳолати мувозанатлашса, изоляцияланган системадаги максимал иш $A_{\text{мак}}$ қайтар жараёнлар ўтаётганда бажарилади. Ифодалар (5.6)-(5.8) ни (5.5) тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$A_{\text{мак}} = (U_\phi - U_o) - (P_o V_o - P_\phi V_\phi) - T_0(S_\phi - S_o) = (U_\phi + P_\phi V_\phi) - (U_o + P_o V_o) - T_0(S_\phi - S_o)$$

Биринчи икки қавс ичидаги ифода бошланғич (H_ϕ) ва сўнгги ($H_o = H_0$) ҳолатлардаги иш жисмининг энтальпияси:

$$A_{\text{мак}} = (H_\phi - H_o) - T_0(S_\phi - S_o) = E$$

Олим З. Рантнинг таклифи билан 1956 йилдан бери бу қиймат «эксергия» дсб юритилади. Унинг физикавий маъноси шундаки, жисм атроф-муҳит ҳолатига ўтаётганда бажара оладиган максимал иш, яъни эксергия амалда ишчи жисмининг потенциали (имконияти) ҳисобланади. Ҳисоблашлар учун солиштирма эксергия с дан фойдаланилади. У кимёвий c_k ва физикавий c_ϕ ташкил этувчиларни (температура ва босим ўзгаришларини) ўз ичига олади:

$$e = c_k + c_\phi \quad (5.9)$$

Биринчи қўшилувчи (e_c) ишчи жнсм моддаларининг ҳисоб боши моддасида девальвацияланиши кимёвий энергияси (5.4-тенглама) ва бу ўтишнинг энтропияси ўзгариши орқали ҳисобланади.

Иккинчи қўшилувчи, яъни физикавий ташкил этувчи (c_ϕ) да эн- тальпиянинг ўзгариши температура ўзгариши билан юз беради:

$$\Delta H = \bar{c}_p (T - T_0),$$

Энтропиянинг ўзгариши эса T ва p ўзгариши билан юз беради:

$$dS = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dP}{P}$$

$$\Delta S = S_6(T, P) - S_0(T_0, P_0) = \int_{T_0}^T \frac{c_p}{T} dT - R \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} \approx \bar{c}_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0}$$

Эксергиянинг физикавий ташкил этувчилари:

$$e_\phi = \bar{c}_p (T - T_0) - T_0 \left(\bar{c}_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \right)$$

Формулалар (5.9), (5.4) ва (5.10) лардан фойдаланиб, кириш ($E_{\text{кир}}$) ва чиқиш ($E_{\text{чик}}$) оқимларининг эксергиясини ҳисоблаш мумкин. Эксергетика ФИК қуйидагига тенг бўлади:

$$\eta_s = \Sigma E_{\text{тўл}} / \Sigma E_{\text{кир}}$$

Эксергия (максимал иш) даги йўқотишлар ўтаётган жараёнлар- нинг қайтмаслиги (D), системанинг атроф-муҳит билан таъсирла- шуви туфайли бўладиган йўқотишлар ва оқимлар йўқотишлари ($E_{\text{йўк}}$) оқибатида рўй беради, яъни

$$\eta_s = (E_{\text{кир}} - D - E_{\text{йўк}}) / E_{\text{кир}}$$

КТС даги жараёнларнинг қайтмаслиги туфайли рўй берадиган (ички) йўқотишлар оқимларнинг гидравлик қаршилиги, охирги температуралар фарқидаги иссиқлик алмашилиши, концентра- цияларнинг охирги фарқларидаги масса алмашинуви ва ҳ.к. билан боғлиқ. Табiiй (ташқи) йўқотишлар жумласига иссиқлик изоляция- си орқали юз берадиган эксергия йўқотишлари, ёниш маҳсулотлари билан, ҳаво совутгичларидан кейин ҳаво билан, иссиқлик алмашгич- лардан кейин сув билан, кимёвий жараёндаги қўшимча маҳсулотлар билан системадан чиқиб кетадиган йўқотишлар киради.

Қуйидаги аппаратларда жараёнларнинг қайтмаслиги туфайли юз бсрадиган эксергия йўқотишлари манбалари билан чуқурроқ танишамиз.

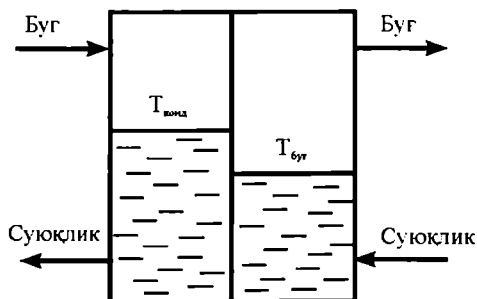
Иссиқлик алмашгич. Ҳисоблашларни мураккаблаштирмаслик учун «қайнатгич-конденсатор» типдаги иссиқлик алмашгични танлаймиз (5.2-расм). Ундаги иссиқлик алмашинувчи сиртлар $T_{\text{буғ}}$ ва $T_{\text{конд.}}$ нинг ҳар бир томонида температура доимий ҳисобланади. Оқимларнинг температураси ўзгармаслиги туфайли йўқотишлар фақат энтропияга боғлиқ бўлиши мумкин. Солиштирма энтропиянинг таърифи $dS = c_p dT/T$ оқимнинг энтропияси ифодасини ҳосил қиламиз: $dS = G c_p dT/T$. Бундаги $G c_p = Q$ тенглик оқимнинг иссиқлик сиғимини билдиради. Ушбу $T = \text{const}$ бўлганлиги учун $\Delta S = Q(T - T_0)/T$ бўлади. Жараёнларнинг қайтмаслиги туфайли йўқотишлар

$$D = \Delta S_{\text{конд}} - \Delta S_{\text{буғ}} \quad (5.11)$$

(қайнатгичда иссиқлик истеъмол қилинади, конденсаторда иссиқлик ажралади). Тенглама (5.11) га ΔS учун олинган ифодани қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$D = Q \left(\frac{T_{\text{конд}} - T_0}{T_{\text{конд}}} \right) - Q \left(\frac{T_{\text{буғ}} - T_0}{T_{\text{буғ}}} \right) = Q \left(\frac{T_0}{T_{\text{буғ}}} - \frac{T_0}{T_{\text{конд}}} \right)$$

Ушбу $T_{\text{конд}} \neq T_{\text{буғ}}$ – қайтмас жараён бўлганлиги туфайли, бу жараённи юқори температурада қайнайдиған ($T_{\text{буғ}}$ ва $T_{\text{конд}}$, катта бўлган) суюқликларга татбиқ қилиб, йўқотишларни камайтириш мумкин.



5.2-расм. «Қайнаткич-конденсатор» типдаги иссиқлик алмашгич.

Аппарат нуктаи назаридан бу унчалнк фойдали эмас, чунки бундай жараёнларни амалга ошириш учун қиммат турадиган юкори тсмпратурали жиҳозлар ва ҳаракатлантириш кучи кичик бўлганлиги туфайли катта иссиқлик алмашиниш сирти талаб қилинади: $\Delta T = T_{\text{конд.}} - T_{\text{гўш.}}$

Биз қабул қилган шартлар бўйича кўриб чиқилаётган иссиқлик алмашгичда иссиқлик йўқотишлари, чунки бутун конденсация иссиқлиги буғланишга сарфланади, шунинг учун бу системанинг иссиқлик (термик) ФИК 100% га яқин бўлади. Бу келтирилган мисол ФИК ни баҳолаш усулининг муҳимлигини яна бир марта тасдиқлайди.

Реактор. Изотермик шартлар (I-const) дан келиб чиқиб, фақат эхсергиянинг кимёвий ташкил этувчиси $e_x = \Delta H - T_0 \Delta S_x$ ни кўриб чиқамиз. Энтропиянинг ўзгариши ΔS_x ни Гиббс энергияси таърифи $\Delta G = \Delta H - T \Delta S_x$ дан топамиз, бундан $\Delta S_x = (\Delta H - \Delta G)/T$ ва

$$e_x = \Delta H - T_0 \frac{\Delta H - \Delta G}{T} = \frac{T_0}{T} \Delta G + \Delta H \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

Гиббс энергияси системанинг кимёвий мувозанатдан оғишини ифода қилади, шунинг учун кимёвий реактордаги йўқотишлар

$$D = (T_0/T) \Delta G.$$

Равшанки, йўқотишларни камайтириш учун юкори температурали жараёнларни (Т юкори) ўтказиш фойдали; бу жараёнлар мувозанат (ΔG кичик) яқинида ўтгани маъқул. Шунини айтиш лозимки, аппарат нуктаи назаридан бу усул фойдали эмас.

КТС ни таҳлил қилишда эхсергетик усулни қўллашнинг ўзига хос томонлари бор. Барча оқимларнинг қийматлари иссиқлик бирикларидан ифодаланади. Кимёвий маҳсулотнинг истеъмол қиймати албатта бошқача. Истеъмол қиймати ва энергетик потенциал бири-бирига мос келадиган иссиқлик эхсергетикасида эхсергетик усул энг кўп қўлланилади.

Кимёвий технология ишлаб чиқаришларидаги физик-кимёвий чеклашлар туфайли суюлтирилган аралашмалар қайта ишланади. Азот кислота ишлаб чиқаришда аммиак-ҳаво аралашмасининг чамаси 30 фоизи сарфланади, аммиак синтезида эса азот-водород ара-

лашмасининг чамаси 20 фонзигина рсакцияда қатнашади. Кўпгина углеводородларнинг парциал оксидланиш жараёнларида аралашманинг 90% дан ортиғи айланишларда қатнашмайди. Бирок, шунга карамай, окимнинг бу қисми система орқали ўтишда қизиб ва совиб, эксергетик йўқотишларни кўпайтиради. Шунинг учун бундай жараёнларнинг эксергетик ФИК паст – HNO_3 ишлаб чиқаришда NH_3 деярли тўлиқ маҳсулотга айланса ҳам $\eta_s = 22\%$. КТС эксергетик таҳлилида бу омилни ҳисобга олиш, натижаларни мутлақлаштириб юбормаслик лозим. Лекин кимё ишлаб чиқаришидаги исталган тур таҳлил учун эксергетик таҳлил (анализ) барибир фойдали.

Баъзан, бир хил хом ашёдан муайян (у ёки бу) маҳсулот олиш учун усул танлашда (бир неча мукобил усуллар ичидан) узил-кесил қарор қабул қилишда эксергетик таҳлил усулидан фойдаланилади. Усулларнинг ичида η_s кўрсаткич каттароқ бўлган усулда хом ашё, энергия ва қўшимча материаллар потенциалидан самаралироқ фойдаланилади.

5.2. Энерготехнологик система

Кимё-технологик жараённинг турли босқичларида зарур бўладиган энергия миқдори унинг режими билан белгиланади. Жараённинг босқичлари орасида энергияни регенерациялаш ва окимларнинг потенциалидан жараённинг ўзида фойдаланиш йўли билан бу энергия сарфларини камайтириш мумкин. Бироқ энергия сарфларининг ўрнини қоплаш ҳар доим ҳам мумкин бўлавермайди. Бунга бир неча сабаб бор.

Ўтаётган барча жараёнларнинг термодинамик қайтмаслиги туфайли энергиянинг бир қисми йўқолади. Бу ҳолда энергия диссипацияси (тарқалиши) албатта юз беради. Масалан, аппаратлар ва трубопроводлар (кувурлар) да окимларнинг гидравлик қаршилигини енгишга бўладиган сарфлар қайтмасдир. Системага юқори потенциалли энергия келтирилишига карамай, технологик жараёнда паст потенциалли окимлар пайдо бўлади (5.1-бўлимдаги эксергетик таҳлилга қаранг). Иссиқлик (энергия) нинг бир қисми умумий иссиқлик йўқотишлари билан бирга йўқолади. Бундай йўқотишлар жумласига температура режимини тутиб туриш воситаси сифати-

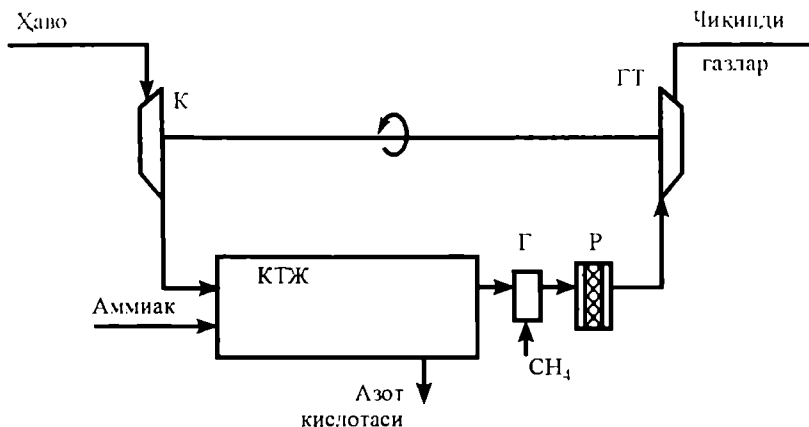
даги буғланиш (масалан, совитгич-градирня ва шунга ўхшаш системаларда), фойдаланилмайдиган иссиқлик оқимларининг чиқиб кетиши, изоляция орқали табиий иссиқлик йўқолиши ва ҳ.к. ни киритиш мумкин. Агар қолган оқимларнинг энергетик (иссиқлик) потенциалидан фойдаланилган тақдирда ҳам бу йўқотишларнинг ўрнини бутунлай қоплаб бўлмайди, қўшимча энергия истеъмоли албатта зарур бўлади.

Технологик системада етишмаётган энергияни ёнилғи истеъмоли қилиш йўли билан ишлаб чиқариш мумкин. Бунинг учун системага энергетика узелини киритиш зарур бўлади.

Технологик режимни тутиб туриш ва КТС нинг фаолиятини таъминлаш мақсадида қайтмас йўқотишларнинг ўрнини қоплаш учун ёнилғи истеъмоли қилиб, энергия ишлаб чиқарадиган энергетика узелини ўз ичига оладиган кимё-технологик система *энерготехнологик система* деб аталади.

Бундай система ташқаридан энергия олмайди, яъни энергетика жиҳатидан мустақил (автоном). Келтириладиган ёнилғидан етишмаётган энергия ишлаб чиқарувчи энергетика узели КТС нинг кичик системаси ҳисобланади. Энерготехнологик системага иккита характерли (классик) мисол келтирамиз.

1 мисол. Ҳозирги замон азот кислотаси ишлаб чиқаришдаги компонентлардан бири – ҳаво компрессорда босим остида қисилади ва технологик аппаратларга йўналади. Барча айланишлар (ўзгаришлар) босқичларидан ўтгандан кейин ундан амалда фақат азот ва чиқиб кетувчи газ сифатида қолдиқ кислород қолади. Унинг босими анча паст бўлади. Бу чиқиб кетувчи газнинг потенциали дастлабки ҳавони қисиш учун кетган сарфларнинг ўрнини қоплашга етарли бўлмайди (лекин уни қисман қоплаш учун ишлатса бўлади). Турбинанинг ишчи жисми сифатида чиқиб кетувчи газдан фойдаланиш учун унинг температурасини ошириш керак. Бунинг учун чиқиб кетувчи газ линиясига ёнилғи – табиий газ берилади, у уни ёндиради. Ана шу энергетик узел бўлади (5.3-расм). Лекин бу узелнинг вазифаси фақат энергетик таъминот эмас, балки технологик таъминот ҳамдир: газни азот оксидлари қолдиғидан тозалаш учун уни бироз қиздириб юборади. Бироз ортиқча метандан фойдаланиб, чиқиб кетувчи газда тикловчи (қайтарувчи) атмосфера ҳосил қилинади.

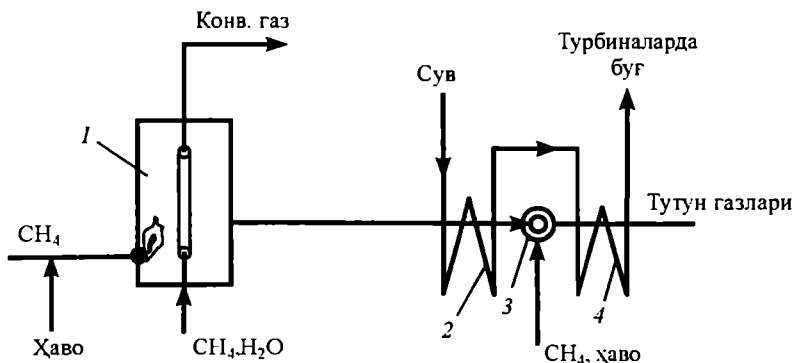


5.3-расм. Азот кислота ишлаб чиқаришида энерготехнологик система:

Р – тозалаш реактори, ГТ – газли турбина, к – қозон-утилизатор; КТЖ – кимёвий технологик жараён; Г – горелка.

Шунда тозалаш реакторидаги катализаторда азот оксидлари азотга-ча тозаланadi. Тозалаш реакторидан ўтган газнинг потенциали газ турбинаси ёрдамида ҳаво компрессорини ҳаракатлантириш учун етарли бўлади. Турбинадан кейин тозаланган газ бевосита чиқариш қувурига йўналтирилиши мумкин.

2-мисол. Аммиак ишлаб чиқаришдаги энерготехнологик схеманинг тузилиши 5.4-расмда кўрсатилган. Азот-водород аралаш-



5.4-расм. Аммиак ишлаб чиқаришдаги энерготехнологик схема:

1 – метанни конверсиялайдиган трубкали печь; 2 – қозон-утилизатор; 3 – горелка; 4 – буг қиздиргич.

масини синтез боскичида қиснш ва циркуляциялаш учун юқори кувватли трубокомпрессордан фойдаланилади. Уни тезкор юритма – буғ турбинаси ҳаракатга келтиради. Одатда, юқори параметрли буғ ИЭС (ТЭЦ) да олинади. Шунинг учун аммиак ишлаб чиқариш унга боғлиқ бўлиб қолади. Энерготехнологик схемада ана шунга эҳтиёж бўлмайди. Метан конверсия қилинадиган трубкали печдан чиқадиган тутун газларининг температураси 950°C дан юқори бўлади. Юқори параметрли буғ ишлаб чиқариш учун ана шу тутун газидан фойдаланиш мумкин. Ўскин унинг потенциали буғ турбинасини ҳаракатга келтириш учун етмайди. Етишмайдиган потенциалнинг ўрнини қоплаш учун технологик схемага қўшимча энергетик узел ўрнатилади (трубкали печдан кейин ўрнатилган тутун газоходида қўшимча микдорда ёнилғи ёқилади). Метанни иккинчи буғ-ҳаво конверсиялашдан кейинги технологик газ иссиқлигидан ҳам фойдаланилади. Ташқаридан энергия истеъмол қилмаслик учун технологик газ иссиқлиги тутун газлари иссиқлиги ва энергетик узел сифатида қўшимча горелка иссиқлиги етарли бўлади. Ёнилғи истеъмол қилинган, аммиак ишлаб чиқариш энергия жиҳатдан мустақил (автоном) бўлиб қолади.

6.1. АТРОФ-МУҲИТ ТИЗИМ КАБИДИР

6.1.1. Экология ва саноат экологияси ҳақида умумий тушунчалар

Атроф-муҳит деганда атрофимизни ўраб турган ва бизга ўз ҳаётимиз ва фаолиятимиз давомида тўғридан-тўғри ёки билвосита боғлиқ бўлган барча нарсалар тушунилади. Бу бир-бири билан ўзаро боғлиқ бўлган табиий ва инсон томонидан яратилган объектлар ва ҳодисалар, шу жумладан кимёвий, биологик ва ижтимоий ҳодисалардан иборат бутун бир тизимдир. Кенг маънода атроф-муҳит деганда бизнинг сайёрамиз ва унинг биосфераси ва космик бўшлиғи тушунилиши лозим ва улар бизга ўз таъсирини ўтказмай қолмайди. Бироқ инсон билан коинотнинг ҳақиқатдан мавжуд бўлган ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда, етарлича ва асосланган ҳолда атроф-муҳит деганда фақат ер пўстлоғи ва биосферанинг тушунилиши етарли ва мақсадга мувофиқдир.

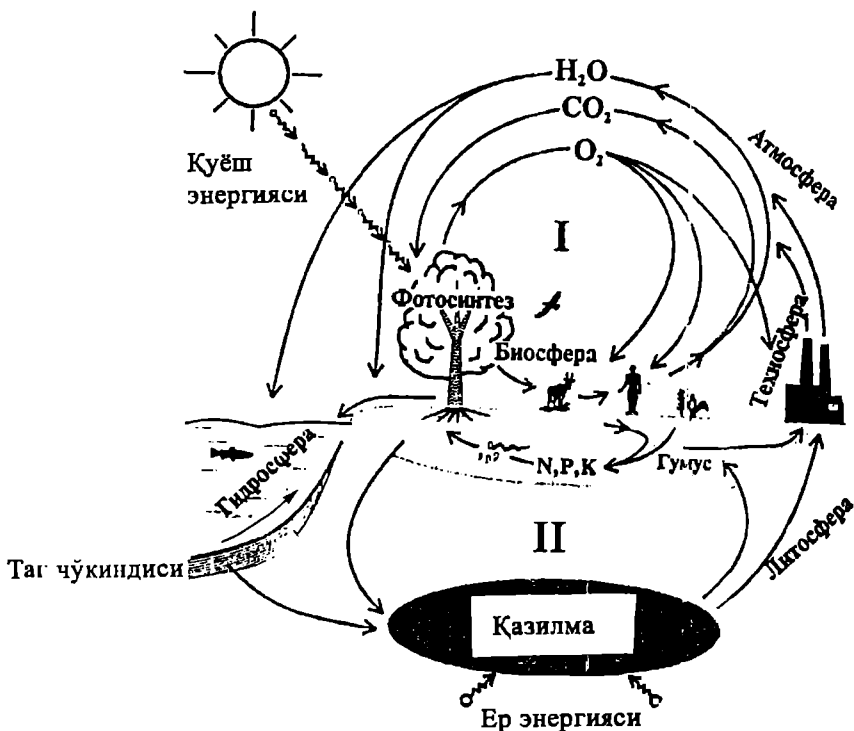
Биосфера – Ер қобиғи бўлиб, унда қуруқлик, ер пўстлоғи, атмосферанинг пастки қаватлари, гидросферани ишғол этган низоҳатда турли-туман организмларнинг ҳаёти кечади ва ривожланади. Ўз асосида биосфера тирик ва нотирик материянинг ўзаро таъсирини акс эттирувчи воқеликдан иборатдир. Энг янги маълумотлар бўйича, биосферанинг қалинлиги 40–50 км ни ташкил этади. У атмосфера пастки қисмининг 25–30 км баландликкача бўлган масофасини (озон қатламигача), амалда бутун гидросферани ва литосферанинг юқори 5 км гача бўлган қатламини ўз ичига олади.

Биосфера тўғрисидаги ҳозирги замон таълимотини машҳур рус олими В.И.Вернадский (1863–1945) яратди. У томонидан Ернинг барча уч қатлами – атмосфера, гидросфера ва литосфера – бир бутун ҳолда тирик моддалар билан боғлиқлиги ва улар сайёра кўринишини шакллантириш, ўзгартириш билан таъсир кўрсатиши

исботланди. Биосфера тўғрисидаги таълимотга биноан барча қисмлари бир-бири билан ҳамбарчас боғланган табиатга бир бутун тизим сифатида қаралиши лозим.

Биосферанинг асосий динамик мувозанати бўлиб моддалар алмашинуви ва энергиянинг бир турдан бошқа турга ўтиши хизмат қилади. Алмашинув моддаларнинг алмашинув ва ҳаракати жараёнларининг йиғиндисидан ташкил топади (сувнинг, кислород, углерод, азот, минерал моддаларнинг Ерда айланиши). 6.1-расмда кислород, углерод икки оксиди ва сувнинг циркуляцияланиш схемаси кўрсатилган.

Тирик мавжудотлар кислород ютиб, CO_2 ва H_2O ажратиб чиқаради. Тирик мавжудотларнинг бошқа чиқитлари ва уларнинг ўзлари



6.1-расм. Айрим моддаларнинг экотизимда айланиш схемаси. I – кичик (биологик) моддаларнинг айланиши; II – катта (геологик) моддаларнинг айланиши.

хам ҳаёти тугаганидан сўнг хусусий организмлар мавжудлигининг интихоси сифатида Ер юзасида қолади ва Ер пўстлоғида тўпланади. Ёпик тизимда моддаларнинг бундай бир йўналишдаги ҳаракати барқарор бирикмаларнинг ҳосил бўлишига ва охир-оқибатда барча кўринишдаги ўзгаришларнинг тўхташига, термодинамик мувозанатга олиб келиши керак.

Аммо Ер Қуёш энергияси кўринишидаги жуда катта қувватга эга бўлган ташқи таъминланишга эга ва бу Ердаги моддалар алмашинуви жараёнларининг сўниб қолишига йўл бермайди.

Биосферанинг пайдо бўлиши тарихида ерда атроф ўсимликларнинг пайдо бўлиши, Қуёш энергиясини тутиш ва минерал моддалардан органик моддани синтез қилишга қодирлиги ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлади. Фотосинтез В.И.Вернадскийгача аслида биологик жараён бўлиб кўрсатилган, яъни Қуёшнинг нурли энергиясини тутиш йўли орқали ҳаётга мадад бериш жараёнидир. У фотосинтезга мувофиқ Ернинг бутун кўриниши ўзгаришини кўрсатди. Кўрсатилган моддаларнинг туташган ҳаракати – уларнинг фотосинтез жараёни орқали айланиши 6.1-расмда кўрсатилган.

Ҳамма тирик организмлар ва ўсимликлардан органик ва ноорганик боғланишлар Ер юзасига ва тупроғига тушгач, микроорганизм ва бошқа тирик жонзотлар билан қайта ишланади, масалан, тупроқ қатламидаги куртлар билан гумус номли ўсимликларга зарур бўлган элементларни етказиб беришни таъминлайди. 6.1-расмда таниқли ўғитлар асосида фақат N, P ва K белгиланган. Ўсимликлар ҳаёти табиатда ва тупроқ орқали моддаларнинг айланишини тўхтатиб қўйди.

Ернинг тирик моддасининг умумий оғирлиги бир неча 100 млн. тонналар билан ҳисобланади ва 500 минг ўсимликлар ва 1,5 млн ҳайвонлар турларини ўз ичига олади. Ўйланишича, микроорганизмларнинг биомассаси кўплаб млрд. тоннага етмоқда. Тирик моддаларнинг йиллик кўпайиши фотосинтез ҳисобига $8,8 \cdot 10^{11}$ т га тенг.

Моддаларнинг биологик айланиши ёки кичик айланиши деб – ўсимликлар, микроорганизмлар, ҳайвонлар ва бошқа тирик организмлар орасида моддаларнинг айланма циркуляцияси деб аталади, яъни Қуёш энергияси билан қўллаб-қувватлаб турувчи Ердаги тирик моддаларнинг тавсифланишидир.

Кичик айланма бўйича моддаларнинг тўлиқ ҳажми вақти шу модданинг оғирлиги ва цикл бўйлаб жараён боришининг интенсивлигига боғлиқ ва бир неча 100 йилга баҳоланмоқда.

Кичик айланишдан ташқари каттаси ҳам мавжуд, биологик айланиш. Моддаларнинг бир қисми Ернинг ер ости қатламига тушади (денгизларнинг сув ости ажралиши орқали ёки бошқа йўл билан), турли хил минерал ва органик боғланишларнинг пайдо бўлиши билан аста ўзгариш содир бўлади. Биологик айланаларнинг жараёнлари асосан Ернинг ички энергияси унинг актив ядроси билан таъминлаб туради. Шу энергия моддаларнинг Ер юзига чиқишига ёрдам беради. Шу билан моддаларнинг катта айланиши тугатилади. У млн. йилни эгаллайди.

6.1-расмда айланишнинг моддаси ва элементларнинг ҳаммаси кўрсатилмаган. Моддаларнинг айланиши Ернинг узоқ эволюцияси натижасида юзага келади. Табиатнинг юзага келган буюк мувозанати таркибий системалар – гидросфера, атмосфера, литосфера, биосфера ва уларнинг қисмлари орасида нормал мувозанатни таъминлаб беради.

Расмдаги схемада кўрсатилганидек, одам ҳамма тирик организмлар орасида ажратиб қўйилган. Бошқа тирик организмларни шартли равишда пассив деса бўлади, яъни улар ўзларининг борлигини, ҳаётини ва қайта ишлаб чиқаришни таъминлаб туриш учун истеъмол қилишади. Инсон бошқа тирик организмлардан ўзининг биосферадаги актив фаолияти билан ажралади. У ўзининг мавжудлигини, қулайликларини таъминлаш, ўсаётган моддий ҳаётини ва интеллектуал ривожланишини, эhtiёжини қондириши зарур. Одамзот табиат ресурсларини фаол ишлатмоқда – саноатни яратмоқда, қишлоқ хўжалигини, инфраструктурани ривожлантирмоқда.

Бутун мавжудлиги мобайнида, одам ўз фаолияти билан табиатнинг Буюк Мувозанатига таъсир кўрсатмоқда. Ҳозир инсони аралаштириш шунчалик катта бўлдики, яна бир моддаларнинг глобал ҳаракатини, солиштирилаётган биологик айланишини табиат оқимлари билан ажратса бўлади. 6.1-расмда саноат орқали кўрсатилган. Шу оқим ҳали тўхтатиб қўйилмаган.

Мувозанатнинг ўзгариши бутун тирик нарсаларга ҳалокатли таъсир қилиши мумкин, лекин аккумуляцияланиши мумкин ва

айни бир вақт ўтиши билан глобал хусусиятга эга бўлган ҳалокатли оқибатларга олиб келиши мумкин. Инсоният узок вақт давомида табиатга сўзлашган жароҳатларни ўзи даволайди ва табиий бойликлар тугатилиши мумкин эмаслигига таянган. Ҳар бир янгиланган табиий ресурсларга энергия манбаи ва турли хил ресурсларнинг механик йиғиндисига эмас, балки бир бутунга кўра келиш керак. Табиий муҳитга янги амалий муносабатда бўлиш талаби, инсонни ўраб турувчи ғоя шундан иборат.

Тирик организмларнинг мавжудлиги шароитларини ўрганувчи, уларнинг бир-бирлари ва муҳит билан ўзаро алоқасини тадқиқ қилувчиси фан – экология деб аталади. Экология сўзи грекчадан олиниб, *argos* – уй ва *logos* – фанни билдиради. Ушбу термин биринчи марта 1866 йилда биолог-дарвинист Э.Геккел томонидан ишлатилган.

Илмий фан сифатида экология асрдан ҳам катта тарихга эга. Мунтазам экологик изланишлар, сайёрамизда ҳаётнинг ривожланиш тарихи бир вақтнинг ўзида экологик муносабатлар тарихи бўлгани ҳолда фақат XX асрдан бошланади. Инсон томонидан экологик мувозанат экин ерлари ва яйловлар барпо этиш учун ўрмонларни йўқотиш бошланган даврданок бузила бошланди, аммо бу бузишлар маҳаллий хусусият касб этиб, Ер юзасидаги барча жонзотлар учун глобал асоратлар пайдо қилмаган. Инсоният жамияти ривожланишининг ҳар қайси босқичида инсоннинг табиатга бўлган таъсири ишлаб чиқариш кучларининг ҳолати билан белгиланган; у айниқса машинага оид технология пайдо бўлиши билан орта борди ва илмий-техника инқилоби даврида ўзининг максимумига эришди.

Ишлаб чиқариш ривожининг табиатга кўрсатадиган салбий таъсири уч бош аспектга олиб келади: табиий ресурсларнинг сўзлашуви, атроф-муҳитнинг ифлосланиши ва экологик мувозанатнинг бузилиши, буларнинг асорати эса инсонларнинг яшаш шароитини ёмонлаштиради. Икки қарама-қаршилик аниқ ва равшан кўринади: бир томондан инсоннинг гуллаб-яшнаши йўлида табиат сақланиб қолиниши лозим, иккинчи томондан эса – табиат муҳитдан жадал равишда фойдаланишсиз инсоннинг гуллаб-яшнаши мумкин эмас. Ҳозирги замон ривожланиш даражасида ишлаб чиқариш

кучларининг ўсиш даражаси бизнинг имкониятларни нафакат кўпайтиради, балки табиий ресурсларнинг потенциални пасайтириш билан уларни камайтиради. Шунинг учун инсоният эришишни хошлаётган мақсадларни танлаб ола туриб, уларнинг натижаларини жамиятнинг иқтисодий юксалиш кўрсаткичлари, унинг ижтимоий ривожланиши бўйича ва табиий ресурсларнинг иш потенциални сақлаган ҳолда аввалдан кўра билиш лозим.

1968 йил Парижда эколог-олимларнинг учрашуви бўлиб ўтди. Унда биринчи бор атроф-муҳит ифлосланишининг асоратлари ва бунда илму фан, ишлаб чиқариш ва сиёсатнинг биосфера ҳолати бўйича масъулияти масалалари кун тартибига қўйилди. Стокгольмда БМТнинг 1972 йили бўлиб ўтган конференцияси 26 тамойилни ўз ичига олувчи декларацияни қабул қилди. Унга кўра барча давлатлар ўз фаолиятларида табиатни асраш ва табиий ресурслардан оқилона фойдаланишга қаратилган тадбирларида ушбу тамойиллардан раҳбарий кўрсатмалар олишлари зарурлиги қайд этилди. Ушбу конференцияда 5 июнь «Умумжаҳон Атроф-муҳит муҳофазаси куни» деб эълон қилинди.

Ҳозирги пайтда техник тараққиёт тайёрлаётган глобал ҳалокатни башорат қилувчиларда камчиликлар мавжуд эмас. Содир бўлиши мумкин бўлган экологик инқирозни инсоннинг табиий муҳитни янгиловчи ва тикловчи табиий биотик циклларни чуқур тушуна билишга асосланган ақл билан иш тутиши дафъ этиши мумкин.

Шунинг учун экологияда табиатда тирик моддаларнинг мавжудлиги тўғрисидаги илм каби йўналиш ҳосил бўлган, бу – инсоннинг хўжалик фаолияти объектларининг (корхона, шаҳар, кишлоқ хўжалиги, гидротехника иншоотлари ва ҳоказо) атроф-муҳит билан ўзаро таъсирини, ўзаро боғлиқлигини ўрганувчи умумий экология қисми сифатидаги саноат экологияси йўналишидир. Инсон фаолиятининг табиатга кўрсатадиган таъсир ҳажми шу даражага бориб етдики, ташкил этувчи сифатида инсон томонидан юзага келган техносферани ажратиб кўрсатиш мумкин. Саноат экологиясини ўрганувчи фан сифатида техносфера вужудга келди. Бу эса бутун экосфера элементи каби бўлган, гидросфера, атмосфера, литосфера, биосфера ва техносферани ўз ичига олади.

6.1.2. Табиий ресурсларнинг истеъмол қўламлари

Ҳозирги замон илмий-техника тараққиёти табиий ресурсларни истеъмол қилиш суръатларининг доимий тарзда тезлашиб бориши ва ишлаб чиқаришнинг ривожланиши билан боғлиқ.

Қадимги одамга ўзининг барча ҳаётий эҳтиёжларини кондириш учун 18 та, XVIII асрда – 28 та, XIX асрда – 47 та, XX асрнинг бошида – 59 та кимёвий элементлар ва уларнинг бирикмалари зарур эди.

Ҳозирда 100 га яқин элемент ва уларнинг бирикмаларидан фойдаланилмоқда.

Ҳар йили ер остидан ҳозирги замон ишлаб чиқариш даражасида 100 млрд.т. турли-тумантоғ жинслари казиб чиқарилади. XX асрнинг охирига бориб бу миқдор 600 млрд тоннагача кўпайди. Айниқса тез суръатлар билан минерал хом ашёдан фойдаланиш ўсиб бормоқда. Агар собиқ иттифокда 1960 йилда минерал хом ашё ҳиссасига истеъмол қилинувчи дастлабки материал ва маҳсулотларнинг 50 % тўғри келган бўлса, ҳозирда эса ушбу хом ашё мутлоқ устун турувчи хом ашёга айланди. АҚШда 1940 йилдан бутун инсоният томонидан ҳозиргача ишлатилиб келинганидан ҳам кўп минерал хом ашё ишлаб чиқаришга сарфланган.

Фойдали қазилмалардан фойдаланиш суръатларининг ўсиши давом этиб бормоқда. Охириги йигирма йилда нефт истеъмоли 4 мартага ортди. Худди шунингдек, темир рудалари, фосфатлар ва бошқа минераллар билан ҳам шундай ҳолат содир бўлмоқда.

Фойдали қазилмаларнинг 200 кўринишидан 30 тасидан энг кўп фойдаланилмоқда. Бироқ казиб чиқариш ва қайта ишлов бериш технологияларининг тараққий этмагани сабабдан металлларнинг деярли ярми ва кимё хом ашёсининг учдан бири йўқотилмоқда. Умуман олганда «хом ашё – мақсадли маҳсулот» технологик занжиридан тўғри чиқарилиш камдан-кам ҳолларда 10 % дан ортади, яъни табиий хом ашёнинг ҳар бир тоннасидан фақат 100 кг фойдали равишда ишлатилади ва 900 кг гача турлича чиқиндилар ҳосил бўлади.

Хом ашё ресурслари истеъмол қилинишининг юзага келган ҳолати чиқиндилар ҳажмининг тўхтатиб бўлмас даражадаги ўсишига олиб боради. Уларнинг катта миқдори чанг-газ

чиқиндиси кўринишида атмосферага ҳамда оқувчи сувлар билан бирга сув ҳавзаларига тушади, бу эса атроф-мухит ҳолатига жуда катта салбий таъсир кўрсатади. Сайёрамиз атмосферасига ҳар йили 300 млн. т. дан ортнқ углерод оксиди, 50 млн. т. дан ортнқ углеводородлар, 200 млн. т. га яқин углерод диоксиди, 53 млн. т. азот оксидлари, 200–250 млн. т. турли хил аэрозоллар, 120 млн. т. кул чиқиндилари кўшилади. Ҳаммадан ҳам кўп атмосферани иссиқлик энергетикаси, кора ва рангли металлургия, кимё саноати ифлослантиради.

Жуда тез равишда каттик чиқиндилар тўпланиш ҳажми кўпайиб борапти. АҚШда каттик чиқиндиларнинг йиллик чиқариб ташланиш миқдори 4,5 млрд. т. га етмоқда, шу жумладан, саноат чиқиндилари – 1 млрд. т; ЕЭС мамлакатларида – 7,2 млрд.т, Японияда – 1,3 млрд.т, Россияда МДХ мамлакатлари билан қўшиб ҳисобланганда иссиқлик энергетикаси кул-шлак чиқиндилари 1980 йилда 100 млн. т, 1990 йилда эса 140–150 млн.т. дан ошиб кетди.

Саноат айланмасига ҳозирда юқори эҳтиёж талаблари қўйилаётган янгидан-янги фойдали қазилмалар кириб бормоқда. Нефт кўп йиллар давомида фақат ёқилғи сифатида ишлатиб келинган эди, сўнг эса кимё саноатида кенг равишда қўлланила бошлади, эндиликда эса – оксил моддалар олишда ҳам ундан фойдаланилмоқда.

Металлар, айниқса, нодир металлар истеъмол қилиниши кенгайди.

Инсон учун фойдали қазилмаларни казиб чиқаришнинг потенциал доираси – ер шарининг бир неча километр қалинликдаги уст қисмидир, ваҳоланки ер қурраси ўз ҳаётининг миллиард йиллари давомида, минерал ресурсларнинг улкан захирасини яратди. Ҳозирча уларнинг ҳаммасидан фойдаланишга имконият йўқ. 10–20 км чуқурликда ер пўстлоғининг ўртача кимёвий таркиби аниқланган. Ўн икки элемент умумий тарзда 99,29 % ни ташкил этади. Ер пўстлоғида энг кўп тарқалган элементлар – кислород ва кремнийдир; саноат аҳамиятига эга бўлган бошқа қимматли элементлар нисбатан катта миқдорга эга эмас.

Куйида ер пўстлоғининг 10–20 км чуқурликдаги ўртача кимёвий таркиби келтирилган. [% да (мас)]:

Кислород	49,13
Кремний	26,00
Алюминий	7,45
Темир	4,20
Кальций	3,25
Натрий	2,40
Калий	2,35
Магний	2,35
Водород	1,00
Титан	0,61
Углерод	0,35
Хлор	0,20
Қолган элементлар	0,71

Табиий ресурсларни 3 гуруҳга бўлиш мумкин: амалда янгилан-майдиған, узок келажакда янгитдан ҳосил бўлувчи ва нисбатан тез янгиланувчи. Аввалги икки гуруҳ – фойдали қазилмалардир. Янгитдан тез ҳосил бўлувчи ресурслардан фаркли равишда фойдали қазилмалар – табиатнинг «муддатли хазинаси»дир. Улардан фақат бир марта фойдаланиш мумкин, кейин улар йўқоладилар.

Нисбатан тез янгитдан ҳосил бўлувчи захиралар ўсимлик ва ҳайвонот дунёсидир. Ушбу биологик ресурслар бир авлоднинг ҳаёти давомида қайта пайдо бўлади. Фойдали қазилмаларнинг ҳосил бўлиши учун жуда ҳам кўп вақт талаб этилади ва уларни бизнинг замонгача ҳосил бўлишида муҳим рол ўйнаган қулай тоғ-геологик шароитлар яна қайта такрорланмаслиги ҳам мумкин.

Келгусида янгитдан ҳосил бўлувчи қазилма бойликлар – нефт, тошкўмир, торф, сланец, шунингдек, баъзи табиий тузлардир. Бироқ, тугма конларнинг қайта ҳосил бўлиши шу қадар узок жараёнки, қазилма бойликларнинг деярли барчасини табиатнинг «муддатли хазинаси» деб ҳисоблаш мумкин. Амалда янгитдан ҳосил бўлмайдиған ресурсларга магматик келиб чиқишга эга бўлган – металллар олинувчи руда қазилмалари ва баъзи норуда (масалан, корунд, графит ва ҳоказо) қазилмалари киради.

Ўзининг ҳаётий ҳўжалик фаолиятида инсон табиий материалларни казиб чиқариш билан фойдаланиш учун тўплайди, сўнгра эса тарқатиб юборади. Бунда ресурсларнинг катта қисми қайта ҳосил бўлмайди (Масалан, углерод ундан фойдаланиш жараёнида ер пўстлоғида газсимон ҳолда ёйилади ва атмосферани ифлослантиради; тсмир турли хил металл буюмлар кўринишида коррозияланиш жараёнида бутун сайёра бўйлаб ёйилиб кетади ва ҳоказо. Инсон томонидан фақат кимматбаҳо металллар бўлмиш – олтин, платина ва ҳоказо тўпланади, улар ёйилиб, тарқаб кетмайди).

Фойдали казилмалар ниҳоятда катта миқёсдаги масштабда казиб чиқарилиши энг бой руда конлари қувватининг пасайиб кетишига олиб келди. Агар техника ривожини ва нархлар даражасидаги фойдаланишга яроқли қидириб топилган захиралар кўзда тутиладиган бўлса, ҳом ашёнинг глобал масштабда озайиб бораётгани тўғрисида фикр юритиш мумкин. Қуйида дунё миқёсида саноат тоифасида фойдали казилма ҳом ашёларига бўлган эҳтиёжларнинг таъминланиш индекси келтирилган (1976 йил маълумотлари бўйича 1976–2000 йй. га бўлган захиралар нисбати).

Металлар учун:

Алюминий	6,2
Темир	5,1
Марганец	4,6
Титан	4,4
Платина	3,1
Молибден	2,2
Никель	2,2
Қалай	1,5
Вольфрам	1,4
Мис	1,4
Қўрғошин	1,2
Симоб	0,9
Рух	0,9
Кумуш	0,6

Юқорида келтирилган маълумотлардан кўринадики, қалай, симоб, рух, кумуш ХХI асрнинг охирига бориб тугаши мумкин. Руда

захираларининг нисбатан тугаётгани ҳақида гап кетаётгани тушунарли, албатта. Кслажакда срининг янада чуқур жойларида ва океан тубларида янги захиралар очилади. Қувватсизлашиб қолган қонлардан фойдаланишнинг иқтисодий жиҳатдан самарали усуллари ишлаб чиқилади.

Аниқланган фактлар ишлаб чиқаришга бўлган сарфларни ҳамда минерал хом ашёга бўлган нархларнинг ортиши муқаррарлигини тасдиқлайди. Хом ашё муаммосини ҳал этишнинг бош йўли қуйидагиларни таъминлайдиган технологияларнинг ишлаб чиқилиши зарурлигини тақозо этади:

а) табиий ресурслардан тўлақонли ва комплекс тарзда фойдаланилишни ошириш (фойдали қазилмалар чиқаришда компонентларнинг максимал сонини танлаб олиш ва ишлаб чиқариш жараёнининг барча босқичларидаги чиқиндиларни кескин камайтириш);

б) ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндиларидан қайта фойдаланиш (чиқитларнинг регенерацияси).

Регенерацион ишлаб чиқариш бир йўла икки муаммони ҳал этади: кўпайиб бораётган чиқиндиларни камайтиради ва хом ашё ресурслари етишмовчилигини бартараф этади. Охириги йилларда регенерацион ишлаб чиқариш янада кенгрок ривожланиб бормокда.

Иқтисодий таҳлил шуни тасдиқлайдики, регенерацион ишлаб чиқариш учун қилинадиган сарфлар қазиб чиқариш (қон) саноати учун қилинадиган сарфларга нисбатан юқори устунликка эгадир.

6.1.3. Ишлаб чиқариш ва атроф-муҳитнинг ўзаро таъсири

Ишлаб чиқариш ва атроф-муҳитнинг ўзаро таъсири жараёнида ишлаб чиқариш ва табиий сфералар ўрталарида моддалар алмашинуви содир бўлади. У антропоген метаболизм ҳодисаси деб аталади.

Антропоген метаболизм иккита ташкил этувчидан иборат: Ер юзидаги барча инсониятнинг хусусий модда алмашинуви (биологик қисм) ҳамда технологик жараёнлар орқали юзага келувчи техноген модда алмашинувларининг (технологик қисм) йиғиндисидан ташкил топади. Булардан охиригиси техносфера ва биосфера ўртасидаги модда алмашинуви каби таърифланади.

Технологик алмашинув – Ер юзидаги янгича ходисадир ва шунинг учун жамият – табиат тизимида кўплаб муаммо ва карама-каршиликларни юзага келтиради.

Исталган технологик жараён дастлабки моддалар (хом ашё) киритилиши билан бошланади ва охир-окибат турли-туман тайёр буюмлар ва чиқиндилар ҳосил бўлиши билан тугалланади. Бошқа сўз билан айтганда, антропоген алмашинув тизими бир бутун олганда табиий ресурсларни киритиш, уларга энсргиядан фойдаланган ҳолда ишлов бериш ва атроф-муҳитга чиқинди моддалар чиқариш (ишлаб чиқариш ва майший чиқиндилар) ва ўз хизмат муддатини тугатган буюмларни чиқариб ташлаш кабилардан иборатдир. Ушбу жараён қизиқли, ёпиқ бўлмаган ва демак, тугал хусусият касб этади, чунки чиқиндилар ва ишлов берилган буюмларнинг қайтадан дастлабки хом ашё сифатида қайтарилиши ҳали қоида тусига кириб улгурмаган ва ханузгача унинг инъикоси бўлиб келмоқда.

Биосферадаги моддалар алмашинуви бошқа тамойилга асосланган. Биосферадаги моддалар ҳаракати жараёни ёпиқ циклик хусусиятни касб этади, яъни Қуёшдан келувчи доимий энергия дастаси таъсирида назарий жиҳатдан узлуксиздир.

Антропоген алмашинувнинг ҳозирги замондаги ҳажми ва тезлиги, айниқса унинг технологик қисмининг шундай даражасига бориб етдики, модданинг киритилиши (хом ашё ресурслари) ва тизимдан чиқишида (чиқиндилар) тобора равшанроқ кескинлик кўзга ташланиб бормоқда.

Натижада ҳозирги вақтда глобал хусусиятга эга бўлган тўртта ўтқир муаммо юзага келди: атроф-муҳитни ифлосланишдан химоя қилиш, тобора кўпайиб бораётган аҳолини озик-овқат маҳсулотлари билан таъминлаш, саноат ишлаб чиқаришни минерал хом ашё билан таъминлаш ва энергетика муаммолари.

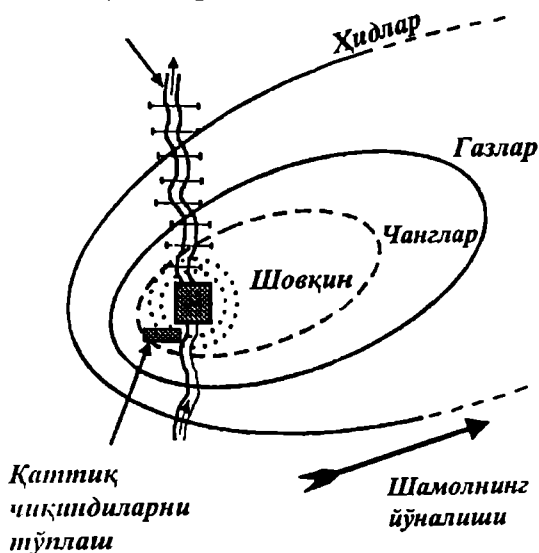
Инсоннинг атроф-муҳитга кўрсатаётган таъсири жуда катта. Атроф-муҳитдаги барча компонентлар инсон учун энг муҳим, атмосфера ҳавоси, чучук сув ва ер юзаси жадал равишдаги таъсирга дучор бўладилар.

Атроф-муҳитнинг ифлосланиши – антропоген алмашинув тизими ичидан табиат қўйнига турли-туман чиқинди ва фойдаланиб

бўлинган (хизмат муддатини ўтаб бўлган) буюмларнинг чиқариб ташланиши сабаб бўлмоқда.

Манбаларнинг тури ва атроф-муҳитни ифлослантирилиш йўли ниҳоятда хилма-хилдир: атмосферага кимсвий бирикма ва аралашмаларнинг ташланиши; табиий сув ҳавзаларига (дарёлар, срости сувлари) турли хил ишлаб чиқариш чиқиндилари ва оқава сувларнинг қуйилиши, уларга нефт маҳсулотларининг тушиб қолиши; Ер пўстлоғининг қаттиқ чиқиндилар билан ифлосланиши; ионизацияловчи радиация, товуш, вибрация, шунингдек, атмосфера ва сув ҳавзасига иссиқлик чиқиндиларининг чиқариб ташланиши. Айтиб ўтилган ифлослантирувчи манбалардан кўпчилиги кимё саноати ишлаб чиқаришига тааллуқлидир. 6.2-расмда ишлаб чиқариш чиқиндиларининг атроф-муҳитдаги нисбий масофаларини кўриш мумкин.

*Дарёга ёки оқава сувлар коллекторида,
ер ости сувларига тушадиган
чиқиндилар*



6.2-расм. Ишлаб чиқариш чиқиндиларининг атроф-муҳитдаги нисбий масофалари ва тарқалиши.

МДХ давлатларида атмосферани бузувчи асосий саноат ишлаб чиқариш ва транспортнинг олти тури мавжуд. Уларнинг атмосферани бузишдаги нисбий иштироки куйидагича (%): иссиқлик энергетикаси – 27,0; қора металлургия – 24,3; рангли металлургия – 10,5; нефт қазиб чиқариш ва нефт кимёси саноати – 15,5; автотранспорт – 13,3; қурилиш материаллари корхоналари – 8,1; кимё саноати – 1,3.

Кўриниб турганидек, иссиқлик энергетикаси ва қора металлургия корхоналари атмосферани ифлослантирувчи корхоналар чиқарувчи чиқиндиларнинг ярмидан кўпини чиқариб ташлайди. Умумий миқдори бўйича кимё ишлаб чиқариш корхоналаридан чиқувчи чиқиндилар озрокдир, аммо уларнинг хилма-хиллиги ва юқори заҳарлилиги кимё саноатининг атмосферани ифлослантирувчи асосий корхоналар қаторига киритилишини тақозо этади.

Кимё ва нефт кимёси корхоналари учун технологик ва вентиляция тизимларга оид, атмосферага ташкиллаштирилган ва ташкиллаштирилмаган тарзда зарarli моддаларнинг атмосферага ташланиши мавжудлиги хусусиятлидир. Технологик чиқиндиларга технологик жараёнларнинг кулсимон ташландиқ маҳсулотлари, ускуналарнинг пуфланишидан чиқувчи чиқиндилар, доимий тарзда ишлаб турувчи чиқинди газ бирикмаларини чиқарувчи мўриконлар, даврий равишда ишловчи сақлаш клапанлари, технологик печларнинг тутун мўриконлари киради. Технологик чиқиндилар унча катта бўлмаган газ-ҳаво аралашмасидаги зарarli моддаларнинг юқори концентрацияси билан белгиланади.

Вентиляция чиқиндиларга умумаллашмасини ва маҳаллий сўрувчи вентиляциялардан чиқувчи чиқиндилар киради. Вентиляция ҳавонинг ҳажмини ҳисобга олганда вентиляция чиқиндиларда мавжуд бўлувчи зарarli моддалар миқдори, технологик чиқиндилардан ҳам юқори бўлиши мумкин.

Ташкиллашган ҳолда чиқиндиларга газ чиқариб ташловчи тизимлар чиқариш жойларидан чиқарилувчи газ чиқиндилари киради ва бу зарarli моддаларнинг мувофиқ қурилмалар орқали тутиб олинишига имкон беради.

Ташкиллашмаган ҳолдаги чиқиндилар қурилмалар, коммуникациялар, намуна олиш жиҳозлари, канализация қудуқлари герметик тарзда бўлмасликлари туфайли юзага келади.

Углерод диоксиди, олтингугурт диоксиди, азот оксидлари, углеводородлар, учувчи эритувчилар (ароматик углеводородлар, спиртлар, эфирлар, кетонлар, галоген бирикмали углеводородлар ва ҳоказо) шунингдек, чанг – атмосферани ифлослантирувчи энг кўп ёйилган моддалардир.

Атмосферани ифлослантирувчи 200 дан ортиқ моддалар маълум бўлиб, янгидан-янги технологик жараёнларнинг ўзлаштирилиши билан уларнинг сони орта боради. Баъзи ҳолатларда атроф-муҳитга бўладиган таъсир чиқиндилардан уларга қуёш нури таъсир этиши натижасида атмосферада ҳосил бўлувчи янги моддалар таъсири қучаяди.

Инсон фаолиятининг табиий ресурси ва шунинг билан бир вақтда унинг ҳаётий зарур неъматини бўлган чучук сувларнинг ифлосланиши жиддий хавф туғдиради. Масалан, 1900 йилда АҚШда устки оқим сув ресурсининг фақат 6 %, 1960 йилда 27%, 1980 йилда эса 50 % дан ортиқ миқдори инсон томонидан фойдаланиш учун сарфланган. Жаҳон бўйича сув истеъмоли 60-йилларнинг охирида 560 км³ ҳажмини ташкил этди, бу Ер юзасидаги дарё сувлари ҳажмининг ярмини ташкил этади. Бунда сув ҳавзаларига 440 км³ оқава сувлар тушиб, 5500 км³ тоза сувни ифлослантирган.

МДХ мамлакатларида қайта янгиланувчи дарё оқими йилига 4700 км³ ҳажмини ташкил этади. Сув истеъмоли учун фойдаланилиши мумкин бўлган оқимнинг энг барқарор миқдори йилига 1600 км³ ёки умумий сув ресурсларининг 34 % ни ташкил этади.

Саноат корхоналари, қишлоқ хўжалиги, транспорт турли-туман сирт-фаол моддалар, тузлар, минераллар, углеводородлар, муаллақ моддалар, ўғитлар ва захарли химикатлар орқали сув ҳавзаларини ифлослайди.

Сувнинг органик жиҳатдан ифлосланишининг хавфли кўринишларидан бири 20 км² сув усти майдонидан ортиқ қисмининг нефт орқали ифлосланишидир. Бундай плёнка қават ёруғлик нури ўтишини камайтиради, фотосинтезга қаршилик кўрсатади, кислород ва углерод (IV) оксидининг ўтиш ҳаракатини пасайтиради. Вақт ўтиши билан нефт плёнкаси қуёш нури таъсири остида юқори токсик моддалар ҳосил қилиш билан парчаланаяди.

Ҳозирги замоннинг энг муҳим муаммоларидан бири тупрокни сақлашдир. Ҳар йили дунё бўйича тахминан 6–7 млн. га тупрок яроксиз ҳолатга келади.

Қишлоқ хўжалиги учун ярокли ва ҳайдалувчи ерлардан шаҳар қурилиш майдони ўрнида, йўл солиш, саноат қуриш учун чиқинди ағдариш учун фойдаланилишидан катта йўқотишлар юзага келади.

Ҳозирги пайтда 1 млн м³ фойдали казилма казиб чиқарилиши учун 8,6 га, 1 км узунликдаги қувур ётқизиш учун 4 га, 1 км узунликдаги автойўл солиниши учун 2 га ер сарфланади.

Шундай қилиб, инсон фаолиятининг экологик асоратлари атроф-муҳитнинг алоҳида компонентларидаги ва уларнинг бутун мажмуида табиий тарзда кечувчи жараёнларнинг бузилишига таъсир кўрсатади. Инсон, унинг фаолияти, бизни ўраб турган муҳитнинг компонентларига бевосита таъсир этган ҳолда экологик-иқтисодий тизимлар узвий боғланишини ҳосил қилади (ЭИТ), унинг ҳаётий фаолиятининг узвий боғлиқлиги туфайли алоҳида компонентлар ҳолида кўриб чиқилиши мумкин эмас.

Машҳур эколог Барри Коммонер инсоннинг ишлаб чиқариш фаолияти ва атроф-муҳитнинг ўзаро боғлиқлигини акс эттирувчи асосий Қонунларни кашф этди: барча нарса барча нарса билан боғлиқ; барча нарса қаергадир тушиши лозим; табиат яхшироқ билади; ҳеч нарса бекордан-бекорга берилмайди.

6.1.4. Атроф-муҳит ҳолатини назорат қилиш

Аралашмаларнинг атмосферадаги асосий физик хусусияти (тавсифи) бўлиб уларнинг меъёрий шароитларда (одатда мг/м³) ҳаво ҳажми бирлигидаги модданинг микдорининг концентрацияси хизмат қилади. Аралашмаларнинг концентрацияси уларнинг атроф-муҳитга бўлган физик, кимёвий ва бошқа хил таъсирларини белгилайди ва атмосфера ва сув объектларида аралашмаларни меъёрлашда асосий параметр бўлиб хизмат қилади.

Аралашмаларнинг атмосферадаги чекланган йўл қўйилувчи концентрациялари (ПДК) (ЧЙК) – атмосферадаги аралашмаларнинг маълум вақт давомида ўрталаштирилган макси-

мал концентрациясидир ва у даврий равишдаги таъсир ёки инсоннинг барча ҳаёти давомида унга ва атроф-муҳитга узокдан таъсир этувчи асоратларни киритган ҳолда зарарли таъсир кўрсатмайди. Ифлослантирувчи моддаларнинг чегаравий йўл қўйилувчи концентрацияси Ўзбекистон Соғлиқни сақлаш вазирлиги томонидан чекланади.

Агар моддалар бизни ўраб турган табиатга инсон организмга кўрсатадиган таъсиридан кўрсатганига қараганда кам миқдордаги концентрацияда зарарли таъсир кўрсатса, мсёёрлаштиришда ушбу таъсирнинг атроф-табиатга бўлган таъсиридан келиб чиққан ҳолда ёндашилади.

ПДК (ЧЙК) икки турга бўлинади – максимал бир марталик (ПДК бир) ва ўртача суткалик (ПДК сут). Биринчиси асосан 20–30 минутлик вақт оралиғига тааллуқлидир ва у аралашманинг инсон организмга қисқа вақт таъсир этиш даражасини белгилайди; иккинчиси – ҳавонинг узок вақт давомида унинг давом этишини қатъий аниқликда ўлчанишисиз ифлосланишининг йўл қўйилиш даражасидир.

МДХ мамлакатларида 200 ингредиент учун ПДК ўрнатилган. 4.1-жадвалда энг қўп тарқалган баъзи аралашмалар учун қийматлар келтирилган. Захарли таъсирга кўра аралашмаларнинг тўрт хавфлилиқ синфга ажратилади.

Ҳар қайси зарарли модданинг ер усти қаватидаги энг юқори концентрацияси максимал бир марталик чегаравий йўл қўйилган концентрациядан, яъни $C \leq \text{ПДК}$ марталикдан бир ошмаслиги лозим. Атмосферада бир нечта бир хил йўналишдаги таъсирга эга бўлган зарарли аралашмаларнинг бир вақтнинг ўзида мавжуд бўлишида, уларнинг ўлчовсиз жами концентрацияси қуйидаги шартни қаноатлантириши лозим:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_{\text{бир}} 1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_{\text{бир}} 2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_{\text{бир}} n} \leq 1$$

Бунда $C_1, C_2, \dots, C_n$ – атмосферанинг бир нуктасининг ўзидаги зарарли моддаларнинг концентрацияси, мг/м^3 ; $\text{ПДК}_{\text{бир}} 1, \text{ПДК}_{\text{бир}} 2, \dots, \text{ПДК}_{\text{бир}} n$ – атмосферадаги зарарли моддаларнинг максимал бир марталик чегаравий йўл қўйилувчи концентрациялари, мг/м^3 .

**АҲОЛИ ПУНКТЛАРИНИНГ АТМОСФЕРА ҲАВОСИ УЧУН БАЎЗИ
МОДДАЛАРНИНГ ЧЕГАРАВИЙ ЙЎЛ ҚЎЙИЛУВЧИ КОНЦЕНТРАЦИЯ
ҚИЙМАТЛАРИ (ПДК) (ЧЙК)**

Модда	ПДК, (ЧЙК), мг/м ³		Хав- флилик синфи
	Максимал – бир марталик	Ўртача – суткалик	
Азот диоксиди	0,085	0,085	2
Аммиак	0,2	0,2	4
Олтингугурт диоксиди	0,5	0,05	2
3,4-Бенз(а) пирен	–	10 ⁻⁶	1
Муаллақ моддалар (чанг)	0,5	0,05	3
Сульфат кислота	0,3	0,1	2
Метилмеркаптан	9 · 10 ⁻⁶	–	2
Металл симоб	–	3 · 10 ⁻⁴	1
Водород сульфид (H ₂ S)	0,008	0,008	2
Олтингугуртнинг углеродли бирикмаси	0,03	0,005	2
Углерод оксиди	3,0	1,0	4
Фенол 0,01	0,01	0,01	2
Газсимон фторли бирикмалар	0,02	0,05	2
Хлор	0,05	0,05	3

Бир йўналишдаги таъсир эффектига олтингугурт ва азот диоксидлари; олтингугурт диоксиди ва водород сульфид; этилен, пропилен, бутилен ва амилен, озон, олтингугурт диоксиди, формалдегид ва ҳоказо бир қатор зарарли моддалар эгадирлар.

Атмосферага чиқарилувчи чегаравий йўл қўйилган чиқиндилар (ПДВ) (ЧЙЧ). Атмосферани ифлослантирувчи ҳар қайси манба учун саноат корхоналарининг ривожланиш келажаги ва зарарли моддаларнинг атмосферада ёйилиши аҳоли, ўсимлик ва ҳайвонот дунёси учун берилган манбадан шаҳар ёки бошқа аҳоли пунктининг чиқиндилари билан қўшиб олган ҳолдаги ПДК(ЧЙК) миқдордан ортувчи ерга оид концентрациясини ҳосил қилмаслигини ҳисобга олиш шартидан келиб чиққан ҳолда зарарли моддаларнинг чегаравий йўл қўйилган чиқиндилари ўрнатилади.

Атмосферани ифлослантирувчи манба учун ПДВ (ЧЙЧ) ўрнатилишида ушбу жойда ишловчи бошқа ифлослантирувчи манбалардан ҳосил бўлувчи зарарли моддаларнинг фонга оид концентрацияси қиймати ҳисобга олиниши зарур. ПДВ (ЧЙЧ) аралашмаларнинг атмосферада ёйилиш ҳисоби асосида ўрнатилади. Бир-бирига яқин жойлашган мўриконлар бўлиши N манбадан чиқариб ташланувчи иссиқ чиқиндиларнинг ПДВ (ЧЙЧ) си қуйидаги формула орқали ҳисобланиши мумкин:

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi})H^2}{ArFmn} \sqrt{\frac{V\Delta T}{N}}$$

Бунда, C_{ϕ} – берилган аҳоли пункти ёқин шаҳардаги фонга оид концентрация; H – мўриконларнинг баландлиги; V – вақт бирлигида ташланувчи тутун газларнинг ҳажми; ΔT – газларнинг атрофдаги ҳавога нисбатан иссиқлик даражаси; A ва r – мувофиқ равишда ноқулай иқлимий шароитлар ва рельефнинг таъсирини ифода этувчи коэффициентлар (текис жой учун $r=1$); F – аралашмани чуқиш таъсирини аниқловчи коэффициент (газлар учун $F=1$); m ва n – ёрдамчи параметрлар.

ПДВнинг ўрнатилиши муайян корхонадан чиқиб атмосфера-нинг ерга туташ қатламига ёйилувчи чиқинди газларнинг мумкин бўлган ноҳуш таъсиридан аҳоли ҳимоясини кафолатлайди. Бунда ПДК асосий меъёр бўлиб қолади, ПДВ миқдори эса корхона чиқиндилари устидан назоратни енгиллаштирган ҳолда иккинчи даражали қийматга эга бўлади. Корхоналардаги назорат қилиш тизимлари чиқинди чиқариб ташловчи манбаларни ва ПДВ нинг риоя этилишини кузатиб боради.

Моддаларнинг сув объектларидаги чегаравий йўл қўйилган концентрациялари (ПДК) (ЧЙК) – моддаларнинг сувнинг фойдаланиш учун яроқсиз ҳолга келтирувчи концентрацияси.

Сув объектларига юқорида жойлашган корхоналардан бир неча моддаларни ва аралашмаларни ҳисобга олганда, қўшилишида, атмосферанинг ифлосланиш ҳолатидаги каби қуйидаги шартларга амал қилиниши лозим:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1$$

Ҳозирги пайтда санитар хизмати органлари томонидан 400 дан ортик хилма-хил моддалар учун сув хавзалари сувларининг ПДК си ўрнатилган.

Юзадаги сувларни оқава сувлар орқали ифлосланишдан сақлаш қоидаларида сув объектларига ўзида ПДК ўрнатилмаган моддалар тутувчи оқава сувларнинг қўшилишини таъқиқланади.

Атроф-муҳит мониторинги. Мониторинг деб атрофдаги табиий муҳитни баҳолаш ва унинг ҳолатини аввалдан белгилашнинг кузатувлар тизимига айтилади. Мониторингнинг мақсади – антропоген ифлосланишларни аниқлашдир.

Мониторинг – кимёвий, физик (нурланиш, иссиқлик орқали ифлосланиш) каби антропоген таъсирлар манбалари ва омиллари устидан ҳамда ушбу таъсирлар орқали атроф-муҳитда юзага келувчи эффектлар ва ҳаммасидан аввал биологик тизимлар реакцияси устидан бўлган кузатувларни ўз ичига олади.

Мониторинг тизими локал (маҳаллий) қисмини ишғол қилгани каби бутун ер куррасини ҳам ишғол этиши мумкин (биосфера ҳолатини баҳолаш учун глобал мониторинг). МДХда турли даражадаги – глобал, регионал ва маҳаллий мониторинглари ишлаб чиқилган. Атмосфера ҳавоси ифлосланишининг назорат қилиш станциялари тармоғи 1500 станцияни, ички сув хавзаларининг ифлосланиши – 3343 станцияни, денгиз ифлосланиш тармоғи – 1500 станцияни ўз ичига олади; тупрок ифлосланишини назорат қилиш учун 2000 та пост ташкил этилган.

6.1.5. Атроф-муҳит ифлосланишининг иктисодий асоратлари

Атроф-муҳитнинг ифлосланиши халқ ҳўжалигида икки хил кўринишдаги сарфларни тақозо этади: ифлосланган муҳитнинг алоҳида объектларга бўладиган таъсирининг (зарарини) олдини олувчи сарфлар ҳамда таъсирнинг ўзи орқали юзага келувчи сарфлар (атроф-муҳитга мувофиқ чиқиндилар чиқиши орқали келтирилувчи зарар). Ушбу сарфларнинг йиғиндиси атроф-муҳитнинг ифлосланиши билан халқ ҳўжалигига етказилувчи зарарни ифода этади.

Исталган манба учун атмосферага чиқариб ташланишидан юзага келувчи йиллик зарарнинг яхлитлаштириб олинган иктисодий баҳоланишини куйидаги формула бўйича аниқлаш мумкин:

$$Y_a = \gamma \sigma f M,$$

Бунда Y_a – зарар, сўм/йил; γ – ифлослантирувчи моддалар шартли массаси бирлигидан бўлган солиштира зарар, сўм/шарт; σ – турли хилдаги ҳудудлар устидаги атмосферанинг ифлосланишининг нисбий хавфини белгиловчи ўлчовсиз кўрсаткич; f – ифлослантирувчи газларнинг атмосферада ёйилишини ҳисобга олувчи ўлчовсиз тузатиш; M – ифлослантирувчи манбадан чикувчи чиқиндининг келтирилган шартли массаси, шарт. т/йил.

Моддаларнинг заҳарлилигини ҳам ўз ичига олган ҳолда барча катталиклар турли хил омилларга боғлиқ бўлади.

Маълум сув ҳавзасига ифлослантирувчи чиқиндилар орқали келтирилувчи зарар, исталган манба учун (корхона, аҳоли пункти), юқоридаги формулага ўхшаш формула орқали аниқланади:

$$Y_b = \gamma \sigma M,$$

Бунда Y_b – зарар, сўм/йил; γ – ифлослантирувчи моддалар шартли массаси бирлигидан бўлган солиштира зарар, сўм/шарт; σ – турли сув ҳўжалик участкалари (масалан Шимолий Донецк дарёсининг куйилиш жойи учун – 3,70, Енисей дарёсининг куйилиш жойи учун – 0,11) ифлосланишининг нисбий хавфини белгиловчи ўлчовсиз кўрсаткич; M – берилган манбадан чикувчи чиқиндининг келтирилган шартли массаси, шарт. т/йил.

Шунингдек, ер ресурслари орқали келтирилувчи ифлосланиш ва ажратиб чегараланишлар орқали юзага келувчи иктисодий зарарлар ҳам ҳисоблаб чиқилиши мумкин.

Кўпчилик саноати ривожланган мамлакатларда атроф-муҳитнинг ифлосланишидан юзага келувчи иктисодий зарар ялпи миллий маҳсулотнинг 3–5% ни ташкил қилади. Бунда ифлосланишни камайтиришга қаратилган тадбирларни амалга ошириш учун бўлган сарфлар 1–3% га етди. Саноатнинг турли соҳаларида атроф-муҳитни муҳофаза қилиш учун бўлган капитал харажатлар умумий капитал маблағларнинг 5–20% гача бориб етади.

6.1.6. Чиқиндисиз ишлаб чиқаришнинг барпо этишнинг асосий тамойиллари

Чиқиндисиз ишлаб чиқаришнинг барпо этиш масалаларини кўриб чиқишда фойдаланишни талаб этувчи асосий тушунчаларни кўриб чиқамиз.

Ишлаб чиқариш чиқиндилари – берилган маҳсулот олишда ўз сифатини тўлиқ ёки қисман йўқотган ва стандартларга (техник шартлар) мувофиқ келмайдиган ҳам ашё қолдиқлари, материаллар ва ярим маҳсулотлардир. Ушбу қолдиқ материаллар мувофиқ ишловлардан сўнг ишлаб чиқариш ёки истеъмол соҳаларида қўлланилиши мумкин.

Истеъмол чиқиндилари – бундан кейинги фойдаланиш учун яроқсиз бўлган (тўғридан-тўғри мақсадлар йўлида) ишлаб чиқариш – техник ва маиший мақсадлардаги буюмлардир (масалан пластмасса ва резинадан бўлган едирилган, эскирган буюмлар, иссиқлик изоляция печларининг ишлатиш учун яроқсиз ҳолга келган шамотли ғишти ва ҳоказо).

Йўлдош қўшимча маҳсулотлар ҳам ашёни физик-кимёвий қайта ишланишида ишлаб чиқаришнинг асосий маҳсулотлари қаторида ҳосил бўлади ва ишлаб чиқариш жараёни мақсадларини ифода этмайди. Улар кўпчилик ҳолларда товар ҳолида бўлиб, уларга ГОСТ, ТШ ва тасдиқланган нархлар мавжуд бўлади, уларнинг чиқарилиши режалаштирилади. Ҳаммадан кўп булар ҳам ашёда мавжуд бўлмаган компонентлар бўлиб, берилган ишлаб чиқаришда улардан фойдаланилмайди ёки улар асосий ҳам ашёни қазиб чиқариш ёки бойитишда ҳосил бўлади, уларни йўлдош маҳсулотлар деб ҳам аталади (масалан, нефт қазиб чиқаришда ҳосил бўлувчи йўлдош газ).

Иккиламчи материал ресурслар (ВМР) (ИМР) – ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндиларининг йиғиндиси бўлиб, улардан мақсадли маҳсулот чиқариш учун асосий ёки ёрдамчи материал сифатида фойдаланилиши мумкин.

Ишлаб чиқариш ва атроф-муҳит ўртасида ҳозирги пайтгача ҳам очиқ турдаги боғлиқлик устунлик қилиб келади. Ишлаб чиқариш жараёни табиий ресурслардан фойдаланишдан бошланиб, уларни ишлаб чиқариш воситаси, истеъмол предметига айлантирилиши

билан тугалланади. Ишлаб чиқариш жараёни кетидан уларни истеъмол қилиниш жараёни келади, сўнг эса фойдаланиб бўлинган маҳсулотлар ташланади.

Шундай қилиб, очик тизим табиатнинг дастлабки материалидан бир марталик фойдаланиш тамойилига таянади.

Ишлаб чиқариш ҳар сафар баъзи янги табиий ресурслардан фойдаланишдан бошланади ва ҳар гал ҳам истеъмол қилиш чиқиндиларининг атроф-муҳитга чиқариб ташланиши билан тугайди. Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, табиий ресурсларнинг жуда ҳам кам қисми мақсадли маҳсулотга айлантирилади, уларнинг катта қисми чиқитга чиқарилади.

Биосфера тизимларнинг қаторлашган тамойили бўйича амал қилади: ҳар қайси шакл бошқа шаклларнинг бузилиши ҳисобига тузилади. Ишлаб чиқариш фаолияти охири вақтгача ҳам бошқа тамойил асосида – табиий ресурслардан максимал тарзда фойдаланиш ва ишлаб чиқариш ҳамда истеъмол чиқиндиларининг деструкциялаш муаммоларига эътибор бермаган ҳолда курилиб келди. Бу йўл чиқиндилар кўлами экологик тизимларнинг ўз-ўзини ўнглаш лаёқати чегараларидан ортиб кетмаслик ҳолатигача мавжуд бўлиши мумкин эди.

Шундай қилиб, ишлаб чиқариш билан атроф-муҳит оралиғидаги боғлиқликнинг тамоилий жиҳатдан янгича шаклига, яъни ишлаб чиқариш жараёнларини модданинг табиатда умум айланишидаги юқори қаторланиши мумкинлигини тахмин қилувчи – ишлаб чиқаришнинг ёпиқ тизимларига ўтиш зарурияти пишиб етилди.

Ёпиқ тизимда ишлаб чиқариш қуйидаги фундаментал тамойилларга таянган ҳолда курилади:

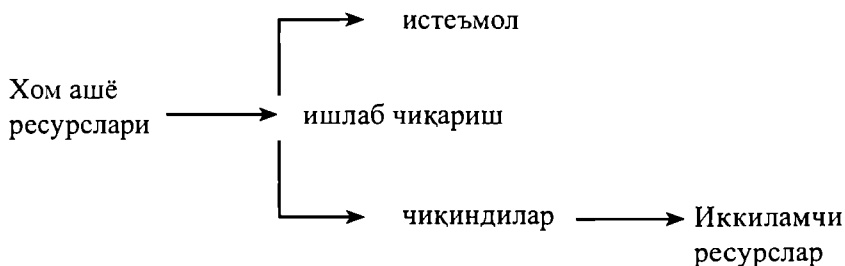
1) дастлабки табиий хом ашёдан мумкин қадар тўлиқ фойдаланиш;

2) ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндиларидан мумкин қадар тўлиқ фойдаланиш (чиқиндиларни регенерациялаш ва уларни ишлаб чиқаришнинг кейинги босқичлари учун бошланғич хом ашёга айлантириш);

3) фойдаланилувчи ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндилари экологик тизимлар томонидан ассимиляцияланишлари мумкин бўлган сифатларга эга бўлган охириги маҳсулотларни яратиш.

Ресурслардан фойдаланиш соҳасидаги бугунги юзага келган ҳолат ва ишлаб чиқариш чиқиндилари кўлами, табиий ресурсларни оптимал истеъмол қилиш ва атроф-муҳитни муҳофаза қилишнинг экологик жиҳатдан зарарсиз ёки чиқитсиз жараёнларни ва биринчи навбатда кам чиқитли технологик жараёнларни яратишдан иборат бўлган бирдан-бир йўли бор, деган ҳулоса чиқаришга имкон беради. Бу табиат томонидан айtilган ягона йўлдир.

1979 йилнинг ноябрь ойида Женсвада Бирлашган Миллатлар Ташкилоти микёсида атроф-муҳитни муҳофаза қилиш бўйича ўтказилган анжуманда «Кам чиқитли ва чиқитсиз технологиялар ва чиқиндилардан фойдаланиш тўғрисида Декларация» қабул қилинди. Ушбу декларацияга мувофиқ **чиқитсиз технология** деганда саноат ва регион, соҳанинг саноат ва қишлоқ хўжалигининг, шунингдек, алоҳида ишлаб чиқаришларнинг шундай ишлаш таъмоийллари тушуниладики, бунда ҳам ашёнинг барча компонентлари ва циклдаги энергиядан рационал тарзда фойдаланилади ва экологик мувозанат бузилмайди:

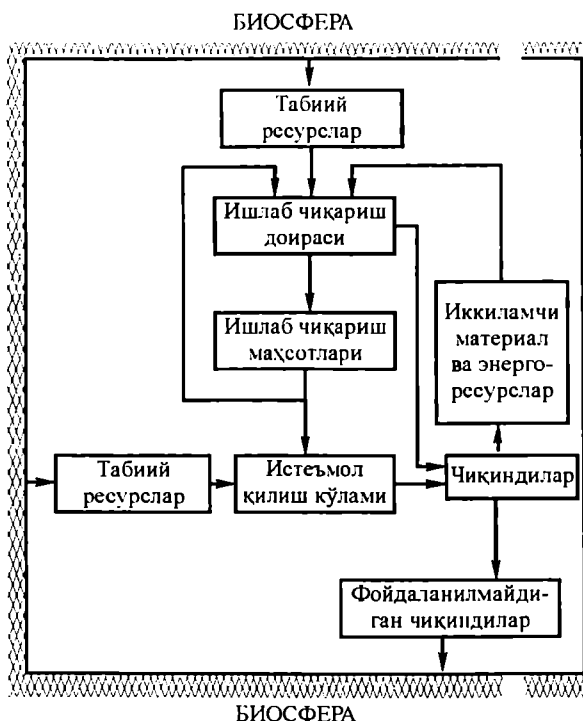


Кам чиқитли ишлаб чиқариш деганда шундай ишлаб чиқариш тушуниладики, бунда фаолиятнинг зарарли асоратлари, санитар меъёрлар орқали йўл қўйилувчи микдордан ошмайди, аммо техник, иқтисодий, ташкилий ёки бошқа сабаблар туфайли ҳам ашё ва материалларнинг бир қисми чиқитга ўтади ва узоқ вақт сақланишга юборилади.

Албатта, чиқитсиз технология концепцияси баъзи даражаларда шартли аҳамият касб этади. Чиқитсиз технология деганда назарий чегара, ишлаб чиқаришнинг кўпчилиқ ҳолларида тўлиқ тарзда амалга оширилмай, балки фақатгина қисман (кам чиқитли дейили-

шининг маъноси шундан), аммо технологик такомиллашувнинг тобора яқинлашиши билан кечувчи идеал модели тушунилади.

Табиатнинг ўз-ўзини тозалаш лаёқати ортга қайтарилмайдиган экологик ўзгаришлар юзага келишининг старли даражада олдини олиш мумкин бўлган, минимал чиқиндилар билан кечувчи технологик жараёнлар баъзида «экологик технология», «кам чиқитли жараёнлар», «зарарсиз технология» деб юритилади. Бирок «чикитсиз технология» энг кўп тарқалгандир. Биосфера билан инсоннинг техноген фаолияти 6.3-расмда кўрсатилган.



6.3-расм. Биосфера ва инсоннинг техноген фаолияти ўртасидаги боғланиш.

Чикитсиз технология стратегияси, ишлаб чиқаришнинг фойдаланилмайдиган чиқиндилари тўлиқ фойдаланилмаган табиий ресурслар ва атроф-мухитни ифлослантириш манбалари эканлигидан келиб чиққан ҳолда қурилади. Технологиянинг товар маҳсулоти

ҳисобида олинган фойдаланилмайдиган чиқиндиларнинг солиштирма чиқиш микдорининг пасайиши шу микдордаги хом ашёнинг ўзидан кўпроқ маҳсулот ишлаб чиқарилишига имкон беради ва шунинг билан бирга атроф-муҳитни муҳофаза қилиш бўйича таъсирли чора бўлиб хизмат қилади.

Биосфера бизга ишлаб чиқариш натижасида охирги маҳсулотлар ҳосил бўладиган ва бунда чиқитлар ҳосил бўладиган табиий ресурсларни беради. Маҳсулотлардан ё ишлаб чиқариш соҳасида ёки бўлмаса истеъмол соҳасида фойдаланилади ва яна чиқитлар ҳосил бўлади. Чиқинди деганда биринчи бошланғич ҳолатида истеъмол қилиниши мумкин бўлмаган лаёқатга эга бўлмаган моддалар тушунилади. Кўпчилик ҳолларда зарур бўлганда мувофиқ ишловлардан сўнг улардан иккиламчи хом ашё сифатида (иккиламчи материал ресурслар) ёки иккиламчи энергия ташувчилар (иккиламчи энергия ресурслари) сифатида фойдаланиш мумкин бўлади. Агар техник ёки технологик сабабларга кўра ёки иқтисодий жиҳатдан чиқиндиларни ишловдан ўтказиш мумкин бўлмаса, у ҳолда улар биосферага шундай тарзда чиқарилиши керакки, бунда улар атроф-муҳитга мумкин қадар зарар етказмайдиган бўлсин.

Моддалар сақланиш қонунидан келиб чиққан ҳолда ишлаб чиқариш ва истеъмол соҳалари бўйича қуйидаги балансни тузиш мумкин:

$$R = A(1 - \varphi_m) + S$$

Бунда R – табиий ресурслар сарфи, кг/с; A – ишлаб чиқариш ва истеъмол соҳаларида ҳосил бўлувчи чиқиндилар массаси, кг/с; φ_m – чиқиндилардан фойдаланишнинг ўртача коэффициенти, кг/кг; S – ишлаб чиқариш ва истеъмол соҳаларида ишлаб чиқаришнинг доимо ўсиши натижасида тўпланиб боровчи моддалар массаси, кг/с.

Баланс тенгламанинг таҳлили, ишлаб чиқаришнинг фойдаланилмайдиган чиқиндиларининг солиштирма микдорининг $A(1 - \varphi_m)$ ва бинобарин табиий ресурсларнинг солиштирма сарфларининг қамайиши:

- ишлаб чиқариш чиқиндилари солиштирма чиқишининг қамайиши ҳисобига A ;
- чиқиндилардан фойдаланиш коэффициентининг кўпайиши ҳисобига φ_m бўлиши мумкинлигини кўрсатади.

Юқорида кўрсатиб ўтилган йўللardan бирининг танланиши технологик имкониятларга боғлиқ бўлгани каби иктисодий шарт-шароитларга ҳам боғлиқдир. Чикитсиз технология яратишнинг биринчи мақсади – фойдаланилмаган чиқиндиларнинг масса оқимининг вақт бирлиги ичида биосферага чиқарилувчи микдорини шу қадар камайтиришликка, бунда биосферанинг табиий мувозанати сақланиб қолиши ва асосий табиий ресурсларнинг сақланиши таъминланиши лозим.

Чикитсиз технология яратилишида қуйидаги тўрт тамойил аниқланди:

1) самарали тозалаш усуллари асосида турли хил оқимсиз технологик схемалар ва сув айланиш цикллари ишлаб чиқиш ва жорий қилиш;

2) барча турдаги чикитларнинг ҳосил бўлишини йўқотувчи янги технологияларни ишлаб чиқиш ва уларни жорий этиш;

3) мажмуа ичида хом ашё ва чиқиндилар материал оқимининг ёпиқ тизими амалга ошган ҳудудий – саноат мажмуаларини, яъни иктисодий туманларни яратиш;

4) чиқиндилар ва энергетик ресурслардан иккиламчи материал ва энергия тарзида кенг фойдаланиш.

Амалдаги мавжуд вазиятнинг, келажак ҳисоблар ва олдиндан кўришлар (башорат қилишлар) саноатнинг барча соҳаларида чикитсиз ишлаб чиқаришларнинг амалга оширилиши фан ва техника ютуқларидан фаол равишда ва биринчи навбатда кимё технологияларидан фойдаланилгандагина мумкинлигини аниқ кўрсатади.

Кимё технологиясининг ўзига хос хусусиятлари шундан иборатки, у нафақат ўзидан чиқувчи чиқиндиларни, балки бошқа ишлаб чиқариш чиқиндиларини ҳам ресурсларга айлантиради. Шу муносабат билан кимё ва кимё технологияси табиатни асраш, хом ашёдан комплекс тарзда фойдаланиш ва чиқиндиларни ишлатиш, ишлаб чиқариш саноати чиқиндиларини зарарсизлантириш каби йирик муаммоларнинг ҳал этилишига ёрдам беради. Мисол тариқасида иссиқлик энергетикасидаги экологик муаммоларни ечишда кимё технология усулларининг соҳалараро ролини кўрсатиш мумкин. Юқорида олтингугурт диоксиди ва азот оксидларини иссиқлик электростанциялари ва ТЭЦлар орқали ташланишига мисоллар кел-

тирилган эди. Тутун газларини ушбу зарарли комонентлардан тозалаш учун турлича физик-кимёвий усуллар, шу жумладан, сорбентлардан фойдаланилувчи курук ва ишкор ҳамда аммиакнинг сувли эритмаларини қўллаш билан амалга оширилувчи ҳўл усуллардан фойдаланилади. Нитратлар ва аммоний сульфатлари бўлмиш минерал ўғитларнинг олиниши билан бирга бир вақтда амалга оширилувчи тозалаш усуллари ишлаб чиқилган.

Саноатда органик ёқилғи ёқиши (газ, мазут) катализаторларда амалга оширилувчи иссиқлик каталитик генераторлари (КГТ) кенг ўрин топдилар. Ушбу кимё технология амалидан иссиқлик энергетикасида фойдаланиш ёқилғи ёниш жараёнини жадаллаштиришга, ускуналарнинг металлталаблигини камайтиришга, ортиқча ҳавони стехиометрик қийматга яқинлаштиришга ва азот оксидларининг ёниш маҳсулотлари билан қўшилиб чиқилишининг юз баробар камайтилишига имкон беради.

Кимё технология усуллари металлургия саноатида, қурилиш материаллари ишлаб чиқарилишида ва халқ ҳўжалигининг бошқа материалталаб соҳаларида ишлаб чиқилувчи қўпчилик чиқитсиз технологиялар асосига қўйилгандир.

6.1.7. Чиқитсиз ишлаб чиқаришларнинг иқтисодий самарадорлиги

Кимё ишлаб чиқариш корхоналарининг лойиҳалаштирилишида чиқитсиз технологик схемасини бсрилгап маҳсулот олишнинг анъанавий схемаси билан таққослаш амалий аҳамиятга эгадир. Бундай таҳлилни амалга ошириш учун чиқитсиз технология яратиш соҳасида техник сиёсатни ишлаб чиқиш ва режалаштириш учун мўлжалланган эталон лойиҳалар тузилади. Эталон лойиҳа тушунчаси деганда «ресурслар–ишлаб чиқариш–истеъмол–ресурслар» циклидаги технологик босқичларнинг шундай мажмуи тушуниладики, бунда материал ва энергетик окимларнинг ёпиқ ҳарорати таъмин этилади.

Кўрсаткичлар сифатида иқтисодий аҳамиятга эга бўлган қуйидаги: чиқиндиларнинг умумий ёки солиштирма микдори;

чиқиндилар таркибига кирувчи бирикмаларнинг биосфера элсментлари билан ўзаро таъсири; чиқиндиларнинг тарқатилиши ҳамда ташилиши ва ҳоказо критерийлар (мезонлар) танлаб олинади.

Эталон лойиҳа алоҳида олинган корхоналар ва соҳалар учун эмас, балки минерал ўғитлар, кальцинирланган сода, пластмассалар, маномерлар ва ҳоказо энг муҳим маҳсулот кўринишлари учун яратилади. Одатдаги лойиҳалаштиришга таққосланганда унинг ўзига хослиги ҳам шундадир.

Эталон лойиҳа тузиб чиқилишида у ёки бу маҳсулот олишнинг энг такомиллашган технологик схемаларидан фойдаланилади. Янгитдан ҳосил бўлувчи каби тўпланиб қолган чиқиндиларни қайта ишлаш ҳам энг такомиллашган технологик жараёнлар ёрдамида амалга оширилиши лозим.

Циклнинг иқтисодий жиҳатдан баҳоланишида чиқиндилар нархини аниқлаш муҳим аҳамиятга эга, чунки уларнинг қайта ишланишидан ҳосил бўлувчи маҳсулотнинг нархи шунга боғлиқдир.

Чиқитсиз ишлаб чиқаришларнинг иқтисодий самарадорлигини баҳолашда мураккаб критерийдан (мезон) фойдаланилади, бундаги ҳар қайси ташкил этувчи элемент ишлаб чиқаришнинг бутун халқ хўжалигига кўрсатадиган таъсирининг маълум томонини тавсифлайди.

Чиқитсиз ишлаб чиқаришнинг абсолют иқтисодий самарадорлиги қуйидаги тенглама бўйича аниқланади.

$\Sigma_i \mathcal{E}_i = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5$ – чиқитсиз ишлаб чиқаришнинг барча самараларининг йиғиндиси ($\mathcal{E}_1$ – чиқитсиз ишлаб чиқаришнинг жорий этилишида ҳамда дастлабки хом ашёдан тўлиқроқ фойдаланишдан олинган охириги маҳсулот ишлаб чиқариш самараси; $\mathcal{E}_2$ – чиқитсиз хом ашё жорий этилишидан ҳосил қилинган охириги маҳсулотни истеъмол қилиш самараси; $\mathcal{E}_3$ – алоҳида ресурсларни қидириш, қазиб чиқариш ва ташишга бўлган харажатларнинг иқтисод қилиниши; $\mathcal{E}_4$ – регионнинг комплекс тарзда ривожланиш самараси; $\mathcal{E}_5$ – импортнинг қисқариши ёки хом ашё экспортининг ўсиши, унинг қайта ишланишидан ҳосил бўлувчи маҳсулот, охириги маҳсулотни ҳисобга олувчи ташқи савдо самараси; γ – ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндилар орқали атроф-муҳитнинг ифлосланишидан юзага келувчи зарарнинг миқдори; $\mathcal{Z}_1$ – чиқитсиз хом ашёга бўлган тўлиқ харажатлар.

**ЧИҚИТСИЗ ИШЛАБ ЧИҚАРИШГА САРФЛАНУВЧИ КАПИТАЛ
МАБЛАҒЛАРНИНГ САМАРАДОРЛИГИ**

Кўрсаткичлар	Вариантлар			
	1	2	3	4
Хом ашёдан фойдаланиш коэффиценти K_{ϕ}	0,80	0,85	0,90	0,95
Товар маҳсулот олишга бўлган сарфлар шарт бир/йил: Жорий (с) Капитал (к)	0,80 0,75	0,82 0,90	0,84 1,10	0,87 1,30
Тайёр маҳсулотнинг чиқиши Т, %	100	105	110	117
Заҳарли моддаларнинг атроф-муҳитга тарқалиши, В %	100	70	40	25
Атроф-муҳитнинг ишлаб чиқариш чиқиндилари орқали ифлосланишидан келувчи зиён Y^* , шарт бир/йил	0,15	0,09	0,06	0,03
Қўшимча тарзда олинган товар, маҳсулотнинг истеъмол қилиниш самараси Ξ^* истим	–	0,05	0,07	0,08
Хом ашё қазиб чиқаришга бўлган сарфларнинг камайиш самараси Ξ^* қазинишга	–	0,01	0,02	0,03
Қуйидагилар бўйича ҳисобланган капитал маблағлар самарадорлик коэффиценти:				
Ишлаб чиқаришни амалга ошириш бўйича $\Xi_{\text{кп}}$	0,27	0,21	0,16	0,10
Халқ хўжалиги самарадорлиги бўйича $\Xi_{\text{хх}}$	0,066	0,105	0,109	0,104

* товар маҳсулотнинг сўм/сўм ҳисобида

Чикитсиз ишлаб чиқаришнинг бир нечта вариантлари мавжуд бўлишида бир хил сарфлардаги абсолют иқтисодий самарадорликнинг максимал коэффиценти бўлган вариант танланиши лозим.

Кимё маҳсулотларидан бирининг чикитсиз ишлаб чиқарилишига бўлган капитал маблағлар самарадорлигини кўриб чиқамиз (6.2-жадвал).

Дастлабки хом ашё сарфи барча вариантларда бир хилда олинган.

Кўрсаткичларни таққослашдан кўринадики, хом ашё ва дастлабки маҳсулотлардан фойдаланиш коэффиценти биринчи вариантда 0,80 дан бошланиб, тўртинчи вариантда 0,95 гача бўлаяпти. Фойдаланиш коэффиценти сифатида бу ерда тайёр маҳсулот массасининг хом ашё ва дастлабки маҳсулотлар массасига бўлган нисбати қабул қилинган. Маҳсулот олишга бўлган жорий сарфлар сезиларсиз кўтарилади, бироқ капитал харажатлар 75 % га ортапти.

Кам чиқитли ишлаб чиқаришнинг жорий этилиши иккинчи вариантда тайёр маҳсулот чиқимини 5 % га кўпайтиради, тўртинчи вариантда эса 17 %. Захарли моддаларнинг ташланиши сезиларли равишда қисқаради, шунга мувофиқ атроф-муҳитга ташланмалардан юзага келувчи иқтисодий зарар камаяди. Дастлабки хом ашёдан тўлиқ фойдаланиш натижасида ишлаб чиқарилган кўшимча маҳсулот, унинг истеъмол қилинишидан ҳамда хом ашё қазиб чиқаришга бўлган сарфларнинг камайишидан самара ҳосил қилади.

Чиқитсиз ишлаб чиқаришга бўлган капитал маблағлар самарадорлиги қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланган

$$\mathcal{E} = (\mathcal{C} - \mathcal{C})/\mathcal{K}$$

Бунда $\mathcal{C}$ – маҳсулотнинг баҳоси; $\mathcal{C}$ – маҳсулотнинг таннари (жорий сарфлар); $\mathcal{K}$ – вариантларнинг бири бўйича капитал харажатлар.

Вариантларни таққослашдан кўринадики, дастлабки хом ашёдан қимматли компонентларни чиқариб олиш даражасининг кўпайиши, атроф-муҳитга ташланувчи чиқиндиларнинг камайиши, зарарнинг камайиши соҳа, корхона позициясидан кўриб чиқиладиган ишлаб чиқаришларнинг абсолют иқтисодий самарадорлиги пасаяди. Амалда мавжуд ҳисоблаш услубига мувофиқ, кўриб чиқиладиган вариантлардан соҳа учун энг маъқул келадигани – биринчи вариантдир, чунки унинг самарадорлик коэффиценти энг юқори $\mathcal{E}_{\text{кп}} = 0,27$. Халқ хўжалиги нуқтаи назаридан эса энг афзали учинчи вариантдир $\mathcal{E}_{\text{хх}} = 0,109$.

6.2. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ ЭКОЛОГИК МУАММОЛАРИ

6.2.1. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг биосферага зарарли таъсирот турлари

Кимёвий корхоналар биосферани ифлослантирувчи асосий манбалардан биридир. Хилма-хил кимёвий моддалар ишлаб чиқаришнинг муттасил кўпайиши, одатда, зарарли чиқиндилар микдорининг тегишли даражада ортиши билан боғлиқ ҳолда кечади. Натижада кимё ва нефт-кимё саноатининг чиқиндилари йилдан-йилга ортиб бормокда.

Кимёвий-технологик жараёнларда ҳосил бўладиган чиқиндилар атроф-муҳитни ифлослантирувчи энг жиддий манба ҳисобланади. Улар жумласига: ишлатиб бўлмайдиган қўшимча реакция ҳосилалари; чала ва ўта даражада ўзгариш ва полимерланиш маҳсулотлари, шунингдек, ишлатилган филтрлар; саноат оқава сувлари ва чиқётган газларни тозаловчи абсорбция қурилмаларидан ажралган сувлар; оксидланиш жараёнларининг ишлатилган ҳавоси; реакцияга киришмаган газлар (хлор, аммиак ва бошқалар) ва ҳоказо.

Атроф-муҳитни кимёвий технология жараёнларида қўлланиладиган ёрдамчи моддалар ва материаллар ҳам ифлослантиради, шу жумладан: ишлатилган катализаторлар; адсорбентлар, абсорбентлар ва эритгичлар; қуритувчи бирикмалар; катализаторни қайта тиклаш ва маҳсулотлар пневмотранспортидан кейинги вакуум ҳосил қилишда аппаратлардан сўриб олинадиган газлар; қайта ишлатишга ярамайдиган идишлар, сузгич материаллар ва бошқалар.

Бундан ташқари, кимёвий корхоналарда асбоб-ускуна ва коммуникацияларнинг зич ёпилмаслиги сабабли хом ашё, оралик ва тайёр маҳсулотларнинг механик тарзда исроф бўлиши ҳам атроф-муҳитни ифлослантирувчи манбалар ҳисобланади.

Кимёвий корхоналарнинг оқава сувлари ҳам зарарли таъсир кучига эга. Асосий кимёвий корхоналар катта миқдорда сув истеъмол қилади: 1 т. сульфат кислота ишлаб чиқаришга 70 м³ сув, 1 т. калцинациланган содага – 115 м³, 1 т аммиакка – 800 м³, 1 т. акрилонитрилга – 1960 м³, 1 т. ацетиленга – 2800 м³ сув сарфланади. Технологиянинг муттасил такомиллашиб бориши сувнинг солиш-

тирма сарфини анча камайтириш имконини беради. Эски нефтни кайта ишлаш заводларида 1 т. нефтга 7–8 м³ сув сарфланса, замонавий корхоналарда бу кўрсаткич атиги 0,12–0,24 м³/т. ни ташкил этмоқда.

Кимё корхоналарининг оқава сувларида кўп микдорда минерал ва органик аралашмалар бўлади. Ҳозирги вақтда саноатда оқава сувларни тозалашнинг хилма-хил самарали усулларида фойдаланилади. Бироқ шуни назардан қочирмаслик керакки, оқава сувларни тозалаш очиқ сув ҳавзаларининг ифлосланишига барҳам беролмайди, зеро ҳатто тозаланган сувларни ҳавзага ташлаётганда ҳам унга кўплаб янги сув кўшишга тўғри келади. Акс ҳолда, табиий сув ҳавзалари кислородга камбағаллашиб ва бошқаларнинг яшаши учун яроксиз бўлган сувга айланади ва ана шу ифлослантирувчи моддалар бевосита одам ва ҳайвонлар организмига ўтиши мумкин.

Кўпгина газсимон кимёвий бирикмалар атмосферада сув буғлари, кислород ва қуёш реакцияси таъсирида бошқа, янада заҳарли моддаларга айланади ва атмосферада унинг таркибий қисмлари билан муайян мутаносибликда бўлади. Ҳар қандай ифлослантирувчи модданинг таъсири бевосита унинг кимёвий ва физик хусусиятларига боғлиқ бўлади.

Атмосферада азот оксидлари фақат NO ва NO₂ тарзидагина мавжуд бўлиб қолмай, балки аэрозол агломератлари ҳосил қилиб, сув томчиларига абсорбцияланувчи азот кислота, нитратлар ва органик нитробирикмаларга айланади. Атмосферада бошқа газсимон бирикмалар, шу жумладан, SO₂ нинг мавжудлиги атроф-муҳит таркибий қисмларининг янада мураккаб ўзаро таъсир механизмига олиб келади. Маълумки, ҳаво муҳитида углеводородлар ҳам бўлиб, улар HNO₃, HCl, O₂, H₂CO₃, CO₂ билан ўзаро боғланиши натижасида бир қатор зарарли ва заҳарли бирикмалар ҳосил қилади, яъни синергизм ҳодисаси – дастлабки у ёки бу ифлослантирувчи модданинг заҳарлилик таъсири кучаяди. Шунинг учун саноат чиқиндиларининг одам организмига ва жонли табиатга таъсири кўриляётганда атроф-муҳитда чиқиндилар айрим қисмларининг заҳарли, зарарли кимёвий бирикмаларга айланишининг барча мураккаб мажмуасини назардан қочирмаслик керак.

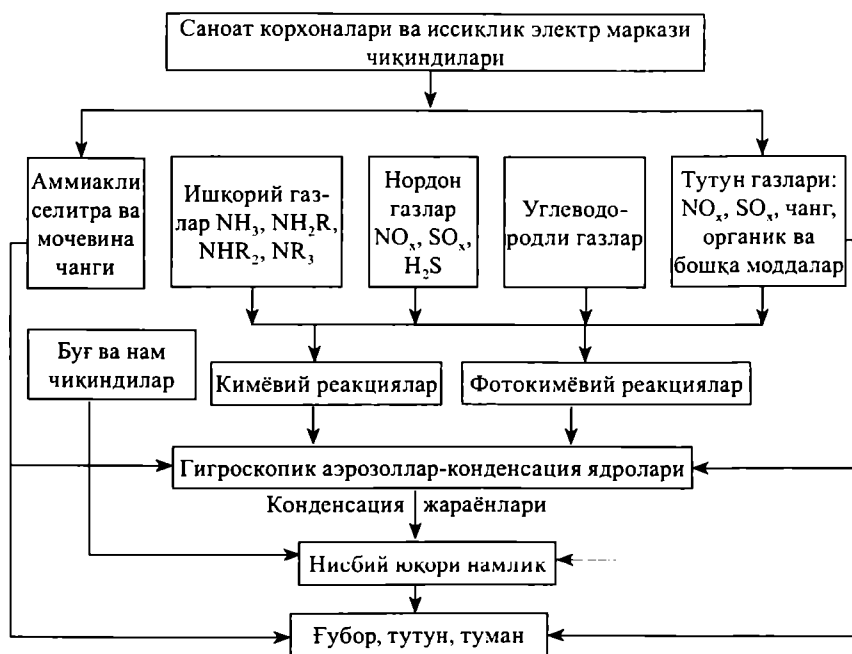
Мазкур саҳифадаги жадвалда нефт-кимё мажмуаси туманларидаги атмосфера ҳавосининг мураккаб ифлосланиш жараёнлари, шу

жумладан, чиқиндилар таркибий қисмларининг физик, кимёвий ва фотокимёвий ўзгаришлари акс эттирилган.

У ёки бу кимёвий чиқиндининг заҳарлилик даражасини аниқлаш учун баҳолашнинг умумий мезонларидан фойдаланилади:

– одамга кўра заҳарлилик, яъни бевосита одамлар саломатлигига қанчалик таъсир кўрсатиши;

– ҳайвонларга кўра заҳарлилик (уй ва ёввойи ҳайвонлар); парчаланиш маҳсулотларининг хусусиятлари (заҳарлилик, барқарорлик, биологик тўпланувчанлик); синергетик эффект.



6.4-расм. Нефт-кимё мажмуаси ҳудудида туманларнинг ҳосил бўлиш схемаси.

Кимёвий чиқиндилар ўзининг атроф-муҳитга таъсирига кўра: **ўта заҳарли, заҳарли ва заҳарсиз (безарар) чиқиндиларга бўлинади.**

Ўта заҳарли чиқиндилар туркумига таркибида симоб, кўрғошин, кадмий, фосфорорганик моддалар, хлорланган эритгичлар, қалай, мишьяк, таллий, бериллий, хром, сурьма, цианид-

лар, фторхлоруглерод, дифениллар полихлоридлари, полициклик ва хушбўй углеводородлар, пестицидлар, шунингдек, радиоактив моддалар бўлган чиқиндилар киради.

Заҳарли моддалар жумласига атмосферага жоиз миқдордан анча кўп чиқариладиган олтингугурт (SO_x), азот (NO_x) ва углеводород оксиди (CO) бирикмалари киради.

Заҳарсиз тоифага мансуб чиқиндилар (фосфогипс, галлитли чиқиндилар, фосфор ишлаб чиқариш тошқоллари, кальцийланган сода ишлаб чиқариш чиқиндилари ва ҳоказолар) киради ва улар ўзининг жойлаштирилиши учун улкан ер майдонларини талаб этади.

Мазкур чиқиндиларнинг табиатга салбий таъсири шундаки, улардан NaCl , фторли ва бошқа зарарли бирикмалар ажралиб чиқиб, юза ва сизот сувларга кириб боради.

Чиқиндилар таркибидаги кимёвий бирикмаларнинг одамга ва жонли табиатга таъсири ҳам бевосита, ҳам билвосита содир бўлади. Бевосита йўли – зарарли бирикмаларнинг инсон организмга ҳаво ҳамда ичимлик суви орқали киришидир. Билвосита йўли – биологик йўлдир. Бунда ифлослантирувчи моддалар дастлаб ҳайвонлар озикланадиган ўсимликларга сингиди, сўнгра овқат билан бирга киши организмга тушади. Бунда дастлабки бирикмалар организм учун у ёки бу даражада хавфли бўлган янги моддаларнинг ҳосил бўлишига олиб келадиган кимёвий-биологик ўзгаришларга учрайди.

Озик-овқат занжирларида (ёки овқатланиш занжирида – овқат-истеъмолчи нисбати жиҳатидан бир-бири билан боғлиқ бўлган организмлар силсиласида) тўпланиш хусусиятига эга бўлган бирикмалар айниқса хавфлидир.

Бирикмалар озик-овқат занжирининг исталган ерида – планктондан то киши организмгача бўлган ерларда (масалан, симоб, ДДТ йиғилиши), шунингдек, занжир орқали узатилиши мумкин.

Биосферага таъсир хусусиятига кўра кимёвий корхоналарнинг **чиқиндиларини ташкилий ва нотаъкилий гуруҳларга** бўлиш мумкин.

Ташкилий гуруҳга махсус иншоотлар ёрдамида атмосфера, сув ҳавзалари ва тупроққа чиқариб ташланадиган чиқиндилар киради. Уларга сув тозалаш тизимлари, дудбуронлар, завод машъаллари, куйқум ва бошқа чиқиндилар, ёкиш печлари, вентиляция тизимла-

рининг киска қувурлари, қуйқум майдончалари, лойкатўплагичлар ва ҳоказолар кирази. Бирлаштириш ва устки муҳитга буриб юбориш имкони бўлмаган чиқиндилар ноташкилий гуруҳга мансубдир. Аппаратлардан, трубопроводлардан ва арматуралардан сизадиган, канализация ва оқава сувларни тозалаш тизимларидаги оқава суюқликлар сатҳидан буғланиш, резервуар ва омборлардан маҳсулотларнинг буғланиши, таъмирлаш ишлари олиб боришдан олдин аппаратларни пуфлаб тозалаш ва буғлатиш вақтида маҳсулотларнинг оқиб кетиши ва атмосферадаги отилиб чиқиши шулар жумласидандир.

Ташкилий отқиндилар азотли, захарли таркибий қисмлар концентрациясининг юқорилиги билан ифлосланади. Замонавий кимёвий ва нефт-кимё корхоналарида отқиндилар ташкилий манбаларининг умумий сони 2000–4000 тани ташкил этади, улардан ҳар бирига махсус паспорт тузилади ва мазкур жой учун РЭТ (рухсат этилган ташлама) назорати олиб борилади.

Ноташкилий отқиндиларни завод ҳудуди ва санитария-химоя зонасининг турли қисмларида вақт-вақти билан ёки муттасил аникланадиган чегаравий жоиз концентрация бўйичагина назорат қилиш мумкин.

Нефт-кимё корхоналаридаги мавжуд ҳар турли зарарли отқиндилар тавсифи 6.3-жадвалда келтирилган.

Отқиндилар, шунингдек, ҳажми, ҳарорати, таркиби, улардаги айрим инградиентларнинг нисбати, агрегат ҳолати, хавфлилик даражаси, концентрацияси, атроф-муҳитдаги барқарорлиги бўйича ҳам фарқланади. Зарарли инградиентларнинг атмосферада тарқалиш барқарорлиги ва хусусияти, шунингдек, уларни тутиш ва тозалаш усуллари агрегат ҳолатига боғлиқ.

6.3-жадвал

НЕФТ-КИМЁ КОМБИНАТЛАРИ ОТҚИНДИЛАРИДАГИ ЗАРАРЛИ МОДДАЛАР

Отқиндилар	Угле- водо- родлар	H ₂ S	CO	SO ₂	NO _x	Фенол- лар	NH ₃	Чанг
Ташкилий: тутун газлари	—	10	18–92	80–89	46–64	10	—	50

Откиндилар	Угле- водо- родлар	H ₂ S	CO	SO ₂	NO _x	Фенол- лар	NH ₃	Чанг
технологик (куйрук) газлар	0,6	51–66	7–50	11–19	36–54	15–73	24–78	89–100
вентиляция газлари	0,2	1–3	1 гача	0,01	0,1–	10–75	22–79	–
абсорбциядан сўнг	54	15–32	31	0,6	0,2	4	4	–
ноташкилий	45	23	–	–	–	–	–	–

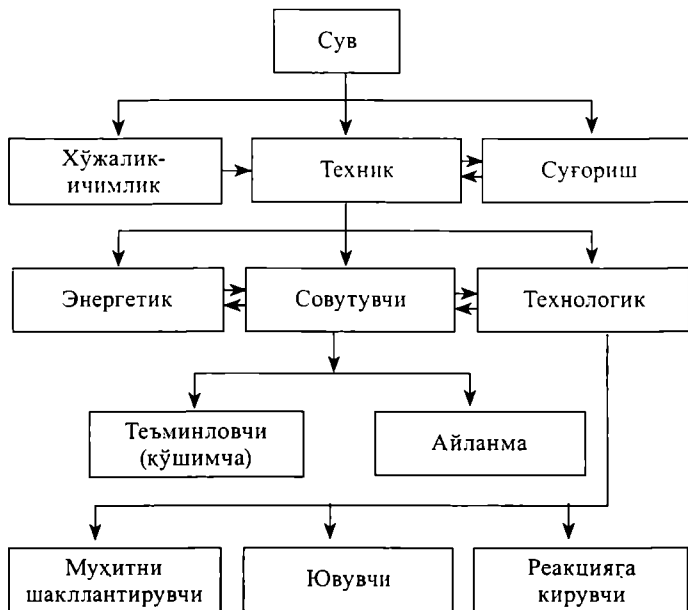
6.2.2.Сув ресурслари ва кимёвий технология

Бу ўринда биз сув ресурсларига эътибор беришни лозим кўрдик, зеро сув ерда ҳаётнинг муҳим омилларидан биридир ва унга эътибор билан қараш лозим.

Сув ресурслари. Саноатнинг ривожланиши, қишлоқ хўжалигини саноат асосига ўтказиш, шаҳарларнинг ўсиши сув истеъмолининг муттасил ортишига олиб келади. Инсоният ҳар куни 7 миллиард тоннага қадар сув сарфлайдики, бу вазн жиҳатидан бир йилда қазиб олинадиган фойдали қазилмаларнинг умумий миқдорига тенг келади. Сувнинг асосий истеъмолчилари кимё, нефт-кимё, целлюлоза-қоғоз саноат тармоқлари, қора ва рангли металлургия, энергетика саноатлари, мелиорациясидир. 1985 йили собиқ иттифок ҳудудида турли мақсадлар учун 282 куб. км сув сарфланган, шунинг 80 куб. км саноат ўсишига тўғри келган. Сувдан мақсадли фойдаланиш таснифи ушбу саҳифада келтирилган (6.5-расм қаранг).

Техник сувнинг куйидаги турлари мавжуд. **Совитувчи сув** иссиқлик алмашинув қурилмаларидаги суюқ ва газсимон маҳсулотларни совутиш учун хизмат қилади. Сув моддий оқимлар билан туташмайди.

Технологик сув, ўз навбатида, муҳитни шакллантирувчи, юувчи ва реакцияга киришувчи сувларга бўлинади. Муҳитни шакллантирувчи сув маҳсулотларни ва ишлаб чиқариш чиқиндиларини бойитиш ва сув ёрдамида ташишда, эритиш ва пульпаларни (суспензияларни) ҳосил қилишда фойдаланилади; юувчи сув газсимон



6.5-расм. Сувдан мақсадли фойдаланиш таснифи.

(абсорбция), суюқ (экстракция) ва каттиқ маҳсулотларни ювишда фойдаланилади; реакцияга киришувчи сув реагент сифатида, шунингдек, азеотроп ҳайдашда ишлатилади. Технологик сув бевосита жараён маҳсулотлари билан контактда бўлади.

Энергетик сув буғ олишда (буғ генераторларни тўйинтириш учун) ҳамда иссиқликни манбадан истеъмолчига узатишда (қайноқ сув) ишчи жисм сифатида ишлатилади.

Собиқ иттифок кимё саноати корхоналарида умумий сув истеъмоли йилига 9 куб. км ни ташкил этган. Мазкур тармоқ ишлатадиган сувнинг қарийб 74 фоизи технологик курилмаларни совутиш учун фойдаланилади. Сувнинг қолган қисми, асосан, кимёвий реагент, экстрагент, абсорбент, эритувчи, реакция муҳити, ташувчи омил, қайта фойдаланиш қозонларида ичимлик суви вазифаларини бажариб, маҳсулот олишнинг технологик жараёнларида ишлатилади.

Нефтни қайта ишлаш ва нефт-кимё саноати корхоналарида сувнинг асосий қисми (90–95% га қадар) иссиқлик алмашинув

курнлмаларида, қайта фойдаланиш қозонларида қайта ишланаётган маҳсулотларни совутиш ва конденсациялашда фойдаланилади. Сувнинг 5-10% мазкур корхоналарда эритувчи сифатида ёки маҳсулотни ювиш учун ишлатади.

Сув ресурслари манбаи. Гидросфера – дунё океани, атмосфера, дарёлар, кўллар, сизот сувларни ўз ичига олади. Гидросфера ҳажми 1389 миллион куб километрни ташкил этади. У тахминан ер қурраси юзасининг 3/4 қисмини ташкил этади – 449,59 млн кв. м (қуруқлик 165,34 млн кв. км).

Умумий сув миқдорининг 1350 млн куб. км (97,2% дан зиёди) – океан сувидир. Бошқа сув манбалари баланси қуйида келтирилган:

Қутб музликлари ва музлари	29 · 10 ⁶
Сизот сувлари	9,7 · 10 ⁶
Кўллардаги сув	120 · 10 ³
Дарёлардаги сув	12 · 10 ³
Тупроқдаги намлик	24 · 10 ³
Атмосферадаги намлик	13 · 10 ³
Жами	39 · 10 ⁶ км ³

Саноат корхоналарини сув билан таъминловчи дастлабки манбалар юза ва сизот сувлардир. Юза сувларга дарёлар, кўллар, сунъий сув омборлари ва каналлар киради. Саноат истеъмоли учун, биринчи навбатда, дарё сувларидан фойдаланилади, Россияда дарёлар оқими ҳажми қарийб 4000 куб км³ ни ташкил этади.

Сувнинг сифати ва унга бўлган талаблар. Табиатдаги сув унча ҳам тоза эмас ва тегишлича қайта ишланмай саноатни сув билан таъминлашда фойдаланиб бўлмайди. 1 литр чучук сувда, одатда, 1 граммга яқин тузлар бўлади. Денгиз сувларида бу кўрсаткич юқорироқ: Болтиқ денгизи сувида – 5 г/л, Қора денгиз – 18 г/л, океанда – 35 г/л. Чучук ва денгиз сувлари фақат тузларнинг умумий миқдорида кўра эмас, балки таркиби – уларда хлоридлар, сульфатлар ва карбонатларнинг нисбати бўйича ҳам фарқланади (%):

	Хлоридлар	Сульфатлар	Карбонатлар
Дарё суви	7	13	20
Океан суви	89	10	1

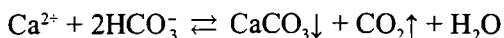
Дарё сувлари кам минераллашган (200 мг/л гача тузлар), ўртача минераллашган (200–500 мг/л), юқори даражали минераллашган (1000 мг/л дан зиёд). Россиядаги аксарият дарёлар суви дастлабки икки гуруҳга мансуб. Сув таркибида тузлар билан бир қаторда муайян миқдорда мураккаб табиий органик бирикмалар—гумус моддалари ҳам бўлади. Бундай аралашмалар дарё сувларида 5–10 мг/л, қўл сувларида 150 мг/л гачани ташкил этади.

Сувларда кўпгина миқдорда қаттиқ аралашмалар, коллоид моддалар ва биологик тарздаги аралашмалар (микроорганизмлар, сув ўтлар ва бошқалар) мавжуд.

Сувдаги эриган кислород миқдори унинг ҳарорати ва сув муҳитида кечадиган реакциялар фотосинтез (кислород миқдори орта боради) ва органик ҳамда кимёвий ва микробиологик бирикмаларнинг оксидланиши (кислород миқдори камая боради) бўйича аниқланади. 1 грамм куруқ органик моддага ўртача 1,5 грамм кислород сарфланади.

Сув таркибига боғлиқ равишда рН ўзгаради. Дарё ва қўллар учун бу кўрсаткич 5,0–8,5 доирасида ўзгариб туради.

Табиий сувларда эриган, шунингдек, муаллақ ҳолатдаги ҳар турли аралашмаларнинг мавжудлиги иссиқлик алмашинув курилмалари ва буғ генераторлари сиртида чўқиндилар, қуйқалар ҳамда қуйқумлар ҳосил бўлишига олиб келадики, бу ҳолат коррозияга ва иссиқлик алмашинувининг ёмонлашувига сабаб бўлади. Сув таъминотининг айланма тизимлари иш шароитида сувнинг кўп маротаба 40–45°C ҳароратга қадар иситиб-совитилиши оқибатида углерод диоксиди йўқолиб, иссиқлик узаткичлар ва узатувчи қувурлар сиртида қуйидаги реакцияга мувофиқ кальций карбонат чўқади.



Бунга йўл қўймаслик учун турли ишлаб чиқариш циклларидаги сув йўқолишлари ўрни сифат жиҳатидан муайян техник талабларни қондирадиган махсус тайёрланган тўйинтирувчи сув билан қопланади. Қуйидаги жадвалда иссиқлик алмашинуви курилмаларида маҳсулотларни совутишда фойдаланиладиган сув сифатининг асосий кўрсаткичлари келтирилган.

СОВУТИШ ТИЗИМЛАРИДА СУВ СИФАТИ КЎРСАТКИЧЛАРИ

Сифат кўрсаткичлари	Тавсия этилаётган микдорлар			
	Россияда			АҚШда
	Сув геоилмий-текшириш институти	Азот саноати	Хлор саноати	
Харорат, °С	25–40	28–30	25–30	–
Қаттиқлик, мг-экв/л:				
Умумий	≤7	1,5–2,5	5,5	–
Карбонатли	≤2,5	1,5–2,5	≤3	2,5–5,0
Ишқорли, мг-экв/л	3–4	–	2,4	2,5
Тузларнинг умумий микдори, мг/л	1300–2000	1200	800–1200	500
Перманганатли оксидланиш, мг-О ₂ /л	≤20	515	8–10	–
Кислород кимёвий истеъмоли, мг-О ₂ /л	≤200	–	70	75
Таркибидаги моддалар, мг/л: Муаллақ моддалар	≤50	20–30	10–20	5
Ёғлар ва ёғ ҳосил қилувчи моддалар	≤20	0,3	0	–
Сирт-фаол моддалар	меъёрсиз	0	0	–
Cl анионлари (хлоридлар)	150–300	350 га	150–300	500
SO ₄ ²⁻ анионлари (сульфатлар)	350–500	≤500	350–500	200
PO ₄ ³⁻ анионлари (фосфатлар)	–	≤6	1,5–9,0	–
Оғир металллар ионлари ҳисобидаги азот бирикмалари	6	≤2,4	0,12–2,64	–
Эриган кислород	–	–	6–8	–
Қолдиқ фаол хлор	1,0 га қадар	–	1,0 га қадар	
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5

Энерго ва технологик характерли буг қозонлари, буг генераторларининг тўйинтирувчи сувга бўлган талаблари қасмоқ ҳосил бўлиши ҳамда қизиш юзаси коррозиясини бартараф этиш заруриятидан келиб чиқади. Тўйинтирувчи сув сифатининг асосий кўрсаткичлари сирасига: pH қиймати, умумий қаттиқлик, кремний кислота, эриган кислород, эркин карбонат кислота, темир, мис ва бошқа бирикмалар микдори қиради. Тўйинтирувчи сув сифатида ишлаб чиқарилаётган сув буги параметрларига боғлиқ (6.5-жадвалга қаранг).

ТЎЙИНТИРУВЧИ ҚОЗОН СУВИ СИФАТИГА БЎЛГАН ТАЛАБЛАР

Сифат кўрсаткичлари	Козон турлари		
	Оташ қувури (0,5-1,5 МПа)	Юқори босимли (5-10 МПа)	Тўғри оқимли (10-15 МПа) ва тўғри оқимли ўта критик босимли (21,5-30 МПа)
Умумий қаттиқлик, мг-экв/л	0,35	0,035	0,003
Аралашмалар микдори, мг/л:			
Кремний диоксиди	Меъёрсиз	0,7	0,02
Мис	0,5	0,05	0,005
Марганец	–	–	–
Темир	1	0,05	0,01
Кислород	1	0,3	0,01
Нитратлар ва нитритлар		–	0,02
РН	8,9	8–10	7–8,5

Реагент, экстрагент, абсорбент ва ҳоказолар сифатида фойдаланиладиган сувга бўлган талаблар олиб борилаётган жараёнларнинг хусусиятларига боғлиқ бўлиб, муайян кимёвий ишлаб чиқаришларнинг технологик регламентларида кўрсатиб ўтилади.

Табиий сув ишлаб чиқаришда фойдаланишдан олдин аралашмаларнинг хусусиятларига ва сувга бўлган талабларга боғлиқ ҳолда турли усулларда тозаланади.

Саноат учун сув тайёрлаш. Саноат учун сув тайёрлаш сувни механик аралашмалардан, эриган тузлар ва газлардан тозалашни таъминловчи физик ва кимёвий тадбирлар мажмуасидан иборат. Унинг асосий жараёнлари: тиндириш ва филтрлаш, сувни юмшатиш ва тузсизлантириш, газсизлантириш, зарарсизлантириш ҳисобланади.

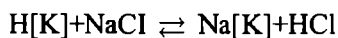
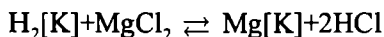
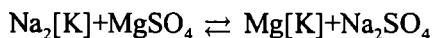
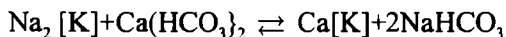
Йирик зарраларни тиндириш катта ҳажмдаги узлуксиз ишловчи тиндиргичларда амалга оширилади. Майда зарралардан эса фильтрация ёрдамида халос этилади. Коллоид зарраларни (майда

балчик зарралари ва оксил моддалар) чўктириш учун улар сувга коагулянтлар-сульфатлар ёки алюминийнинг иккиламчи тузларини (алюминийли аччиктош) кўшиш йўли билан коагуляцияланади. Коагуляцияловчи ион зарядланган зарра сиртида адсорбцияланиш учун коллоид зарра заррасига қарама-қарши бўлган зарядга эга бўлиши керак; бу эса алоҳида зарраларнинг коагуляцияланишига (ёпишишига) ва чўкинди ҳосил бўлишига олиб келади.

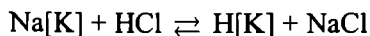
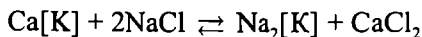
Сувнинг юмшатилиши ва тузсизлантирилиши сувни саноатда магний тузлари ва бошқа материалларнинг сув таркибидан чиқарилишидан иборатдир. Сувни юмшатиш ва тузлантиришнинг физик (термик, дистилляция, музлатиш) ва физик-кимёвий (қайтарилма осмос ва ультрафилтрация, ион алмашинув) усуллари мавжуд.

Катионитларда (КУ-23, КУ-78) ва анионитларда (АВ-17-8, АВ-79П; АН-221) ион алмашинуви усули сув тайёрлашда жуда кенг қўлланади. Сувни юмшатишнинг катион жараёни асосини натрий ионлари ва катионитлар водородларининг Ca^{2+} ва Mg^{2+} га алмашиш реакцияси ташкил этади.

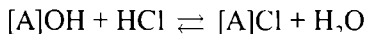
Натрий ионлари алмашинуви Na-катионлаш, водород ионлари алмашинуви эса Н-катионлаш деб аталади:



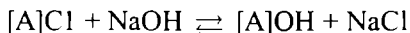
Ион алмашиш усулида сувни буткул тузсизлантиришга эришилади. Ион алмашинуви реакциялари қайтарилувчан бўлиб, ионитларнинг алмашинув қобилятини тиклаш ош тузи (Na-катионитлар) ёки минерал кислоталар (Н-катионитлар) нинг эритмалари ёрдамида амалга оширилади:



Қуйидаги тенглама бўйича ОН- анионлар алмашинуви реакцияси анион алмашинувга мисол бўла олади:

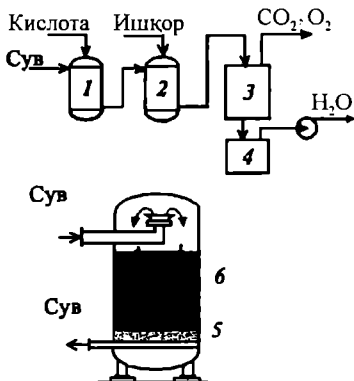
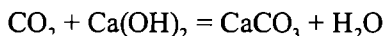


Анионитларни тиклаш ишкорлар эритмалари воситасида амалга оширилади:



Ион алмашинув (катионлаш ва анионлаш) усули воситасида сувни тузсизлантиришнинг энг муҳим схемаси эътиборингизга ҳавола этилган. Йирик кварц куми ёки майдаланган керамзит катламида катионит қатлами жойлашган Н-катионит фильтрида сувдан дастлаб кальций, магний ва натрий ионлари йўқотилади. Кейин сув изчил тарзда анионларни йўқотиш учун анионит фильтрларга ҳамда эриган углеводород диоксиди ва кислород сувлари кетказиладиган дегазаторга келиб тушади.

Газсизлантириш кимёвий ва физик усулларда амалга оширилади. CO_2 ни кетказиш учун сўндирилган оҳак тўлатилган фильтр орқали ўтказилади ёки сувга оҳак сути қўшилади:



6.6-расм. Ион алмашинувни қўлаб-сувни тузсизлантирувчи қурилма схемаси (катионит фильтри алоҳида кўрсатилган):

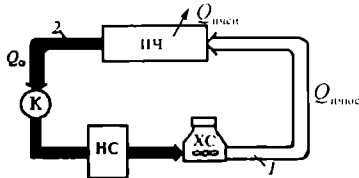
1 – катионит фильтри; 2 – анионит фильтри; 3 – дегазатор; 4 – сув йингич; 5 – кум; 6 – катионит.

Кислород эса сувнинг темир қуқунлари ёки қириндилари қатлами воситасида фильтрлаб йўқотилади.

Газсизлантиришнинг физик усуллари сувни вакуумда ёки қайноқ буғда қиздиришдан иборат. Зарур ҳолларда касал тарқатувчи микробларни йўқотиш мақсадида зарарсизлантирилади, хлорлаб (газсимон хлор, хлорли оҳак ёки кальций гидрохлорати) органик аралашмалар оксидланади.

Кимёвий ишлаб чиқаришларнинг қайтарма сувли цикллари. Ишлаб чиқариш сув таъминоти тизимлари бирламчи сув манбаларидан юбориладиган сув бир марта фойдаланилганидан сўнг корхонадан

6.7-расм. Қайтарилма сув таъминотининг берк тизими: 1 тоза сув; 2 бирламчи ишлатилгандан кейинги сув; НС – насос станцияси. ИЧ ишлаб чиқариш; К қўшимча сув қабул қилиш ёки сув ташлаш камераси; ХС ҳаво совуткич; Q_0 – ишланган (оқава) сув микдори; $Q_{ичкис}$ – ишлаб чиқаришга юбориладиган сув микдори; $Q_{ичей}$ – ишлаб чиқаришда йўқотилган сув микдори.



ташқарига чиқариб юбориладиган тўғри оқимли тизимларга ҳамда ишлатилган сув совитилиб, тозаланиб, мазкур ишлаб чиқаришнинг ўзида янгиттан ишлатиш учун қайтариладиган, яъни циклда (айланмада) бериладиган қайтарилма тизимларга бўлинади.

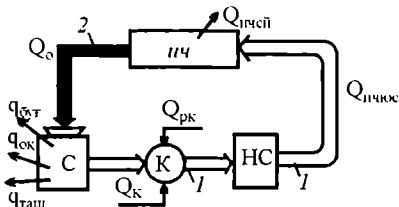
Тўғри оқимли сув таъминотининг жиддий камчилиги ишлатилган сувларнинг сув ҳавзаларига ташланиш заруриятидир. Бу тизимлар фақат эски корхоналардагина қўлланади.

Қайтарилма сув таъминотида сув бирламчи манбадан циклда қайтмас даражада йўқотилган (бугланиш натижасида, тозалаш вақтида) сувнинг ўрнини коплаш учунгина юборилади. Мазкур тизим сувни тозалаш ва қайта ишлаш, унинг сифатини яхшилаш масалаларини мақсадга мувофиқ равишда ҳал этиш имконини беради ва шу тарзда қурилманинг самарали ишлаши учун мақбул шароитлар билан таъминлайди.

Ишлаб чиқариш корхонасида айланма сув таъминоти схемаси сув ҳавзасидан сув қабул қилишни (сув олиш), уни керакли босимда зарурий микдорда (насосли ва водопровод) истеъмолчиларга узатиш, тозалаш, қайта ишлаш ва совутишни (тозалаш қурилмалари) таъминловчи иншоотлар мажмуасини ўз ичига олади. Айланма сув таъминоти тизимлари берк, ярим берк ва аралаш тизимларга бўлинади.

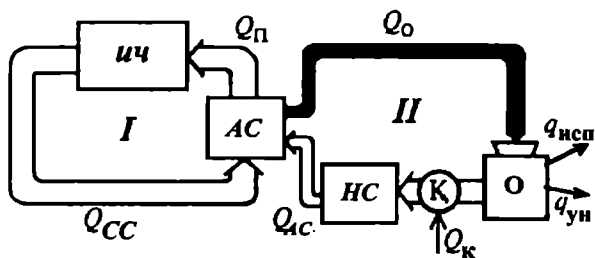
Берк тизимда (6.7-расм) технологик оқимлар берк иссиқлик алмашинув қурилмаларида совутилади. Айланма сув берк қобирғали радиаторларда (радиаторли сув совутиш минорасида) совутилади.

Ярим берк тизимда (6.8-расм) технологик оқимлар, шунингдек, берк иссиқлик алмаштиргичларда ҳам совутилади, лекин айланма сув сув совутиш минорасида совутилади.



6.8-расм. Ишлаб чиқаришни сув билан таъминлашнинг ярим берк тизими:

1 – тоза сув, 2 – бирламчи ишлатилгандан кейинги сув, С – сув совутгич, К – қўшимча сув олиш ёки сув ташлаш камераси, ИЧ – ишлаб чиқариш, НС – насос станцияси, $Q_{ичч}$ – ишлаб чиқаришга бериладиган сув микдори, $Q_{исч}$ – ишлаб чиқаришда сув йўқотишлар, Q_0 – ишланган (окава) сув микдори, $q_{ок}$ – совуткичдан олиб кетиладиган сув микдори, $q_{бв}$ – совутгичда (сув совутиш минораси, сув сачратувчи хавза) буғланишга сарфланадиган сув, $q_{гаш}$ – янгилаш (пуфлаш) учун тизимдан чиқариб юбориладиган сув микдори, Q_k – тизимга қўшимча киритиладиган сув микдори, O_p – сувни қайта ишлаш учун реагент киритиш.



6.9-расм. Ишлаб чиқаришни сув билан таъминлашнинг аралаш тизими:

I – 4–15°C ҳароратли совутилган сув контури; II – айланма сув таъминоти контури, АС – аммиакли совутгичлар цехи, О-II – контур айланма суви совутгичи, ИЧ – ишлаб чиқариш, НС – насос станцияси, К – қўшимча сув олиш ёки сув ташлаш камераси, O_0 – ишланган (окава) сув микдори, $O_{ая}$ – айланма ишлаб чиқариш суви микдори, $O_{ас}$ – аммиакли совуткич цехига юбориладиган айланма сув микдори, $O_{п}$ – ишлаб чиқаришга юбориладиган сув микдори, Q_k – тизимга қўшимча киритиладиган сув микдори, $q_{бв}$ – совутгичда буғланиш буйича сувни йўқотиш (сув совутиш минораси, сув сачратувчи хавза), $q_{ок}$ – совутгичдан олиб кетиладиган сув микдори.

Айрим ишлаб чиқаришда технологик жараён шартларига кўра тузсизлантирилган ёки юмшатирилган сув талаб этилади. Бу ҳолда **аралаш тизим** (6.9-расм) қўлланиб, унда тузсизлантирилган ёки юмшатирилган сув берк иссиқлик алмашигичларда айланма сув ёрдамида совутилади, айланма сув эса сув совутиш минорасида совутилади (6.9-расм).

Сув совутиш минорасида айланма сув ҳароратининг пасайиши шамолпаррак ёрдамида ҳаракатлантириладиган ҳаво билан туташув туфайли юз беради. Сув совутгич минорасида сувни совутишнинг назарий эҳтимолий чегараси ҳўл термометр ҳарорати (t_x) бўлиб, атрофдаги ҳаво ҳароратига ва унинг нисбий намлигига боғлиқ бўлади.

$t_x(t_{x\text{ўл}})$ микдорини аниқлашнинг диаграммалари мавжуд. Масалан, атрофдаги ҳаво ҳарорати 30°C , нисбий намлиги эса 60% бўлганида сув совутишнинг чегаравий ҳарорати $t^\circ\text{C}=24^\circ\text{C}$. Замонавий шамол парракли сув совутиш минораларида иситилган t_u ва совутилган сув ҳароратларининг фарқи $\Delta t = t_u - t_{\text{совут}} = 6 \div 7^\circ\text{C}$

Айланма сув таъминоти тизимида сув сув совутиш минорасида буғланишга (V_1 микдорида), совутувчи ҳаво билан томчилаб олиб кетишига (V_2) ва пуфлаш чоғида ташлаб юборишга (V_3) сарфланади. Ана шу сарфлар қуйидаги микдорда қўшимча тўйинтирувчи сув ҳисобига қопланади.

$$V_{\text{кс}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Буғланиш туфайли йўқотиладиган сув микдорини қуйидаги формула бўйича тақрибан аниқлаш мумкин:

$$V_1 = K_1 \Delta t V_o$$

бунда K_1 – ҳаво ҳароратига боғлиқ коэффицент, Δt – иситилган ва совутилган сув ҳароратларидаги фарқ, даража, V_o – айланма сув сарфи, $\text{м}^3/\text{сек}$.

K_1 коэффиценти сув совутиш миноралари учун қуйидаги қийматларга эга:

Ҳаво ҳарорати, $^\circ\text{C}$...	0	1,0	20	30	40
K_1 коэффиценти ...	0,0010	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016
Сачраш туфайли йўқотиладиган сув $V_2 = K_2 V_a$					

бунда K_2 – сув тутгичли шамол парракли сув совутиш миноралари учун тенг бўлган коэффиценти 0,002–0,005.

V_3 тизимида пуфлашга сарфланадиган сув микдори айланма сув таъминоти тизимининг иш унумига, қўшимча сувнинг карбонат қаттиқлигига, сувни қайта ишлаш усулига боғлиқ бўлиб, айланма сув сарфининг 1–3 фоизини ташкил этади.

Айланма сув таъминоти тизимининг самарадорлиги икки кўрсаткич бўйича аниқланади:

Айланма сувдан фойдаланиш коэффициенти бўйича

$$K_a = V_a / (V_a + V_{кв})$$

кўшимча (янги сувдан фойдаланиш коэффициенти бўйича)

$$K_{кв} = (V_{кв} - V_{ис}) / V_{кв}$$

бунда V_a – айланма сув миқдори, м³/соат, $V_{кв}$ – кўшимча сув миқдори, м³/соат, $V_{ис}$ – сув хавзасига ағдариладиган оқава сув миқдори (пуфлаш), м³/соат, $V_a + V_{кв}$ – сарфланадиган сувнинг умумий миқдори, м³/соат.

Кимё саноати корхоналарида, умуман, айланма сувдан фойдаланиш коэффициенти $K_{ан} = 0,83$ миқдорига етади, илғор нефтни қайта ишлаш ва нефт-кимё корхоналарида $K_{ан} = 0,9 \div 0,95$ дан иборат бўлади.

Мавжуд технология даражасидан келиб чиққан ҳолда айланма сувдан фойдаланишнинг энг юқори коэффициентини аниқлаш мумкин. Фойдаланилган сувнинг қарийб 25% эриткич ва экстрагент сифатида фойдаланиладиган кимё саноатида бундай коэффициент 0,90–0,92 га тенг келади.

Кимё саноатида ҳатто сувдан такрорий фойдаланганда ҳам янги сув сарфи миқдоран катта бўлиб, ўртача 1 т маҳсулот ҳисобига 50–130 м³ ни ташкил этади. Шунинг учун кимёвий технологиянинг энг асосий вазифалардан бири – сувдан айланма ва такрорий фойдаланиш, сувни тежовчи (оқмас) технологияга ўтиш тизимларини жорий этиш йўли билан ишлаб чиқариш корхоналарининг сув истеъмолини янада камайтиришдир.

Оқимсиз кимёвий ишлаб чиқариш корхоналари. Оқава сувлари сув хавзаларига ташланмайдиган, янги сувдан фойдаланиш коэффициенти бирга тснг бўлган сув таъминотининг берк тизимлари фаолият кўрсатадиган корхоналари оқимсиз кимёвий ишлаб чиқариш корхоналари жумласига киради.

Кимё корхоналарида сув таъминотининг берк тизимларини яратишда қуйидаги қоидаларга амал қилиш лозим:

1. Корхонанинг сув таъминоти ва канализациясига сув таъминоти, оқава сувларни тозалашни ўз ичига олувчи ҳамда улардан қайта

фойдаланишни таъминловчи ягона куйи тизим сифатида қаралиши зарур;

2. Сув таъминоти тизимида сувнинг асосий манбаи тозаланган оқава сувлар бўлиши, сув манбаларидан олинадиган янги сувдан эса фақат алоҳида мақсадларда ва маҳаллий тизимлардаги исроф бўлган сув ўрнини тўлдириш учунгина фойдаланилиши керак;

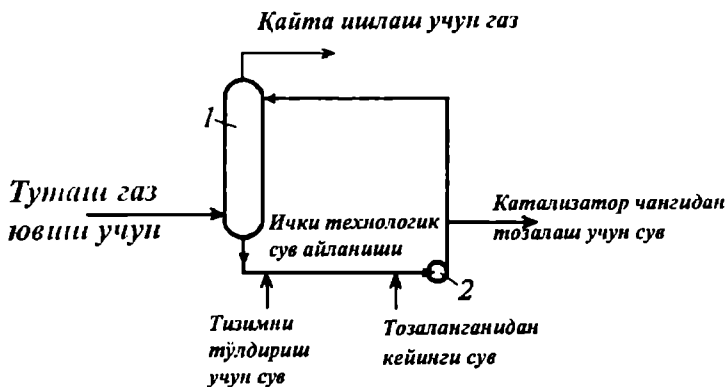
3. Оқава сувларни тозалаш улардан ишлаб чиқариш корхоналарида такрорий фойдаланиш мақсадида технологик сув таъминотининг маҳаллий тизимларида ишлатилган технологик эритмалар ва сувни тиклашга асосланмоғи лозим.

4. Технологик эритмалар ва сувни тиклашнинг энг кам моддий ҳамда энергетика сарфлари даражасида айтиб бир вақтда қимматли компонентларни ажратиб олиш ва ҳосил бўлган чиқиндиларни товар маҳсулоти ёки иккиламчи хом ашё даражасига етказишни таъминлайдиган усуллардан фойдаланиш даркор.

Ички технологик циклда сув қайта ишланаётган маҳсулотлар билан бевосита туташади. Айланиб юрувчи сувни тозалаш технологик қурилмаларнинг давоми бўлган маҳаллий тозалаш иншоотларида амалга оширилади. Маҳаллий қурилмаларда, одатда, тоزالанмасдан такрорий ёки айланма сув таъминоти тизимларига ёхуд умумзаовд тозалаш иншоотларига юбориб бўлмайдиган оқава сувлар тозаланади. Мазкур қурилмаларда тозалашнинг тиклаш усуллари: тиндириш, флотация, адсорбция, ион алмашинуви, қайта осмос ва ҳоказолардан фойдаланган ҳолда оқава сувлардан қимматли аралашмалар ажратиб олинади. Айрим ҳолларда маҳаллий қурилмаларда оқава сувлар термик зарарсизлантирилади.

Ички технологик сув айланиш тизими қўшимча капитал ва ишлатиш сарфларини талаб этади. Бироқ бундай сарфлар сувни саноатда ишлатишга тайёрлаш ва қимматли компонентларни ажратиб олишга сарфланадиган умумий маблағларни камайтириш ҳисобига қопланади.

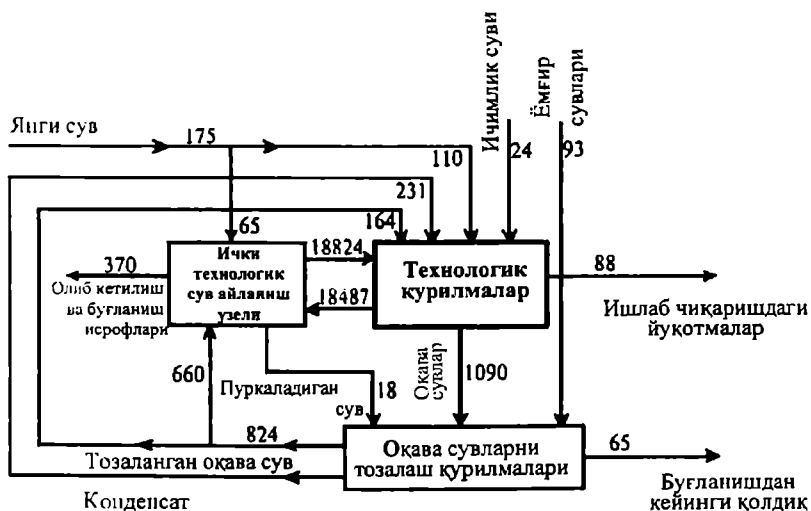
Эътиборингизга ҳавола этилаётган чизмада катализатор чангидан ювиш ва изопентанни дигидрирлаш қурилмасида туташ газни совутиш жараёнида ички технологик сув айланиш схемаси (6.10-расм) келтирилган. Сув циклини ташкил этишнинг бундай схема-



6-10-расм. Ички технологик сув айланиш схемаси:
1 – газ тозалаш скруббери, 2 – циркуляцияловчи насос.

лари газларни тозалашнинг скруббер қурилмаларидан фойдаланиладиган ишлаб чиқаришлар учун хосдир.

Ҳаво таъсирида совутиш усули оптимал қўлланган шароитда айланма сув таъминотидан энг юкори даражада фойдаланиш принципи оқимсиз нефтни қайти ишлаш заводлари схемаси-



6.11-расм. Нефтни қайта ишлаш заводида сувдан фойдаланиш схемаси
(ракамлар м³/соат ҳисобидаги сарфни кўрсатади).

нинг негизини (6.11-расм) ташкил этади. Ана шу заводларда нефт маҳсулотларини олтингугуртли бирикмалардан тозалаш тикловчи реагентлар ёрдамида амалга оширилади. Карбонлаш курилмасида зарарсизлантирилгандан кейин олтингугуртли ишкорий-оқава сувлар ЭЛТҚ (электр тузсизлантирувчи курилма) оқимлари билан биргаликда термик тузсизлантириш учун юборилади. Тузсизлантирилгандан кейин ҳосил бўлган сувли конденсат айланма сув циклига йўналтирилади. Бугланиш қолдигидан донатор техник натрий хлорид (NaCl –80%) ажратиб олинади ва ундан Na -катионит фелтрларни тиклашда фойдаланилади.

Технологик сув айланиш тизимида сувнинг доимий туз таркиби оқава сувларни тозалаш тизимида термик тузсизлантириш курилмасига сувнинг бир қисмини чиқариш ва тозаланган сувни технологик курилмаларга қайтариш ҳисобига сақлаб турилади. Нефтни қайта ишлаш заводларида оқимсиз схемаларни (6.6-жадвал) жорий этиш 1 м^3 оқава сувларга ажратиладиган солиштира капитал маблағларни ва тозалаш иншоотлари курилиш таннарини 1,5–2 марта камайтиради ва сув ҳавзалари ифлосланишининг олдини олади.

6.6-жадвал

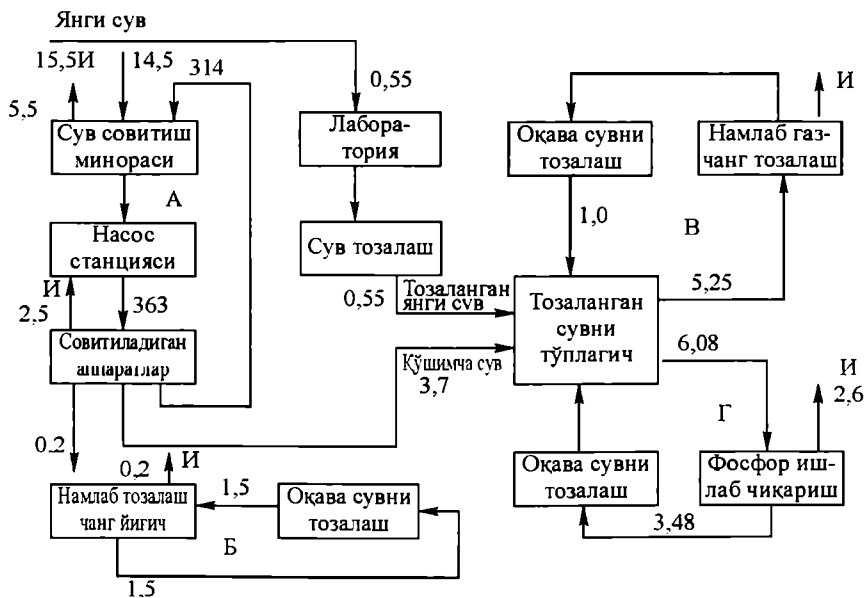
НЕФТНИ ҚАЙТА ИШЛАШ ЗАВОДЛАРИДА ТОЗАЛАШ ИНШООТЛАРИНИ ИШЛАТИШНИНГ ТЕХНИК-ИҚТИСОДИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ

Кўрсаткич	Оқимсиз НҚИЗ	Оқава сувлар ташлана- надиган НҚИЗ
1 т нефтга сув сарфи, м^3	0,13	0,26
1 т нефт ҳисобида ҳавзага ташланадиган оқава сув, м^3	–	0,30
1 т нефт ҳисобида айланма сув сарфи, м^3	13,2	16,5
Солиштира капитал маблағлар, м^3 оқава сувга шартли бирлик	489	500
Тозалаш иншоотлари курилиши нархи, шартли бирлик	9,3	17,4
1 м^3 оқава сувни тозалаш таннари, шартли бирлик	0,26	0,18

Термик тузсизлантириш, нефт тошқолларини термик қайта ишлаш ва олтингугуртли-ишкорий оқава сувларни карбонлаштиришга

ишлатиладиган фойдаланиш сарфлари ҳисобига оқимсиз схемада оқава сувларнинг 1 м^3 ини тозалаш таннархи оқимли схемадагига нисбатан юқори (6.6-жадвал). Бирок айланма сув сарфининг камлиги ва оқава сув ташланмаслиги сабабли оқимсиз схемада сув тозалаш сарфи оқимли схемадаги сарфи оқимли схемадаги шундай сарфлардан оз фарк қилади.

Фосфор ишлаб чиқариш дарёлар ва сув ҳавзаларини ифлослантирмайдиган оқимсиз технологияга мисол бўлади. Мавжуд маълумотлар шундан далолат берадики, фосфор ишлаб чиқарадиган заводлар оқаваларини тозалашнинг самараси кам ва сув ҳавзаларини ифлосланишдан ҳимоя қила олмайди. Айни вақтда оқава сувлардаги эриган аралашмалар технологик жараёнларга ва ишлаб чиқариш маҳсулотларига салбий таъсир кўрсатмаслиги маълум, кўрсатиб ўтилган хусусиятлар оқимсиз ишлаб чиқариш учун асос бўлиб хиз-



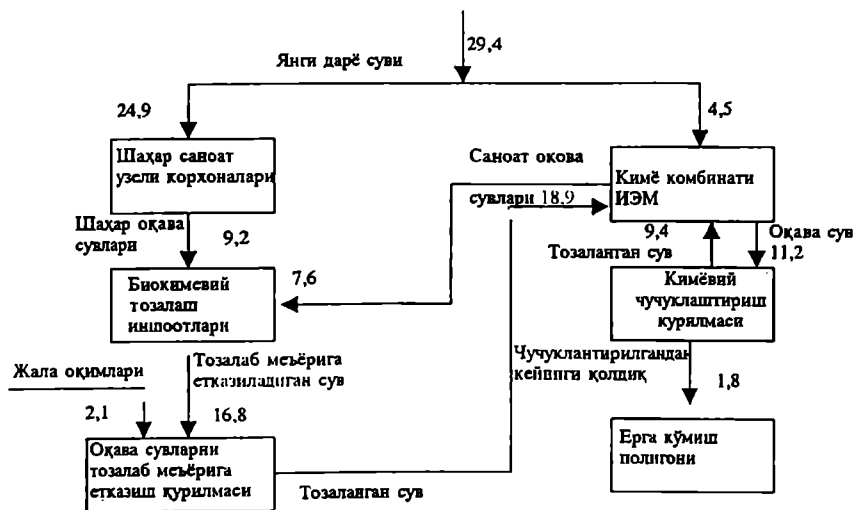
6.12-расм. Оқимсиз фосфор ишлаб чиқаришда сув оқимлари ва сув айланиши схемаси (рақамлар $\text{м}^3/\text{соат}$ ҳисобидаги сарфни кўрсатади).

А—аппаратларни совитишнинг айланма тизими; Б—намлаб чанг тозалашнинг айланма тизими; В—газ-чанг тозалашнинг айланма тизими; Г—сувнинг ички технологик цикли; И—буғланиш, олиб кетилишлар билан боглик сув исрофлари.

мат қилади. Унинг схемаси (6.12-расм) қуйида келтирилган. Мазкур схема бўйича сув таъминоти манбаидан янги сув қўшиш факат аппаратларнинг айланма совутиш тизимини тўйинтириш, қозонхонани ва турмуш эҳтиёжларини таъминлашнинг назарда тутишади.

Айланма совутиш тизимининг пуфлама ташланиш ва оқава сувлар ички технологик сув циклини, чанг-газ тозалашни ва чанг тозалашни тўйинтириш учун йўналтирилади. Чанг-газ тозалаш аппаратларидан олинadиган сувни маҳаллий тозалаш муаллақ аралашмаларни ажратиш ва абсорбция эритмаларини тиклашдан иборатдир. Алоҳида циклда сув намлаб чанг тозалашда ишлатилади.

Саноат комплекси ичида сувдан такрорий фойдаланиш тизими сув истеъмолини ҳамда оқава сувларни ташлашни камайтиришда юқори самарали йўналиш ҳисобланади. Россиядаги Первомай саноат мажмуаси оқимсиз сув таъминоти тизими шундай хос тизим жумласига киради. Мазкур мажмуанинг асосий корхонаси кимё комбинати бўлиб, у кўп тоннали хлор ва каустик сода, пластик масса, ўсимликларни ҳимоя қилишнинг кимёвий воситалари, бир қанча органик синтез маҳсулотлар ишлаб чиқаришни ўз ичига олади.



6.13-расм. Шаҳар саноат мажмуаси сув таъминотининг оқимсиз тизимида сув оқимлари схемаси.

Сувдан фойдаланишнинг мажмуавий схемаси (6.13-расм) барча йирик ишлаб чиқаришларда: таркибидаги ифлосликлар микдорига боғлиқравишда ишлаб чиқаришда такрорий фойдаланиш мақсадида тегишлича тозалашдан ўтадиган, ҳосил бўлган чиқиндилар эса товар маҳсулоти сифатида қайта ишланадиган умумий иншоотлар ва қурилмалардан иборат зарурий маҳаллий тозалаш қурилмаларига эга бўлган маҳаллий айланма сув цикллари ни ўз ичига олади. Саноат мажмуасида сувдан фойдаланиш самарадорлиги куйида келтирилган кўрсаткичларда ўз ифодасини топган:

	Оқимсиз схема	Оддий схема
Янги дарё суви сарфи, м ³ /сут	30	176
Шу жумладан, кимё комбинатида	4,5	150
Умумий сув айланиши, минг м ³ /сут	688	688
Оқава сувларни дарёга ташлаш, минг м ³ /сут	—	139,3
Оқава сувларни ишлаб чиқаришга қайтариш	95,7	71,5

6.2.3. Кимё саноати чиқиндилари ва уларни зарарсизлантириш усуллари нинг таснифи

Кимё саноати агрегат ҳолати бўйича таснифланадиган улкан микдордаги ҳар турли чиқиндиларни ҳосил қилади.

Қаттиқ чиқиндилар — кукун, чанг, куйма ёки қотиб қолган масса тарзида ҳосил бўладиган чиқиндилардир. Бу туркумга куйиндилар, кул, чанг ва курум зарралари, пластмасса ва резина чиқиндилари, ишлатилган катализаторлар, маъданлар бойитилгандан кейинги қолдиқлар, қаттиқ органик қолдиқлар, адсорбентлар, нокондицион маҳсулотлар (каучук, тола) ва бошқалар мансубдир.

Қаттиқ чиқиндиларни қайта ишлаш усуллари ни танлашда уларнинг таркиби ва микдори муҳим аҳамият касб этади. Катта микдордаги қаттиқ чиқиндилар аралашмалари ни мажмуага оид қайта ишлаш бўйича кучли қурилмалар яратиш билан боғлиқ го ялар устунлик қилади. Ғишт, керамзит, цемент ва бошқалар олиш, қурилиш материаллари саноати агрегатларида қаттиқ чиқиндилардан фойдаланиш кенг қўлам касб этади.

Суюк чиқиндилар асосан суюк мухитдан иборат бўлиб, уларда сувда ёки бошқа эритувчиларда эриган тузлар, ишкорлар, кислота-лар, шунингдек. муаллақ зарралар аралашмалари микдори, одатда, уларнинг чўкиши бошланадиган даражадан ортиқ бўлмайди. Суюк чиқиндилар ҳаракатчан бўлиб, уларни кимё саноатида қўлланадиган насослар ёрдамида ташиш мумкин. Эрийдиган моддалар концен-трацияси мақбул шароитларда эритмада уларнинг кристалланиши бошланадиган микёсдан ортиб кетмаслиги керак.

Чиқиндиларнинг мазкур гуруҳига, аввало, заҳарли бирикмалар билан ифлосланган ва махсус ишлов беришни талаб этувчи ишлаб чиқаришнинг оқова сувлари (таркибида кислота, ишкор, хлоридлар-фторидлар, бромидлар, эриган материаллар, заҳарли органик модда-лар ва ҳоказолар бўлган сувлар); ишланган органик эритувчилар ва суюкликлар киради. Айрим ҳолларда оз микдордаги аралашмалар билан ифлосланган бирон-бир маҳсулот ҳам суюк чиқинди бўлиши мумкин. Шундай чиқиндилар жумласига таркибида оксидланиш, полимерланиш маҳсулотлари ва механик аралашмалар бўлган иш-ланган ёғлар киради.

Суюк чиқиндилар кимёвий технологиянинг кўплаб оддий жа-раёнлари: адсорбция, чўктириш, филтрлаш, дистиллаш, ректи-фикациялаш, экстракция, буглатиш, кристаллаш, термик ишлов бериш, кимёвий қайта ишлаш воситасида қайта ишланади. Баъзан суюк чиқиндилар кўп таркибли аралашмадан иборат бўлиб, уларни ажратиш мумкин ва иқтисодий жиҳатдан ўзини оқламайди. Бун-дай ҳолларда чиқиндилар ёндириб юборилади ёки ер қобиғининг чуқур сингдирувчи қатламларига ҳайдалади.

Чиқиндиларнинг тўлиқ ёнишини таъминлаш ва ёниш чоғида ажралиб чиқадиган иссиқдан юқори даражада фойдаланиш чиқиндиларни ёндириш қурилмаларини ишлаб чиқишда энг муҳим муҳандислик вазифаси ҳисобланади. Термик ишлов бериш усулла-рининг энг муҳим афзаллиги – технологиянинг нисбатан содда-лиги, камчилиги эса чиқинди массасидаги мавжуд бўлган барча моддаларни (жумладан, фойдалиларини ҳам) йўқотиб юборишдир. Шунинг учун термик қайта ишлашда чиқиндиларнинг ёниш чоғида чиқадиган иссиқлигидан фойдаланиш мумкин.

Таркибида галогенлар, фосфор, олтингугурт, азот бирикмалари бўлган органик чиқиндиларни термик зарарсизлантиришда жараён анча мураккаблашади. Бунда уларнинг ёнишидан ҳосил бўлган маҳсулотларда хлороводород, олтингугурт ва азот оксидлари тўпланиши мумкин, шу сабабли газларни атмосферага чиқариш олдидан тозалаш зарурияти туғилади.

Газсимон чиқиндилар саноат печлари, шамолпаррак қурилмалари, қуритгичларнинг газ отқинларини, технологик қурилмаларнинг ҳар турли кетувчи газларини ўз ичига олади. Мазкур гуруҳга буг генераторлар ва печларнинг ёниш маҳсулотлари (тутун газлари); ўткир хидли, таркибида дисперс қаттиқ зарралар (чанг) ёки туман тарзидаги суюқ зарралар, шунингдек, таркибида NO_x , SO_2 , HCl , HF , органик моддалар буглари ва ҳоказолар; захарли аралашмалар билан ифлосланган буг ҳаво аралашмалари мансубдир.

Газлардан фойдали таркибларни ажратиб олиш ёки зарарсизлантириш учун кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари, шу жумладан, абсорбция, адсорбция, чўктириш, филтрлаш, термик қайта ишлаш, хемосорбция қўлланади. Газсимон чиқиндиларни термик қайта ишлаш газда мавжуд бўлган органик аралашмаларни H_2O , CO_2 , N_2 зарарсиз ёниш маҳсулотлари қолғунига қадар ёндиришдир. Мазкур усулларнинг камчилиги газ таркибидаги мавжуд барча органик моддаларнинг йўқотиб юборилишидир. Шунинг учун бу усул моддаларни ажратиб олиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ бўлмаган ҳоллардагина қўлланади.

Айрим маҳсулотлар ишлаб чиқаришда кетувчи газлар углеводородлар аралашмасидан иборат бўлади. Бундай аралашмаларни ажратиб олиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ бўлмаган шароитларда улардан иккиламчи энергетика ресурсларининг ёқилғиси сифатида фойдаланилади.

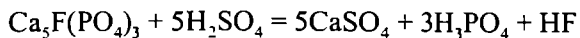
Тўғридан-тўғри ёкиб юбориш усулидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан самарасиз бўлган ҳолларда газсимон чиқиндиларда ёнувчи таркиблар миқдоран кам бўлганда **каталитик ёндириш** усули кенг қўлланади. Каталитик ёниш жараёни бевосита ёндириладиган $950\text{--}1110^\circ\text{C}$ ўрнига $200\text{--}600^\circ\text{C}$ ҳароратда ҳаракатсиз ёки қайновчи қатлами бўлган катализаторли реакторларда кечади.

Куйкумлар (шламлар) – таркибида 20–80% сув бўлган ва куритиш, филтрлаш, музлатиш ва бошқа усуллар ёрдамида дастлабки ишлов берилмаган тақдирда ташиш қийин бўлган аморф ёки майда кристалли массадан иборат. Чикиндиларнинг мазкур гуруҳига филтрлаш ва чўктириш жараёнлари қолдиқлари; суюқ чикиндиларни нейтраллаш ёки уларни махсус ишлашдан ҳосил бўладиган куйкум; оқава сувларни биокимёвий тозалаш жараёнида ҳосил бўладиган куйкумлар ва лойқалар мансубдир. Қатрон, нордон ва ёпишқоқ гудронлар, нефтни қайта ишлашдан ҳосил бўладиган қолдиқ нефт маҳсулотлари, нефт куйкумлари шу туркумга киради. Куйкумли чикиндиларни қайта ишлашда филтрлаш, центрифугалаш, куритиш, термик зарарсизлантириш, ёндириш жараёнларидан фойдаланилади. Таркибида органик ва ёнувчи моддалари бўлган куйкумларни ёндирганда юқори потенциалли иссиқлик ажралиб чиқадики, одатда ундан фойдаланилади. Қайта ишлаш усуллари-дан қай бирини танлаш куйкумнинг сифати ва ундаги мавжуд туркумларнинг тузилишига боғлиқ.

6.2.4. Қаттиқ чикиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш

Кимё ва нефт кимёси саноатида ўзининг келиб чиқиши ва таркиби бўйича фаркланувчи кўплаб қаттиқ чикиндилар ҳосил бўлади. Ана шу чикиндилар ниҳоятда хилма-хиллигидан улардан фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантиришнинг умумий схемасини тавсия этишнинг имкони йўқ, шунинг учун кўп тоннали ишлаб чиқариш чикиндиларига татбиқан асосий усулларни кўриб ўтамиз.

Фосфогипсни фойдаланишга тиклаш. Фосфогипс табиий фосфатлардан фосфат кислота ишлаб чиқаришда чикинди сифатида ҳосил бўлади. Фосфатлар сульфат кислота билан парчаланганда фосфат кислота эритмага айланади ва қийин эрийдиган кальций сульфат (фосфогипс) ҳосил бўлади:



Олинадиган кислотанинг ҳарорати ва концентрациясига боғлиқ равишда кальций сульфат дигидрат $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс), ярим

гидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ёки сувсиз туз CaSO_4 (ангидрит) шаклида бўлади. Дигидрат усулида экстракциявий фосфат кислота олишда дигидрит ҳисобида 7,5–8,4 тонна нам фосфогипс ҳосил бўлади. Фосфогипс (курук модда ҳисобида) 94% га қадар CaSO_4 , шунингдек, парчаланмаган фосфат аралашмалари, ювилмаган фосфор кислота, темир, алюминий оксидлари, стронций бирикмалари, турли микроаралашмалар (сийрак ер элементлари, Mo , Co , Mn , Zn), фтор бирикмалари ва ҳоказолар бўлади.

Фосфогипсдан қурилишда табиий гипс ўрнида бевосита фойдаланишга ҳалал берадиган асосий аралашмалар фтор ҳамда P_2O_5 бирикмалардир. МДХ мамлакатларида, шу жумладан, Россияда ҳозирги вақтда уюлмаларда 400 млн т. дан зиёд фосфогипс мавжуд ва ҳар йили ана шу чиқиндидан қарийб 10 млн т. ҳосил бўлади. Фосфогипс атроф-муҳитни ифлослантиришдан ташқари, катта иқтисодий зиён ҳам етказди, зеро фосфат кислота таннархининг 10% га яқини уни ташиш ва сақлаш учун сарфлашга тўғри келади. Қуйқум уюмлари кишлоқ хўжалиги учун зарур бўлган катта-катта майдонларни эгаллаб ётибди.

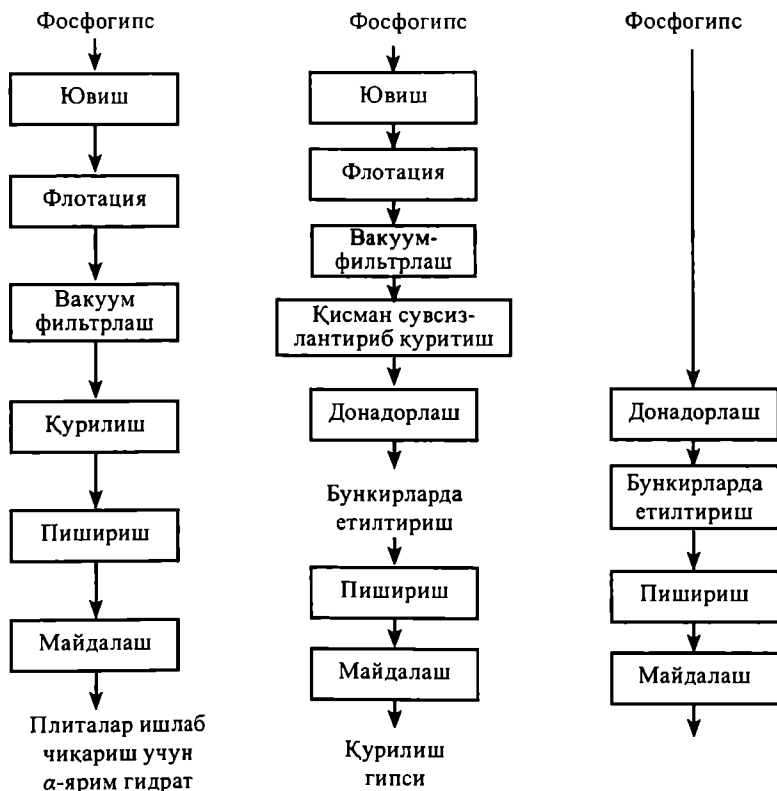
Мамлакатимизда ҳам 100 млн.т дан ортиқ фосфогипс тўпланиб қолган ва йилига 1 млн.т ортиқ қўшилиб бормокда. Ҳозирги вақтда фосфогипсдан фойдаланишнинг бир қанча йўналишлари ишлаб чиқилганки, қуйида уларнинг 1 т. чиқинди ҳисобидаги иқтисодий самарадорлиги келтирилади:

Фойдаланиш соҳалари	Иқтисодий самарадорлик, сўм,т
Гипсли боғловчи моддалар и/ч	+ 3,5
Портландцемент и/ч (қўшимча сифатида)	+ 2,5
Сульфат кислота ва цемент и/ч	- 8,6
Сульфат кислота ва оҳак и/ч	- 6,6
Аммоний сульфат и/ч	-22,2
Қишлоқ хўжалиги	+ 6,4

Одатда, **фосфогипсдан гипсли боғловчи моддалар олиш** икки босқичда кечади: фосфогипсни фтор ва фосфор бирикмалардан тозалаш ва кейин $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ дан $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ га қадар сувсизлантириш.

Сувсизлантириш жараёни печларда 150–170°C ҳароратда ёки автоклавларда 120–170°C ҳароратда куйдириш йўли билан амалга оширилади. Боғловчи моддалар олиш технологияси саноат миқёсида узлаштирилган, ҳозирги вақтда ушбу метод бўйича жаҳонда 3 млн т. фосфогипс қайта ишланмоқда ва 1,9 млн т боғловчи материаллар ишлаб чиқарилмоқда. Япония йилига вужудга келаётган 5 млн т фосфогипсни тўла ишлатади.

Қуйида фосфогипсдан қурилиш гипси олишнинг технологик жараёни тузилиш схемаси келтирилган (6.14-расм).



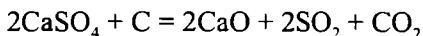
6.14-расм. Фосфогипсдан гипсли боғловчи моддалар олиш схемаси (а,б,в-вариантлар).

Цемент ишлаб чиқаришда фосфогипс донадорлаштирилади ва гигроскопик намлик 5% ни ташкил этгунига қадар барабан курутгичларда куритилади. Фосфогипсдан фойдаланиш цемент ишлаб чиқаришда ёкилғи сарфини камайтиради, печларнинг унумдорлигини ва цемент клинкери сифатини оширади.

Сульфат кислота ва цемент ишлаб чиқаришда куритилган фосфогипс тупроқ, кум ва кокс билан аралаштирилади ва 1200–1400°C ҳароратда пиширилади. Пишириш вақтида қуйидаги реакциялар кечади:



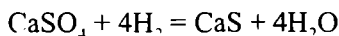
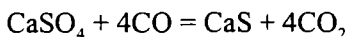
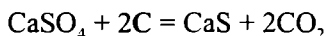
Жараён қуйидаги умумий реакцияда ифодаланиши мумкин:



Мазкур жараёнда углероднинг бир мунча ортиқча (стрехиометрикдан 20–30%) унинг қўшимча реакцияга сарфини қоплаш учун қўлланади.

Ҳосил бўлган олтингугурт диоксиди SO_2 га қадар оксидлашга йўналтирилади, у кейин сув билан абсорбцияланиб, сульфат кислота олинади.

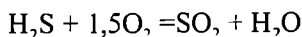
Сульфат кислота ва оҳак ишлаб чиқаришда фосфогипс кокс билан ёки табиий газнинг конверсия маҳсулотлари билан тикланади:



Кальций сульфид сув билан олинган суспензия эса углерод диоксиди билан ишланади:

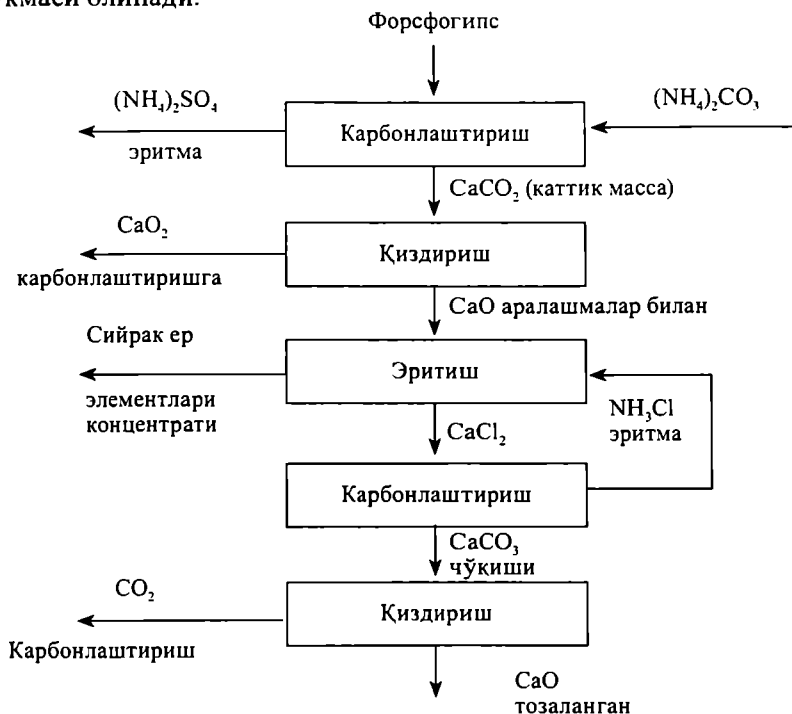


Олинган олтингугурт сувли олтингугурт диоксидига қадар оксидланади:



Илгаридан тайёрланган $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ нинг фосфогипс билан ўзаро таъсирига ёки NH_3 ва CO_2 сингари газсимон моддаларнинг бевосита туташувига асосланган усуллар ишлаб чиқилган.

Фосфогипсни кайта ишлаш схмаси (6.15-расм) фосфогипсни кайта ишлаб, аммоний сульфат, кальций оксид ва сийрак ер элементлари концентрати олиш схмаси ишлаб чиқилган. Мазкур усул шунга асосланганки, CaO аммоний тузларида эрийди, сийрак ер элементлари эса чўкмада қолади. CaCO_3 1000°C ҳароратда қиздирилади, ҳосил бўлган кальций оксидга NH_4Cl эритмаси билан ишлов берилади ва CaCl_2 эритмаси ҳамда сийрак ер элементлари чўкмаси олинади.



6.15-расм. Фосфогипсни кайта ишлашнинг комплекс схмаси.

Аммонийлаштирилган CaCl_2 эритмаси CaCO_3 ни ажратиш ва NH_4Cl ни тиклаш учун CO_2 га тўйинтирилади.

Қишлоқ хўжалигида фосфогипсдан шўрхок тупроқларни гипслаш учун фойдаланилади. Бундай тупроқларга фосфогипс солишда (1 гектар ерга 6–7 т.) тез ювилиб кетадиган натрий сульфат ҳосил бўлади. Фосфогипсдан маҳаллий ўғитлар ўрнида фойдала-

ниш тавсия этилади. Узок срларга (500 км га қадар) ташилмайдиган холларда бундай ўғитдан фойдаланиш иктисодий жиҳатдан ўзини оклайди. Фосфогипсдан фойдаланиш P_2O_5 дан тозалашни талаб этмайди, зеро бу аралашма тупроққа солнинганида ижобий аҳамият касб этади (6.16-расм).

Биргина Россиянинг ўзаро олтингугуртли ўғитларга бир йиллик эҳтиёжи 2 миллион тоннадан зиёдни ташкил этади. Ўзбек олимлари жуда шўрланган ерларга фосфогипсни солиш яхши самара беришини кўрсатганлар.

Фосфогипсни қайта ишлаш усуллари орасида ундан 1100-1200°C ҳароратда тиклаш йўли билан олтингугурт элементини ажратиш усули истиқболли саналади.

Пластмассалар ва эластомерларни фойдаланишга тиклаш. Пластмассалар ва эластомерларнинг технологик чиқиндилари мазкур маҳсулотлар синтези ва уларни қайта ишлаш билан шуғулланувчи тармоқларда ҳосил бўлади. Статистик маълумотларга кўра, ишлаб чиқаришда 5% дан то 35% гача ана шундай чиқиндилар ҳосил бўлади.

Пластмасса ва эластомер чиқиндиларни йўқотишнинг энг кенг тарқалган усуллари кўп вақт уларни тупроққа кўмиш ва ёқишдан иборат бўлган. Ёқишдан ҳосил бўлган иссиқликдан сув буғи ҳосил қилишда фойдаланилган. Бироқ ёндирганда полимерларнинг тўлиқ ёнмаслиги туфайли курум ҳосил бўлади ва заҳарли моддалар ажралиб чиқади, бунинг оқибатида ҳаво ҳавзаси қайта ифлосланади.

Пластмасса чиқиндиларини фойдаланишга тиклашнинг асосий усуллари қаторига пиролиз йўли билан термик иарчалаш; полимер-сизлантириб, дастлабки куйи молекуляр маҳсулотлар (мономерлар, олигомерлар) олиш киради.

Полимерлар пиролизи 800–1100°C ҳароратда амалга оширилади ва юкори калорияли ёқилғи, турли технологик жараёнларда фойдаланиладиган хом ашё ва ним маҳсулотлар, шунингдек, полимерлар синтези учун мономерлар олиш имконини беради. Полиэтилен чиқиндилари пиролизида ($T = 740^{\circ}\text{C}$) этилен (25%), метан (16%), бензол (12%), пропилен (10%) сингари фойдали маҳсулотлар ҳосил бўлади.

Техник пиролиз қурилмаси ўз ичига майдалаш машинаси, шнек таъминлагич, пиролиз печи, пирогазни ювиш учун скруббер, со-

вуггич, углеводородларни ажратиш учун тозалаш боскичи ва кетаётган газларни ёқиш камерасини ўз ичига олади. Поливинилхлорид қайта ишланадиган тик цилиндрсимон камерада иборат бўлиб, унда майдаланган пластмасса чиқиндилари оғирлик кучи таъсирида пастга сурилади, пиролиз маҳсулотлари эса печнинг юқори қисмидан қайта ишлаш учун жўнатилади.

Полимер чиқиндиларини бензин ва мойга айлантириш учун каталитик гидрокрекинг жараёнлари ишлаб чиқилган.

Нисбатан паст ҳароратларда (300–450°C) парчаланадиган пластмасса турларидан мономерлар олиниб, полимерсизлантирилади. Полистирол ва унинг сополимерлари, полиакрилатлар ана шундай полимерлар жумласига киради.

Полистирол пиролизи жараёни 50–70% дастлабки стирол олиш билан бирга кечади, полиметилметакрилатнинг термик парчаланишда газсимон метилметакрилат ҳосил бўлиши 91–96% га қадар етади.

Полимер материаллар чиқиндиларини фойдаланишга тиклашнинг энг самарали усули уларни иккиламчи (айрим ҳолларда кўп марта) қайта ишлашдир. Истеъмолдан чиққан полиэтилен плёнкасини қайта ишлаб, қишлоқ хўжалиги учун қувурлар ва унчалик муҳим бўлмаган жойларда ишлатиладиган буюмлар, шунингдек, иккиламчи плёнка тайёрлаш жараёнларида ўзлаштирилади. Иккиламчи полимер плёнка олишнинг технологик жараёни дастлабки хом ашё тайёрлаш (фойдаланилган плёнка), донаторлаштириш ва ҳосил бўлган донатор хом ашёни дастлабки полиэтилен билан араллаштириб, кейинчалик оддий усулда плёнка олишдан иборат.

6.2.5. Суюқ чиқиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш

Кимё ва нефт-кимё корхоналарининг кўплаб суюқ чиқиндилари орасида оқава сувлар, ҳар турли карбон сувли эриткичлар ва ифлосланган органик моддалар кўпчиликти ташкил қилади.

Оқава сувлар тегишли соҳадаги заводлардан – асосий кимё саноати, нефт-кимё ва нефтни қайта ишлаш саноати, органик синтез,

бўёклар ва пигментлар, лак ва бўёвчи моддалар, целлюлоза-қоғоз саноати ва бошқа корхоналардан келадиган ноорганик ва органик бирикмалар билан ифлосланган. Кимё корхоналарида оқова сувлар ҳосил бўлишининг умумлаштирилган схемаси кейинроқ эътиборингизга ҳавола этилади (6.16-расм).

Оқова сувларни тозалаш усулини танлаш, аввало, аралашмаларнинг хусусиятига боғлиқ. Оқова сувларни тозалашнинг энг кўп қўлланадиган усуллари куйидаги гуруҳларга бирлаштириш мумкин:

1) суспензия ва эмульция ҳосил қилган аралашмалардан тозалаш учун – тиндириш, флотация, филтрлаш, тиндириш, центрифугалаш (дағал дисперс зарралар учун); чўкинди ҳосил қилиш, флотация, чўктиришнинг электр усуллари (майда дисперс ҳамда каллоид зарралар учун);



6.16-расм. Кимёвий ишлаб чиқаришда оқова сувларнинг ҳосил бўлиш схемаси.

2) ноорганик бирикмалардан тозалаш учун – дистиллаш, ионалмашиш, тескари осмос ультрафилтрлаш, реагентли чўктириш, совутиш усуллари, электр усуллари;

3) органик бирикмалардан тозалаш учун – экстракция, абсорбция, флотация, ионалмашиш, реагент усуллар (тиклаш усуллари); биокимёвий оксидлаш, суюк фазали оксидлаш, парофазавий оксидлаш, озонлаш, хлорлаш, электр кимёвий оксидлаш (деструктив усуллар);

4) газлардан ва буглардан тозалаш учун – пуфлаш, киздириш, реагент усуллар;

5) зарарли моддаларни йўқотиш учун – термик парчалаш.

Оқава сувлар фосфор бирикмалардан алюминий ва темир сульфатлари ёрдамида тозаланади. Оқаваларни азот бирикмалардан (аммиак, нитритлар ва нитратлардан) хошилаш абсорбция ва ионалмашиш (аммиак) усуллари ёрдамида амалга оширилади.

Оқава сувларни тозалашнинг турли усуллари самарадорлиги 6.7-жадвалда келтирилган.

6.7-жадвал

**ОҚАВА СУВЛАРНИ ТОЗАЛАШ УСУЛЛАРИНИНГ
САМАРАДОРЛИГИ**

Тозалаш усули	Йўқотиладиган аралашмалар	Тозалаш даражаси, %
Биокимёвий тозалаш: бир боскичли	Органик бирикмалар, нефт маҳсулотлари	55–90
икки боскичли	Органик бирикмалар, нефт маҳсулотлари	93–90
Хайдаш	Аммиак	85–95
Ионалмашиш	Азот ва фосфорли бирикмалар	80–92
Электродиализ	Эриган моддалар	10–40
Кўмир билан адсорбциялаш	Органик бирикмалар	90–98
Филтрлаш	Муаллақ моддалар	60–90
Тескари осмос	Эриган моддалар	65–95
Дистиллаш	Эриган моддалар	90–98

Жадвалдан кўриниб турибдики, аксарият ҳолларда оқова сувларни тозалаш учун «Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва аппаратлари» курсида ўрганиладиган кимёвий технологиянинг оддий жараёнларидан (ёки уларнинг бирикувидан) фойдаланилади. Шунинг учун оқова сувда аралашмаларни биокимёвий ва кимёвий оксидлаш хусусиятларига эътибор қаратамиз.

Оқова сувларни биологик тозалаш усули гетеротроф микроорганизмларнинг ҳар турли органик бирикмаларни биокимёвий айлантириб, озиқа манбаи сифатида фойдаланиш қобилиятига асосланган. Фаол бактерияларнинг мослашиш хусусиятларидан фойдаланиш нотабиий равишда вужудга келган мураккаб органик бирикмалари бўлган кимёвий корхоналарнинг оқова сувларини биологик тозалаш масалаларини муваффақиятли ҳал этиш имконини беради.

Микроорганизмлар органик моддалар билан туташиб, уларни қисман парчалаб, сувга, углерод диоксидига, нитрат ва сульфат ионларга ва ҳоказоларга айлантирилади.

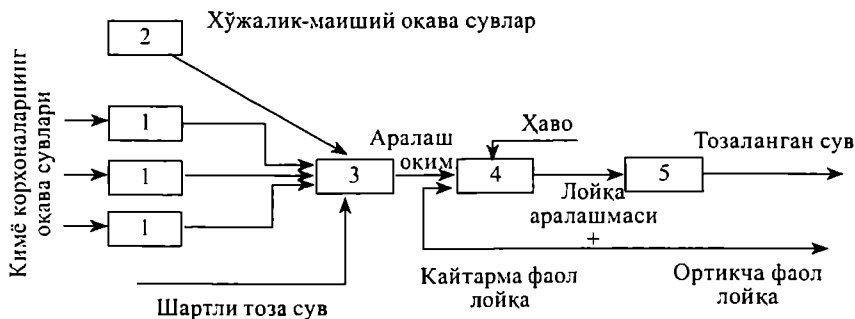
Моддаларнинг қолган қисми биомассалар ҳосил қилишга сарфланади. Органик бирикмаларнинг микроорганизмлар ёрдамида парчаланиши биокимёвий оксидланиш деб юритилади. Органик моддаларнинг оксидланиши сайланма тарзда кечади, шунинг учун айрим бирикмалар осон, бошқалари аста-секин парчаланаяди ёки умуман оксидланмайди.

Оқова сувларни биокимёвий тозалашнинг **аэроб ва анаэроб** усуллари маълум. Аэроб усул ҳаёт фаолияти учун кислороднинг доимий келиб туриши ва 20–40°C ҳарорат бўлиши талаб этиладиган микроорганизмларнинг аэроб гуруҳларидан фойдаланишга асосланган. Кислород ва ҳарорат режимлари ўзгарганда микроорганизмлар таркиби ва сони, бинобарин, оқова сувларининг тозаланиш самарадорлиги ҳам ўзгаради. Анаэроб тозалаш усулидан фойдаланилганда микроорганизмлар фаол лойқада ёки биоплёнкада ривожланади, биокимёвий жараёнлар кислородсиз кечавсради. Бу усулдан, асосан, чўкмаларни зарарсизлантиришда фойдаланилади.

Биокимёвий тозалаш чиқиндисиз ишлаб чиқаришни ташкил этиш нуктаи назаридан универсал ҳисобланмайди, чунки оқова

сувлар билан бирга келувчи қимматли органик моддалар ажратиб олинмайди, балки қайта ишланиб, ортикча лойкага айлантирилади, бу ҳам ўз навбатида зарарсизлантиришни талаб этади. Бирок бу ҳозирча оқова сувларни айланма совутиш тизимларида фойдаланиш имконини берадиган ягона усулдир. Кимё корхоналарининг биологик тозалаш иншоотлари уларга келиб тушадиган оқова сувларнинг хусусиятига қараб танланадиган турлича технологик схемаларга эга бўлиши мумкин.

Тозалаш иншоотлари технологик схемасини танлаш учун тозаланган оқова сувлар сифатига бўлган талабларни таъминлаш ҳамда сарфларни кескин даражада пасайтириш шартлари мезон қилиб олинади. Қуйида эътиборингизга ҳаволо этилган схема (6.17-расм) энг кўп қўлланилади. Оқова сувлар дастлаб ўрталаштирувчи сигимларга (1) тушади, кейин аралаштирувчи камерага ўтади (3). Худди шу ерга тўплагичдан хўжалик-маиший оқова сувлар, шунингдек, шартли тоза сув келиб тушади. Хўжалик-маиший оқова сувлар тўплагичи (2) ўрталаштириш ролини ўйнайди, зеро бу сувлар ўзгарувчан ифлосланиш хусусиятига эга (махсулотларни қуйиш, ишлаб чиқариш хоналарини тозалаш ва ҳоказо). Аралаш оқим азротенк (4) га келиб тушади ва бу ерга ҳаво юборилади. Тиндиргич лойка аралашмаси азротенкдан иккиламчи тиндиргичга



6.17-расм. Кимёвий корхоналари оқова сувларини биологик тозалаш схемаси:
1 – ўртачалаштирувчи сигимлар; 2 – хўжалик-маиший оқова сувлар тўплагичи;
3 – аралаштирувчи камера; 4 – азротенк; 5 – иккиламчи тиндиргич.

(5) жўнатилади, бу ерда тозаланган сув фаол лойкадан ажратилади ва сув ҳавзасига ёки сув айланиш тизимларини тўйинтириш учун юборилади (тегишлича тозалаб тобига етказилгач), фаол лойка иккиламчи тиндиргичлардан аэротенкга қайтарма лойка кўришишида қайтарилиб, қайтар ёки қисман ортикча лойка сифатида ишлов бериш учун юборилади.

Оқава сувларни зарарсизлантиришнинг термик оксидлаш усуллари. Зарарсизлантиришнинг термик оксидланиш усулларида оқава сувлардаги органик аралашмалар оширилган ҳароратда ҳаво кислороди ёрдамида безарар маҳсулотлар (H_2O , CO_2) юзага келгунига қадар оксидланади. Аланга («Ўтли»), суюқ фазага оксидланиш, парофаза каталитик оксидланиш шулар жумласидандир.

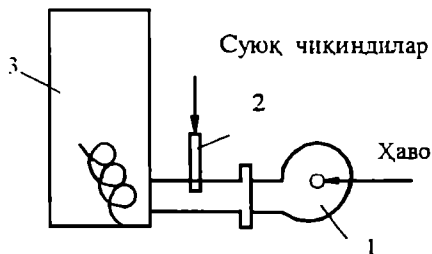
Зарарсизлантириш усулини танлаш оқава сувлар ҳажмига, уларнинг таркибига, иссиқлик ҳосил қилиш қобилиятига, жараённинг тежамкорлигига ва тозаланган оқава сувларга бўлган талабларга боғлиқдир. Ифлосланган оқава сувлар иссиқлик ҳосил қилиш қобилиятига кўра таркибидаги мавжуд органик моддалар ҳисобига мустақил ёниш қобилиятига эга бўлган оқава сувларга ҳамда термик оксидлаш билан зарарсизлантириш фақат ёқилғи киритиш воситасидагина (сув оқимларининг иссиқлик ҳосил қилиш қобилияти 8400 кЖ/кг дан паст бўлганда) амалга ошириладиган сувларга бўлинади.

Оқава сувларни зарарсизлантиришнинг ўтли усули универсал бўлиб, оқава сувларни юқори даражада (98–99,9%) тозалаши билан диққатга сазовордир. Бу усулда оқава сув зарралар ҳолатида ёқилғи ёнишидан ҳосил бўлган юқори ҳароратли (900–1000°C) маҳсулотга киритилади. Сув буғланади, органик аралашмалар эса ёниб, тўлиқ ёниш маҳсулотларини (CO_2 , H_2O) ҳосил қилади. Бунда минерал аралашмалар каттик ёки эриган зарралар ҳосил қилиб, улар печ камерасидан чиқариб юборилади.

Усулнинг камчилиги сувнинг буғланишига ва буғнинг 900–1000°C қадар қизишига ёқилғининг кўп сарф бўлишидир. Шу муносабат билан ўтли усулдан қуйидаги ҳоллардагина фойдаланиш тавсия этилади:

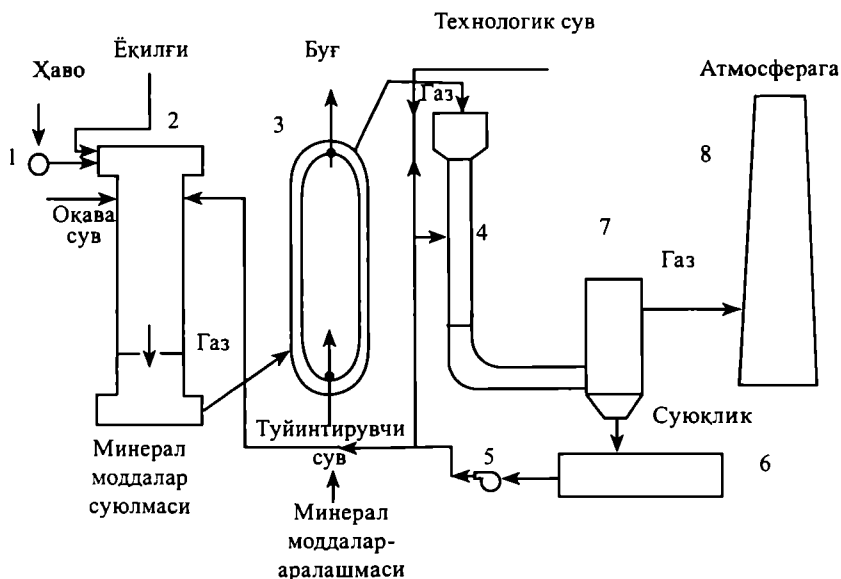
1) ўзга усуллар билан зарарсизлантириш мумкин бўлмаган ёки иқтисодий жиҳатдан самарасиз ҳисобланган юқори даражада заҳарли органик аралашмалари бўлган оқава сувлар мўллигида;

6.18-рас. Ёнувчи суюқ чикиндиларни ёкиш учун қурилма схемаси: 1 – ҳаво пуркагич; 2 – таъминловчи қурилма; 3 – печ.



2) ёқилғи ўрнида ишлатилиши мумкин бўлган ёнувчи иккиламчи энергетика ресурслари мавжудлигида.

Ўтли усулда турлича тарздаги печлардан фойдаланилади: камерали, шахтасимон, сохта суюлтирилган қатламли циклон печлари. Булар ичида энг самаралиси циклон печлари бўлиб, газ оқимининг гирдобли хусусияти туфайли оқава сув томчилари билан ёқилғи ёнишидан ҳосил бўлган қайноқ материаллар ўртасида иссиқлик ва

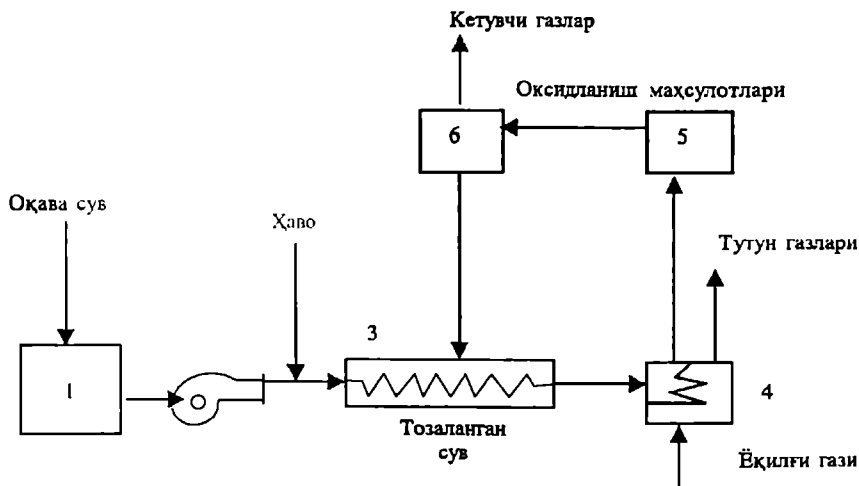


6.19-расм. Оқава сувларни ўтли зарарсизлантириш қурилмаси схемаси: 1 – ҳайдовчи насос, 2 – циклон реактори, 3 – буг генератори (қайта фойдаланиш қозони ёки утилизатор – қозини), 4 – оқимли аппарат, 5 – циркуляция насоси, 6 – сўғим, 7 – томчи ажратгич, 8 – дудбурон.

масса алмашинуви жадаллашади (6.18-расм). Мазкур печларда эриган тузларни печдан тушириш масаласи оson хал этилади. Циклон печларнинг камчилиги газ окими билан биргаликда кўпгина туз массасининг олиб кетилишидир.

Юкоридаги 6.19-расмда оқава сувларни ўтли зарарсизлантирувчи қурилма схемаси келтирилган бўлиб, у циклон реактори, буг генератори (кайта фойдаланиш қозони 3 ва оқимли аппарат 4 ни ўз ичига олади. Ёнишдан ҳосил бўлган маҳсулотлар реактордан буг генераторининг совутиш камерасига келиб тушади. Эжекторнинг мавжудлиги тутунсургични тақозо этмайди. Циркуляция насоси 5 сиғими 6 дан реактор 2 га ва оқимли аппарат 4 га минерал моддалар аралашмасини узатиш учун фойдаланилади.

Тозаланган газлар томчи ажратгич 7 дан ўтиб, мўри 8 га келади ва шу ердан атмосферага йўл олади. Айрим қурилмаларда иссиқликдан кайта фойдаланиш учун сув иситгич қозонлардан, сув аммиакли абсорбциявий совутгич машиналардан ва газни томчи олиб кетгичдан қуруқ тозаловчи циклонларда фойдаланилади.



6.20-расм. Суюк фазали оксидланиш қурилмасининг схемаси:
1 - тўплагич, 2 - насос, 3 - иссиқ алмашинуви, 4 - печ, 5 - реактор,
6 - сепаратор.

Оқава сувларни ўтги зарарсизлантириш қурилмаси қуйидаги кўрсаткичларга эга:

Оқава сувлар бўйича иш унуми, м ³ /соат	2,5
Табиий газ сарфи, м ³ /соат	600
Газнинг солиштирма сарфи, м ³ /соат	240
Оқава сувлар циклон печининг солиштирма юкламаси, т (м ³ /соат)	1,8
Циклон печининг иссиқлик қучланиши, МВт/ м ³	2,46
Циклондан чиқишда ёниш маҳсулотлари ҳарорати	900–1000

Олтингугурт, хлор сингари органик бирикмалар, нитробирикмалари бўлган оқава сувларни зарарсизлантириш жараёнида SO₂, SO₃, P₂O₅, HCl, Cl₂, (NO)_x ҳосил бўлади. Мазкур моддалар ўзаро таъсирда бўлиб, янги, янада заҳарли бирикмалар ҳосил қилиши мумкинки, кетаётган газларни атроф-муҳитга чиқаришда бу ҳолатни назарда тутиш лозим.

Суюқ фазали оксидланиш усули оқава сувда эриган органик моддаларнинг 100–350°C ҳарорат ва 2–28 МПа босимда ҳаво кислороди билан оксидланишига асосланган. Босимни ошириш кислороднинг сувда эрувчанлигининг ортиши оқибатида оксидланиш жараёни ва теранлигини кучайтиради. Суюқ фазали оксидланиш ҳам катализаторларда, ҳам уларсиз амалга оширилади. Катализаторлар сифатида алюминий оксид қиритилган металллар (Pt, PCI, Cu, Zn, Mn) ёки фаоллаштирилган кўмидан фойдаланилади.

Оқава сувларда мавжуд бўлган органик бирикмалар суюқ фазали оксидланиш қурилмасининг принципиал схемаси юқорида келтирилган (6.20-расм).

Ифлосланган сув тўплагичдан насос 2 ёрдамида ёнувчи бирикмаларни зарарсизлантириш тизими 1 га узатилади. Сув иссиқлик алмаштиргич 3 да ва табиий газ ёкиладиган печ 4 да иситилади. Сепараторда сув ажратилганда газлар чиқариб ташланади, тозаланган сув эса ифлосланган оқимни иситиш асосида иссиқлик алмаштиргич 3 да совутилади.

Парофаз (бўғ фазали) каталитик оксидланиш усулида оқава сувларда мавжуд бўлган учувчан органик бирикмаларни ҳаво кислороди билан гетероген каталитик оксидланишда фойдаланилади. Оксидланиш жараёни мис-хром, мис-рух, мис-маргансци катали-

заторлар иштирокида жадал ксчади. Юкори хароратда (350–400°C) органик моддаларнинг аксарияти тўлик оксидланади (98,5–99,9%).

Конденсаторга йўналтириладиган технологик оким (буғлатувчи курилмаларда, тозалаш устунларидан ва куритиш камераларидан ва ҳоказолардан чикувчи) сифатида чикадиган ҳолларда буғ фазали оксидланиш усулини қўллаш мақсадга мувофикдир. Ушбу жараёнда гетероген-каталитик жараёнлар учун хос бўлган реактор конструкцияларидан фойдаланиш мумкин.

6.2.6. Газсимон чиқиндилардан фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш

Газсимон чиқиндилар гуруҳида кетаётган технологик газлар, печлардан ва буғ генераторларидан олинадиган ёниш маҳсулотлари, вентиляция тизимларидан чикадиган ифлосланган ҳаво отқиндилари катта улушни ташкил этади.

Газларда кўплаб бирикмалар бўлиб, улар таркибига углеводородлар ҳамда водороддан ташқари кислород, олтингугурт, азот, га-логенлар кириши мумкин.

Атмосферага чиқариб ташланадиган газларни мазкур бирикмалардан тозалашга уларни юкори хароратларда (900–1000°C) ёндириш воситасида эришиш мумкин, бироқ бундай усул кўплаб бирламчи ёқилғи сарфлашни тақозо этадики, таркибида зарарли моддалар оз бўлган газларни зарарсизлантиришда ниҳоятда самарасиздир. Шу муносабат билан анча паст хароратда (300–400°C) амалга ошириладиган каталитик тозалаш усулини қўллаш мумкин бўлади. Турли газ чиқиндиларни каталитик тозалаш мисолларини кўриб ўтамиз.

Газларни органик моддалардан каталитик тозалаш. Тозалашнинг қуйидаги принципиал схемаси энг кўп қўлланади. Тозаланадиган газлар газ оқими ўзи билан бирга олиб кетган конденсат ҳамда муаллақ зарраларни ажратиб олиш учун циклондан ўтади. Сўнгга газлар қайтаришли иссиқлик алмашгичларда ва қиздиргичда реакция хароратига қадар қиздирилгач, реакторга юборилади. Жараёни, ёнилғи аралашмалар миқдори 5–10 г/м³ (ана шундай аралашмаларнинг адиабатик қизиши 150–300 град) бўлган тақдирдагина автотермик тарзда ўтказиш мумкин, бундай аралаш-

малар кам бўлганида ўзга манбадан иссиқлик келтириш зарур. Тозаланган газлар совитилиб, атмосферага чиқариб юборилади.

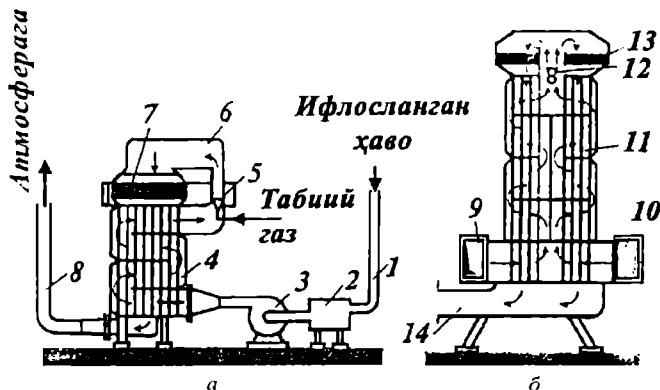
Кетаётган газларни тозалашда фойдаланиладиган катализаторларнинг фаол таркибий қисмларини уч гуруҳга бўлиш мумкин: асл материаллар, қотишмалар ва оксид тизимлар. Катализаторлар кенг ҳароратлар оралиғида (250–800°C) сув иштирокида (қарийб 15%) СО ҳамда углеводородларнинг 90% дан зиёдини оксидлаши лозим ва олтингугурт аралашмалари билан заҳарланмаслиги зарур. Оксидланиш ва тикланиш муҳитларида (оксидланиш ва гидратланиш) органик бирикмалар ўзгаришларининг ғоят хилма-хил реакцияларни тезлаштириш қобилияти туфайли платинали катализаторлар энг кўп тарқалган.

Газларни зарарсизлантириш учун ноплатина металллар (Ni, Si, Cr, Mn) оксидлари асосида анчагина арзон таблеткасимон доналштирилган катализаторлардан ҳам фойдаланилади.

Изопренни сувсизлантириб, изопрен ишлаб чиқаришда кетувчи газлар ҳосил бўладиги, уларнинг таркибида азот, кислород ва углерод диоксидидан ташқари $C_1 - C_5$ углеводородлари ҳам мавжуд. Уларни тозалаш учун АП–56 платинали катализатордан ($Pt-Al_2O_3$) фойдаланилади. Таркибида 4,5% (ҳажм) органик моддалар бўлган газни икки босқичли тозалашда ушбу катализаторда 260–350°C ҳароратда, 50000 соат⁻¹ ҳажмий тезликда ва ҳаво ортиқлиги 1,5–2,0 марта бўлганда конверсия 96–100% га етади.

Аралашмалар теран оксидланганда миқдори оксидланувчи моддалар табиатига ҳамда уларнинг тозаланадиган газларда тўпланиш даражасига боғлиқ. Иссиқликни фойдаланиш учун тиклаш, вентиляция откиндиларини углерод диоксиди ва сувга айланадиган заҳарли органик моддалардан тозалаш учун муҳим катализатор қатламли реактор схемаси 6.21-расмда келтирилган.

Ифлосланган ҳаво цех биносидан ёки технологик ускунадан канал (1) орқали шамол паррак (3) воситасида сўриб олинади. Ифлосланган ҳаво ўт тўсгич (2) орқали ўтиб, 3000 Па га қадар босим остида рекуператорнинг (4) трубалараро бўшлиғи томон йўл олади ва бу ерда дастлаб кетаётган газларнинг иссиқлиги ҳисобига 200°C ҳароратга қадар қиздирилади. Қизиган ҳаво аралаштирувчи – оқувчи ҳаво иситгич (6) га келиб тушади, бу ерда унинг ҳарорати

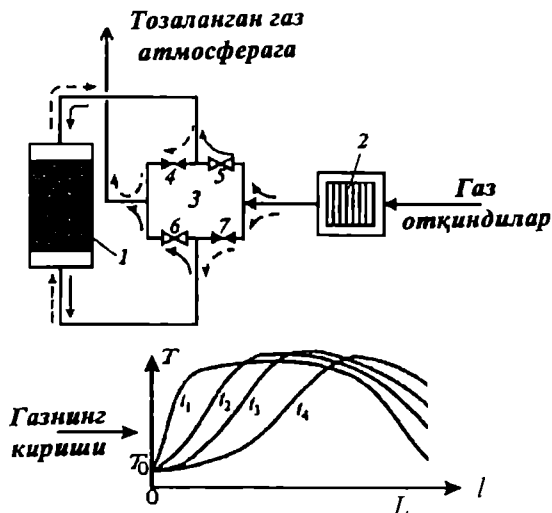


6.21-расм. Органик аралашмалари бўлган газ-ҳаво отилмаларини каталитик зарарсизлантириш учун ўтказиш қобилияти 5 минг м³/соат (а) ва 10–25 минг м³/соат (б) бўлган реактор схемаси: 1–трубопровод, 2–ўт тўсгич, 3–марказдан кочирма шамолпаррак, 4–рекуператор, 5–оқимли ёндиргич, 6–аралаштирувчи–оқувчи ҳаво иситгич, 7–катализатор, 8–чикиш трубопровод, 9, 10–каналлар, 11–рекуператорнинг трубалараро бўшлиғи, 12–ёндиргич, 13–кийдирма, 14–чикиш трубопровод.

ёндиргичга (5) юбориладиган табиий газнинг ёниш маҳсулотлари билан аралашishi ҳисобига 250–400°C га қадар қўтарилади. Катализатор қатламида зарарсизлантирилган ҳаво рекуператор (4) қувурига келади ва ўз иссиқлигини ифлосланган ҳавога беради, ўзи эса чикиш трубопровод (8) орқали атмосферага чиқариб юборилади ёки ундан технологик жараёнда қуришиш омили ёхуд иссиқлик ташувчи сифатида фойдаланилади.

Конструкциянинг мураккаблигива металл сарфининг юқорилиги доимий катализатор қатламли ҳамда озроқ миқдорда органик аралашмалари бўлган газларни зарарсизлантиришда иссиқлик фойдаланиш учун тикланадиган реакторнинг камчиликларидир. Реактор узели жами ҳажмининг 5% дан камроғи катализатор улушига тўғри келади, қолганини эса иссиқлик алмаштиргич ва ҳар турли тақсимлаш қурилмаси ва ҳоказолар ташкил этади.

Нотурғун режимли газларни зарарсизлантирувчи каталитик реакторлардан фойдаланиш янги имкониятлар очиб беради. Нотурғун режимдан фойдаланиш усулларида бири катализатор



6.22-расм. Нотургун режимда газ отилмаларини зарарсизлантириш қурилмасининг схемаси ва катализатор қатламида узунлик (L) бўйича ҳароратнинг (T) вақт бўйича ўзгариши ($t_1 \dots t_4$): 1 – каталитик реактор, 2 – ишга туширувчи иситгич; 3 – узиб уловчи клапанлар блоки (4–7). Туташ ва узик миллиар-жараённинг турли циклларида оқимнинг йўналишларини кўрсатади.

қатламида газ бериш йўналишини алмашиб улаш бўлиши мумкин. Бунни куйида эътиборингизга ҳавола этаётган чизмада кўриш мумкин (6.22-расм).

Реакторда (1) катализатор дастлаб ишга туширувчи иситгич (2) ёрдамида газ оқими билан қиздирилади. Қатлам қиздирилганидан сўнг зарарсизлантирилган газ паст ҳароратда туташ миллиар билан кўрсатилган йўналишда узатилади, бунинг учун блокда (3) клапанлар (5 ва 6) очилиб, клапанлар (4 ва 7) беркитилади. Газ реакторнинг юқорисидан пастга томон ўтади. Совуқ газ ўз йўналиши бўйича қатламнинг дастлабки қисмларини совутиб, катализаторнинг қайноқ қатламида қизиб, газ етарли даражада қизиган қатлам кесимида аралашмалар оксидланишининг экзотермик реакцияси кечади (реакция зонаси) ва қатлам ҳарорати кўтарилади. Вақт ўтган сайин реакция зонаси қатламдан чиқиш (паст) томон ҳаракатланади. Қатламдаги ҳарорат профилининг ўзгариши юқорида берилган чизмада (6.22-расм) ўз ифодасини топган. Реакциянинг қайноқ зо-

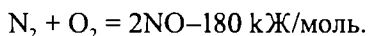
наси катламдан чиқишга яқинлашганда (чизмада t_1 вақти) реактордаги газ оқимининг йўналиши тескари томонга йўналтирилади, бунинг учун 5- ва 6-клапанлар ёпилиб, 4- ва 7-клапанлар очилади. Газ оқими, чизмада узук-узук миллар воситасида кўрсатилганидек (катламда юқоридан пастга) йўналади. Совук оқим яна катализатор катламининг кизитилган қисмига келиб тушади ва реакциянинг қайноқ зонаси қарама-қарши йўналиш бўйлаб (юқорига) сурилади. Реакция зонаси катламдан чиқиш ерига яқинлашганда, реактордаги оқим йўналиши яна қарама-қарши томон ўзгаради. Шундай қилиб, реакциянинг ҳаракатланувчан қайноқ зонасидаги катламда жамғарилган иссиқликни сақлаш ва газни паст чиқиш ҳарорати билан қайта ишлаш имкони туғилади. Зарарсизлантириш реакторида (6.8-жадвал) нотурғун режимни қўллаш самарадорлиги иссиқлик алмаштириш ускуналарининг зарурияти йўқлиги ҳисобига капитал маблағларнинг ҳамда ёқилғи сарфининг камайтирилиши туфайли фойдаланиш харажатларининг тежалишига асосланган. Газларни зарарсизлантиришнинг баён этилган нотурғун усули, агар йўқотиладиган таркибий қисмлар концентрацияси вақт ўтган сари ўзгарадиган бўлса, жараёни бошқаришнинг ғоят ишончли ва анчагина мураккаб тизимини тақозо этади. Бундан ташқари, газ ҳаракат йўналишининг ўзгариши вақтида тизим ҳажмининг йўналиш ўзгаргунига қадар бирламчи газ ўтиб келган ва йўналиш ўзгарганидан кейин зарарсизлантирилмаган моддалар пуфлаб чиқариладиган қисмидан зарарли моддаларнинг бараварига отилиши рўй беради.

6.8-жадвал

ГАЗЛАРНИ ЗАРАРСИЗЛАНТИРИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ ҚИЁСИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ

Кўрсаткич	Турғун режим	Нотурғун режим
Газ сарфи, $\text{м}^3/\text{соат}$	16500	16500
Аралашмалар концентрацияси, $\text{г}/\text{м}^3$	5 – 10	5 – 10
Цикл вақти, дақиқа	–	40 – 100
Капитал сарфлар, шартли бирлик	1,0	0,23
Солиштирама фойдаланиш сарфлари, шартли бирлик	1,0	0,33
Ёқилғи сарфи, МЖ/соат	3,0	–

Газларни азот оксидларидан каталитик тозалаш. Кимё са-
ноатида кетувчи газлардаги азот оксидлари отилмалари азот кис-
лотаси ишлаб чиқаришда ҳамда технология псчлари ўтхоналарида
ёқилғи ёнганида кузатилади. Ўтхоналарда азот оксидларининг
ҳосил бўлиши юқори ҳароратларда ҳаво азотининг оксидланиши
натижасида рўй беради;



Ҳосил бўлган азот оксидларининг NO_x концентрацияси ёниш
зонасидаги ҳароратга ва ҳаво мўллигига боғлиқ. Ана шу ҳар иккала
омил (ҳароратнинг кўтарилиши ва ҳавонинг мўллиги) азот оксид-
ларининг ҳосил бўлиши учун қулайлик яратади. Табиий газ ёнди-
рилганда ёниш маҳсулотларида ҳаво мўл бўлган $a = 1,2$ шароитида
 $0,3-0,4 \text{ г/м}^3$ миқдорида NO_x ҳосил бўлади, $a = 1,05$ бўлган тақдирда
эса унинг миқдори $\text{NO}_x = 0,15 \text{ г/м}^3$ ни ташкил этади.

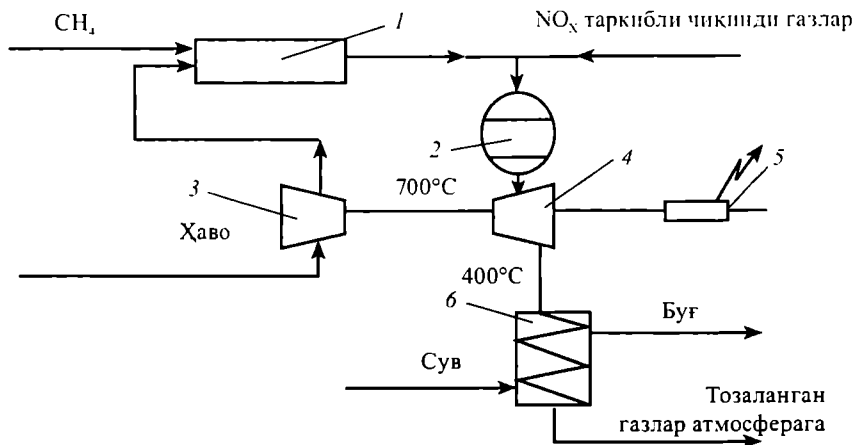
Саноат амалиётида газларни зарарсизлантириш учун табиий газ
($T \geq 500^\circ\text{C}$ шароитида) ёки аммиак ($T < 500^\circ\text{C}$ шароитида) билан азот
оксидларининг молекуляр азот ва сувга қадар каталитик тикланиш
(қайтарилиш) усуллари қўлланилади.

Табиий газ ёрдамида азот оксидларини тиклашнинг юқори
ҳароратли жараёнининг якуний реакциясини қуйидаги тарзда ифо-
далаш мумкин;

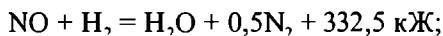
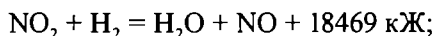


Ушбу жараёнда катализаторлар сифатида алюминий оксидига
киритилган Pt, Pd, Ni, Si, Cr, Fe металлларидан ва Ni–Cr, Cu–Cr, Zn–
Cr ва бошқа котишмалардан, силикагелдан фойдаланилади. Азот
кислота ишлаб чиқаришда чиқинди газлар АПК-2 катализаторида
зарарсизлантирилади (Al_2O_3 , 2 % Pd билан бирга). Реакторда NO_x ни
тиклаш жараёни $720-770^\circ\text{C}$ ҳароратда ва газнинг ҳажмий тезли-
ги $15000-25000 \text{ соат}^{-1}$ бўлган шароитида амалга оширилади. Азот
оксидларининг қолдиқ миқдорида $0,002-0,008\%$ (ҳажм бўйича)
стехиометрия жиҳатидан табиий газнинг мўллигида эришилади.

Юқори ҳароратли жараёнда тиклагич (қайтаргич) сифатида во-
дордан ҳам фойдаланиш мумкин:



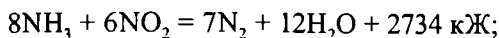
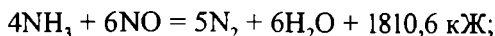
6.23-расм. NO_x азот оксидларидан чиқинди газларни юқори температурали зарарсизлантириш энергия технологик схемаси: 1 – ёндириш камераси; 2 – редутор; 3 – компрессор; 4 – турбина; 5 – электрогенератор; 6 – утилизатор қозони.

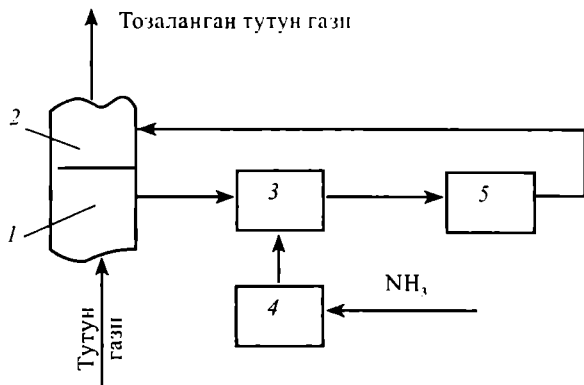


Кетувчи газларни азот оксидларидан тозалашнинг энерготехнологик схемасида жараёндаги ортиқча иссиқликдан газ турбина қурилмасида ҳамда тиклаш қозонларида фойдаланиш кўзда тутилади (6.23-расм).

Мазкур схемада табиий газ (CH_4) ва ҳаво шунча миқдорда юбориладики, токи ҳаводаги барча кислород ёниш камерасида мстаннинг ёнишига ва кетувчи газларнинг зарурий ҳароратгача кизишига сарфлансин. Бироқ табиий газ озроқ ортиқчаси билан юборилади – ёниб улгурган CH_4 реакторда (4) азот оксидини N_2 га қадар тиклайди. Ёнувчи газлар энергияси турбинада ҳаво компрессори юритмасида ва фойдаланишига тиклаш қозонида буг олишда фойдаланилади.

Аммиак воситасида азот оксидларини молекуляр азот даражасида каталитик тиклашнинг **паст ҳароратли жараёни** 200–350°C ҳароратда кечади:





6.24-расм. Тутун газларини азот оксидларидан тозалаш схемаси:
1 – дудбурон; 2 – тўсик; 3 – аммиакни тутун газ билан аралаштиргич;
4 – аммиакни дозалаш блоки; 5 – реактор.

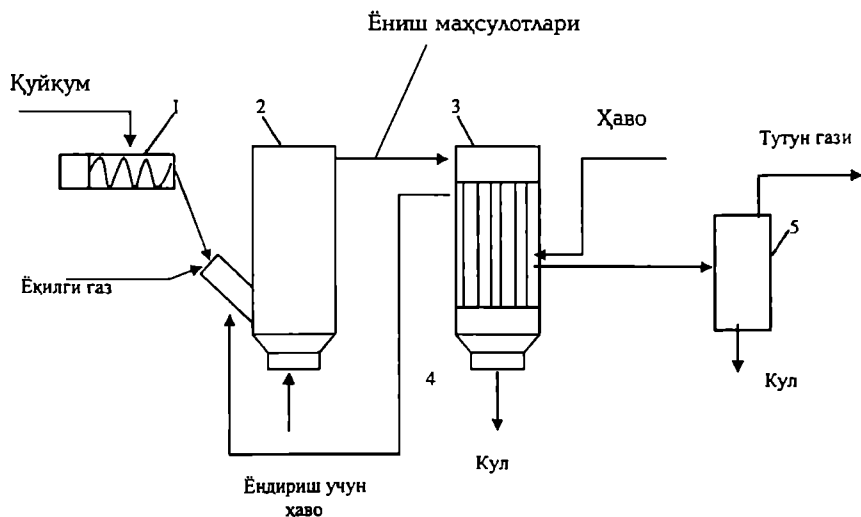
NO_x ни селектив тиклаш катализатори сифатида Pt, MgO, V_2O_5 , CuO, Cr_2O_2 ва бошқа металл оксидларидан фойдаланилади. АВК-10М алюмованадий контактда тозаланаётган газнинг ҳажмий тезлиги 15000 соат^{-1} ҳаво мўллиги 20% бўлганида, тозаланиш даражаси 98–96% га етади ва азот оксидларининг қолдиқ миқдори 0,002–0,003%ни (ҳажм бўйича) ташкил этади. Юқоридаги схемада (6.24-расмда) чиқиб кетаётган ёниш маҳсулотларини тозалаш вариантлари берилган.

Дудбуроннинг (1) қуйи қисмига келадиган тутун газни бир мунча совийди (200°C га қадар) ва аралаштиргичда (3) аммиак билан аралашади. Аммиакнинг керакли миқдори дозатор (4) томонидан ростлаб турилади. Аммиакли газ реакторга (5) келиб тушади ва унда азот оксидлари аммиак таъсирида азотга қадар тикланади. Тозаланган (аникроги зарарсизлантирилган) тутун газлари дудбуронга (1) қайтади ва атмосферага чиқариб юборилади. Тозаланмаган ва тозаланган газни тўсик ажратиб туради. 1000 н.м^3 газни тозалаш учун NO_x дастлабига 0,1% ни ташкил этганида аммиак сарфи 0,85–0,9 килограммни ташкил этади.

6.2.7. Кимё корхоналари қуйқумларини (шламларини) фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш

Қуйқумлар кимё ва нефт кимёси корхоналарининг энг кенг тарқалган чиқиндилари туркумига киради. Нефт қуйқумлари нефтни қайта ишлаш чоғида дастлабки нефтда мавжуд бўлган қаттиқ аралашмалар ҳисобига ҳосил бўлади. Бир тонна қайта ишланадиган нефтдан чиқадиған қуйқумлар 7–10 килограммни ташкил этади. Корхоналарнинг жами қуйқум тўплагичларида 5 млн. тоннадан зиёд нефт қуйқуми тўпланган. Қуйқумларда тўпланган 10–56% (мас.) нефт маҳсулотлари, 30–85% (мас.) сув ҳамда 13–46% (мас.) қаттиқ аралашмалар мавжуд.

Бундай чиқиндилар қуйқум тўплагичларда сақланганда қатлашиб, юқори қатлам (нефт маҳсулотларининг сувдаги эмульсияси), ўрта қатлам (нефт маҳсулотлари ва муаллақ зарралар билан ифлосланган сув) ва қуйи қатлам (нефт маҳсулотлари шимилган қаттиқ фаза) ҳосил бўлади.



6.25-расм. Нефт қуйқумларини ёкиш учун қурилма схемаси:

1 – шнек насос, 2 – сохта қайнайдиған қатламли печ,
3 – иссиқлик алмаштиргич, 4 – ҳаво пурақигич, 5 – циклон.

Нефт куйкумларини қайта ишлаш ва уларда мавжуд бўлган нефт маҳсулотларини фойдаланиш учун ишлашнинг кўплаб усуллари ишлаб чиқилган: дастлабки сувсизлантириш, сувли куйкумни термик куриштиш ва нефт маҳсулотларини дастлабки нефт билан биргаликда қайта ишлаш, сувсизлантирилган ёки қисман сувсизлантирилган куйкумни газлаштириш; эмульсия тарзида ёқиш ва иккиламчи энергия ресурслари иссиқлигидан фойдаланиш; курилиш материаллари (керамзит) ишлаб чиқаришда шламларни фойдаланиш учун тиклаш.

Куйкумни сохта қайнайдиغان катлам билан печда ёқиш куйкумни фойдаланиш учун тиклашнинг энг кенг тарқалган усулларидандир (6.25-расм).

Куйкум шнекнасос (1) билан реакторга (2) юборилади. У билан бирга ёнишни таъминлайдиغان ҳаволи табиий газ ҳам юборилади. Реакторда пастдан юбориладиган ҳаво ёрдамида сохта қайнаш ҳосил бўлади. Ёниш маҳсулотлари иссиқлик алмаштиргичда (3) ҳаво таъсирида совутилади, бу ҳаво иссиқлик алмаштиргичдан кейин реакторга ўтади. Кул иссиқлик алмаштиргичда қисман ажралиб, ундан чиқариб юборилади. Кулнинг асосий қисми циклонда (5) тутун газларидан ажралади. Механик аралашмалари кўп бўлган (70% гача) куйкумларни ёқиш учун кўп таг қисми ва барабансимон айланма печлар қўлланилади.

Нефт куйкумини ёқишда кўшимча ёқилғи сарфлаш талаб этиладики, бу ҳол жараёни анча қимматлаштириб юборади. Шунинг учун иссиқликдан юқори даражада фойдаланиш қурилмалар самарадорлигини оширишнинг асосий йўналиши бўлиб хизмат қилади.

6.2.8. Ўта заҳарли ва радиоактив чиқиндиларни зарарсизлантириш

Ўта заҳарли чиқиндилар гуруҳини ташкил этувчи бирикмалар ҳақида юқорида фикр билдирилган эди. Дарвоқе, барча ҳолларда ўта заҳарли чиқиндиларни зарарсизлантириш босқичи ниҳоявий бўлиб, ундан олдин чиқиндилардан фойдали таркибий қисмлар ажратиб олинади. Қимматли моддаларни тиклашда ҳар турли физик-кимёвий усуллардан фойдаланилади: буғлантириш, адсорбция,

ионалмашиш, экстракция, чўктириш, ультрафилтрация ва хоказо. Чикиндиларни физик-кимёвий қайта ишлашнинг аксариятида бирон-бир қимматга эга бўлмаган ва чиқиндиларнинг ўта заҳарли қисмн сифатида йўқотиб юборилиши лозим бўлган янги қаттиқ ёки қуйқумсимон қолдиқлар вужудга келади.

Ўта заҳарли чиқиндиларни йўқотиш усуллари орасида, кўмиш майдонлари, қуйка омборлари, чуқур ер ости қудуқларига кўмиш ёки хайдаш ва ёқиш усуллари кенг тарқалган.

Чикиндиларни кўмиш майдонлари ер ости иншоотлари бўлиб, уларнинг вазифаси ўта заҳарли чиқиндиларни олдиндан тайёрлаб, ерга кўмишдир. Бундай майдонлар таркибига иссиқлик фойдаланиш учун тикланадиган ёндириш печлари ҳам қиради. Кўмиш майдонлари аҳоли яшаш жойларидан узоқда жойлашади. Кўмиш майдонлари учун жой белгилашда чиқиндиларнинг таркиби ва физик-кимёвий хусусиятлари ҳисобга олинади ҳамда сув ости сувлари ифлосланишининг олдини олиш чоралари қўрилади (бетонлаш, чиқинди тўплагичларни гидроизоляциялаш). Энг кенг тарқалган зарарсизлантириш усули бир хил чиқиндиларни бошқа хил чиқиндилар билан нейтраллаш ва қайта ишлаш бўлиб, бунда қийин эрийдиган бирикмалар олинади. Бундай усул таркибида мишьяк бўлган чиқиндиларга сульфидли чиқиндилар билан ишлов беришда қўлланилиб, бунда эримайдиган мишьяк сульфидлари ҳосил бўлади.

Ўта заҳарли чиқиндиларни зарарсизлантиришда қаттиқлаш усулидан фойдаланилади. Бу усул заҳарли қисмларни эримайди ва бирикмаларга айлантиришни ҳамда таркибидан заҳарли аралашмаларни сув ювиб кета олмайдиган блокларни (агломератларни) ҳосил қилишни ўз ичига олади. Қаттиқлаш усули таркибида оғир металллар, симоб ва заҳарли қуйқалар ҳамда чўқиндилар бўлган чиқиндиларни зарарсизлантиришда қўлланилади. Чиқиндиларни қаттиқлаш уларни махсус ажратилган майдонларда бехатар сақлашни таъминлайди, шунингдек, сув ости сувлар ифлосланишининг олдини олади. Мазкур усул чиқиндига боғловчи қисмлар (цемент, оҳак), битум, парафин, органик полимерлар, силикат материаллар қўшиш воситасида амалга оширилади.

Шунингдек, **капсуллаш усули** ҳам кенг тарқалган, бунда заҳарли чикинди инерт материалдан ишланган материал билан қопланади (масалан, шишага айлангириш). Капсул материали грунт сувлари муҳитида юқори даражада коррозияга бардошли бўлиши ва кўмиладиган майдонда узок вақт сақлаш имконини бериши лозим.

Чукур қатламларда чикиндиларни кўмишда мавжуд қудуқлардан фойдаланилади ёки махсус равишда бир неча юз метрдан 4000 метргача чуқурликда қудуқ қавланади. Чикиндилар амалий аҳамиятга эга бўлмаган шўр сувли қатламларга, сизот сувлар қатламидан пастга жойлаштирилади. Қудуқ қавлаш учун жой танлашда ютилиш қатламининг геологик хусусиятлари (ғоваклиги, сингдирувчанлиги, герметиклиги ва ҳоказолар ҳисобга олинади). Шунингдек, артезиан сувларини муҳофаза этиш тадбирлари ҳамда қудуқлардан фойдаланиш шакллари ишлаб чиқилади.

Ёндириш ва пиролиз усуллари суюқ ва қаттиқ ўта заҳарли чикиндиларни йўқотишда қўлланилади. Мазкур усулларда чикиндилар ҳажмини 85% фоизга қадар камайтиришга эришилади. Ёндириш учун турлича конструкциядаги саноат печлари: камерали, шахта, барабан, циклон печлари ва сохта қайновчи қатламдан фойдаланилади.

Радиоактив чикиндилар мустақил чикинди гуруҳини ташкил этади. Уларнинг асосий фарқи шундаки, улар ядровий нобарқарор ҳолатда бўлади ва тирик организмларга ва бошқа биологик материалларга таъсир этувчи ионларни чиқаради.

Радиоактив чикиндиларни бир қатор белгилари бўйича таснифлаш қабул қилинган. **Агрегат ҳолати бўйича** суюқ, қаттиқ ва газсимон радиоактив чикиндиларга ажралади. Суюқ чикиндиларга, ҳақиқий эритмалардан ташқари коллоид эритмалар, суспензиялар ва пульпалар ҳам киради. Газсимон чикиндилар газлардан ташқари аэрозоллар, тутунлар ва туманларни ҳам ўз ичига олади.

Қаттиқ чикиндилар жумласига, радиоактив моддаларнинг ўзидан ташқари, улар ўзига ютган радиоактив моддалар ёки уларда иккиламчи ёки кириб қолган радиоактивлик вужудга келиши билан нурланган моддалар ҳам киради.

Солиштирма фаоллик даражаси бўйича радиоактив чикиндилар уч туркумга бўлинади: паст $1 \cdot 10^{-5}$ Ки/л), ўрта ($1 \cdot 10^{-5}$ дан

1 Ку/л) ва юқори (> 1 Ку/л) солиштирма фаоллик. Радио кимё саноатида чиқиндиларнинг дастлабки икки туркуми тарқалган, юқори фаолликка эга бўлган чиқиндилар эса атом электр станциялари учун хосдир.

Биринчи туркумдаги чиқиндилар киши организмнинг ичига кириб қолганидагина радиациявий хавфлидир, шунинг учун улар шундай маҳаллийлаштирилиши керакки, токи улар биологик занжир бўйлаб ҳаракатланиши натижасида киши организмга хавфли миқдорда тушиб қолмасин. Чиқиндиларнинг иккинчи туркуми ташқи нурланиш манбаи сифатида ҳам хавфли, шу боис нурланишдан ҳимоя қилиш ҳам зарур.

Ҳосил бўлиш манбаларига кўра чиқиндилар куйидагиларга бўлинади: нисбатан доимий миқдор ва сифат хусусиятларига (ҳажм, таркиб, фаоллик) эга бўлган радиокимёвий ишлаб чиқариш корхоналарининг технологик чиқиндилари: нотехнологик чиқиндилар, улар жумласига санитарияда фойдаланилган сувлар, хоналарни дезактивизациялаш сувлари ва ҳоказолар киради.

Радиокимёвий технологияда барча турдаги: газсимон, суюқ ва қаттиқ турдаги чиқиндилар ҳосил бўлади. Радиоактив газ ва аэрозоллар ҳаво газлари ва аэрозолларнинг нурланиши сабабли вужудга келади. Таркибида радиоактив элементлар бўлган ҳар қандай эритмалар, маъдан пульпалари суюқ радиоактив чиқиндиларнинг манбаи ҳисобланади. Қаттиқ радиоактив чиқиндилар жумласига радиоактив нурланиш таъсирига учраган куйқалар, радиоактив моддаларни сақлаш ва ташишда қўлланадиган идишлар киради. Ишланган ионалмашиниш катронлари ва адсорбентлар киради.

Ҳозирги вақтда фаоллик даражаси турлича бўлган радиоактив чиқиндиларни қайта ишлашнинг технологик схемалари ишлаб чиқилган бўлиб, улар одам ва атроф-муҳитнинг хавфсизлигини кафолатлайди.

Ҳавони радиоактив газлардан ва аэрозоллардан тозалаш учун куйидаги усуллардан фойдаланилади: ингичка толали полимер матода (перхлорвинил толалари 1,5–2,5 мкм), кийдирма учли филтрларда филтрлаш, эритмалар билан абсорбциялаш, қаттиқ сорбентларда адсорбциялаш. Бунда газ оқимларини тозалаш самардорлиги 99,9% га етади.

Суюқ радиоактив чиқиндиларни қайта ишлаш схемасини танлаш, хоҳ радиоактив элементлар, хоҳ бошқа таркибий қисмлар бўлсин, уларнинг солиштирма фаоллиги, ҳажми ва сифат таркибига боғлиқ бўлади. Дистиллаш, чўктириш, коагуляция ва ионалмашиниш усуллари энг кенг тарқалган. Суюқ чиқиндиларга ишлов беришнинг оддий ва ишончли усули кубсимон қолдиқдан иборат кичик бир ҳажмда радиоактив моддаларнинг тўпланиш имконини берувчи бўлимидир. Кўп марталаб буғлаш суюқлик фаоллигини 99,9% га пасайтириш имконини беради.

Радиоактив муаллақ моддаларни йўқотиш коагуляция усулида амалга оширилади, бунда суюқлик фаоллиги 97–98% га камаяди. Сўнгги йилларда радиоактив чиқиндиларни тозалаш учун электроанализ, кристаллаш, флотация усулларида фойдаланмоқда.

Суюқ, ўта фаол чиқиндиларни қайта ишлашда буғлаш, қаттиклаш (шишага айлантириш) ва геологик қатламларга кўмиш энг самарали усуллар деб эътироф этилган. Суюқ ўртача фаол чиқиндилар (олдиндан эритмалар билан буғлатиб) битумлаш усули бўйича қаттиқлаштирилади ва кўмиш учун юборилади. Паст фаол чиқиндилар кимёвий чўктириш ёрдамида қайта ишланиб, буғлатилади ва цементлаб, сўнг кўмилади.

Кўмиладиган майдонлар учун аҳоли турар жойларидан узоқ, хўжалик ёки бошқа мақсадларда фойдаланиш жиҳатидан истикболсиз бўлган ерлар танланади. Бу мақсадлар учун дўнглик ерлар қулайдир, зеро бундай ерларда радиоактив моддаларнинг сизот сувларга тушиши эҳтимолдан узоқ. Радиоактив чиқиндиларни кўмишнинг ишончилиги темир-бетон конструкциялардан «саркофаг»лар куриш билан таъминланади.

1. *Аболонин Б.Е., Кузнецова И.М., Харлампиди Х.Е.* Основы химических производств: Учебное пособие для вузов. М.: Химия, 2001. 472 с.
2. *Бесков В.С., Сафронов В.С.* Общая химическая технология и основы промышленной экологии: Учебник для вузов. М.: Химия, 1999. 472 с.
3. *Бесков В.С., Флокк В.* Моделирование каталитических процессов и реакторов. М.: Химия, 1991. 253 с.
4. *Васильев Б.Т., Отвагина М.И.* Технология серной кислоты. М.: Химия, 1985. 385 с.
5. *Кафаров В.В., Макаров В.В.* Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности. М.: Химия, 1990. 320 с.
6. *Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г.* Общая химическая технология: Учебник для вузов. 3-е перераб. и доб. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 528 с.
7. *Лебедев Н.Н.* Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза: Учебник для вузов. М.: Химия, 1981. 605 с.
8. *Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П.* Теория и практика химической энерготехнологии. М.: Химия, 1988. 280 с.
9. *Позин М.Е.* Технология минеральных удобрений: Учебник для вузов. Л.: Химия, 1983. 335 с.
10. Расчеты химико-технологических процессов. Учебное пособие для вузов/ Под ред. И.П. Мухленова. Л.: Химия, 1982. 247 с.
11. *Смирнов Н.Н., Волжинский А.И., Плесовских В.А.* Химические реакторы в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. СПб.: Химия, 1994. 280 с.
12. Справочник азотчика. В 2 ч. М.: Химия, 1986-1987.
13. *Стадницкий Г.В., Родионов А.И.* Экология: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1988. 272 с.
14. *Стванов В.С.* Анализ энергетического совершенства технологических процессов. Новосибирск: Наука, 1984. 273 с.
15. *Фролов Ю.Г., Белик В.В.* Физическая химия: Учебное пособие для вузов. М.: Химия, 1993. 464 с. Химическо-технологические системы: Учебное пособие для вузов /Под ред. И.П. Мухленова. М.: Химия, 1986. 423 с.

Кириш.....	3
I бoб. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ АСОСЛАРИ	
1.1. Кимёвий технология.....	9
1.2. Кимёвий технологиянинг ривожланиши хақида қисқача маълумот.....	11
1.3. Кимёвий ишлаб чиқариш.....	14
1.4. Кимёвий-технологик жараён.....	17
1.5. Кимёвий ишлаб чиқариш ва кимёвий-технологик жараён кўрсаткичлари.....	19
1.6. «Умумий кимёвий технология» предмети.....	23
II бoб. КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР ВА РЕАКТОРЛАР	
2.1. Кириш.....	24
2.1.1. Кимёвий реактор (умумий тушунча).....	24
2.1.2. Кимёвий жараёнлар ва реакторларни тадқиқ қилиш усулининг математик моделлаштирилиши.....	28
2.2. Кимёвий жараёнларнинг физик-кимёвий асослари.....	34
2.2.1. Кимёвий ўзгаришлар стехиометрияси.....	34
2.2.2. Кимёвий айланишлар термодинамикаси.....	42
2.2.3. Кимёвий реакциялар кинетикаси.....	52
2.2.4. Кимёвий жараёнлар синфланиши.....	57
2.3. Гомоген кимёвий жараёнлар.....	59
2.3.1. Оддий реакция.....	59
2.3.2. Мураккаб реакциялар.....	64
2.4. Гетероген кимёвий жараёнлар.....	67
2.4.1. Асосий тушунчалар.....	67
2.4.2. «Газ (суюқлик)-каттик» системаси.....	69
2.4.3. «Газ (суюқлик)-суюқлик» системаси.....	83

2.5. Катализтик кимёвий жараён.....	89
2.5.1. Катализ ва катализаторлар.....	89
2.5.2. Катализаторнинг говакли донаси.....	92
2.5.3. Катализаторнинг говакмас донаси.....	103
2.5.4. Иссиқлик ходисалари. Стационар режимлар сони ва уларнинг баркарорлиги	104
2.6. Кимёвий реактордаги жараёнлар.....	111
2.6.1. Кимёвий реактордаги жараённинг математик модели.....	111
2.6.2. Кимёвий реакторлар ва уларнинг математик моделлари классификацияси	117
2.6.3. Кимёвий реактордаги жараёнлар тахлили	120
2.7. Кимёвий реактордаги изотермик жараён.....	122
2.7.1. Даврий идеал аралашуш ва идеал сиқиб чиқариш режимлари	122
2.7.2. Оқар реакторда идеал аралашуш режими.....	133
2.7.3. Узлуксиз жараёнларда идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқаришни солиштириш.....	135
2.7.4. Реакторлардаги ноидеал режимлар.....	137
2.8. Кимёвий реактордаги ноизотермик жараён	141
2.8.1. Реакторда иссиқлик алмашилишни ташкил этиш ва температура режимлари	141
2.8.2. Даврий идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш оқимли иссиқлик алмашинувчи режимлар	143
2.8.3. Идеал аралашув оқим реакторида температура режимлари	149
2.8.4. Автотермик реактор.....	153
2.9. Саноат кимёвий реакторлари.....	155
2.9.1. Кимёвий реакторларни ҳисоблаш ҳақида умумий фикрлар.....	155
2.9.2. Кимёвий жараён ва реакторларни оптималлаш.....	158
2.9.3. Кимёвий реакторларнинг конструктив элементлари	168
2.9.4. Саноат кимёвий реакторлари схема ва конструкциялари	171

III бoб. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШЛАР

3.1. Кириш.....	184
3.2. Нефтни қайта ишлаш.....	185
3.2.1. Нефт кимёси комплексининг умумий тавсифи.....	185
3.2.2. Нефтни бирламчи ҳайдаш	188
3.2.3. Углеводородларнинг каталитик риформинги.....	190
3.2.4. Углеводородлар пиролизи билан олефинлар олиш	195
3.2.5. Этилбензол ва диэтилбензол ишлаб чиқариш	206
3.2.6. Стирол ишлаб чиқариш.....	212
3.2.7. Полиолефинлар ва полистирол ишлаб чиқариш	219

IV бoб. ЎҒИТЛАР ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

4.1. Ўғитлар ишлаб чиқаришнинг умумий структураси	230
4.2. Сульфат кислота технологияси.....	232
4.2.1. Умумий маълумотлар	232
4.2.2. Ишлаб чиқариш усуллари.....	233
4.2.3. Сульфат кислотаси ва олеум хоссалари.....	236
4.2.4. Сульфат кислотасини ишлаб чиқариш учун хом ашё	240
4.2.5. Олтингугурт	241
4.2.6. Бошқа турдаги хом ашёлар	242
4.2.7. Олтингугуртли хом ашёларнинг киёсий баҳоси.....	244
4.3. Олтингугурт диоксидини олиш	244
4.3.1. Колчеданни куйдириш	245
4.3.2. Олтингугуртли хом ашёни ёндиришда ишлатиладиган печлар.....	247
4.3.3. Газни аралашмалардан тозалаш	256
4.3.4. Тозалаш бўлимининг аппаратураси	258
4.4. Сульфат кислота ишлаб чиқаришнинг контакт усули.....	260
4.4.1. Олтингугурт тўрт оксидининг оксидланиши. Оксидланиш жараёнининг назарий асослари.....	260
4.4.2. Оксидланиш катализаторлари	263
4.4.3. Контакт аппаратлари	265
4.4.4. SO ₃ абсорбцияси	270

4.4.5. Ишлаб чиқаришнинг замонавий технологик схемалари. Иккиланган контактлашиш (ИК) ва иккиланган абсорбциялашиш (ИА) схемаси	273
4.4.6. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда иссиқликдан фойдаланиш	279
4.4.7. Сульфат кислота ишлаб чиқариш жараёнини автоматлаштириш	279
4.5. Нитроза усули билан сульфат кислота ишлаб чиқариш	283
4.5.1. Жараёнинг назарий асослари	283
4.5.2. Технологик схема.....	285
4.6. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда техника хавфсизлиги	287
4.7. Аммиак ишлаб чиқариш.....	289
4.7.1. Углерод оксидларидан тозалаш	299
4.7.2. Аммиак ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим	308
4.8. Азот кислотаси ишлаб чиқариш	310
4.9. Фосфат кислота ишлаб чиқариш	322

V боб. КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМАСИНИ ТАҲЛИЛ (АНАЛИЗ) ҚИЛИШ

5.1. Кимё-технология системасининг энергетик ва эксергетик самарадорлиги.	328
5.2. Энерготехнологик система.....	337

VI боб. САНОАТ ЭКОЛОГИЯСИ АСОСЛАРИ

6.1. Атроф-муҳит тизим кабидир.....	341
6.1.1. Экология ва саноат экологияси ҳақида умумий тушунчалар.....	341
6.1.2. Табиий ресурсларнинг истеъмол кўламлари.	347
6.1.3. Ишлаб чиқариш ва атроф-муҳитнинг ўзаро таъсири.....	351
6.1.4. Атроф-муҳит ҳолатини назорат қилиш.	356
6.1.5. Атроф-муҳит ифлосланишининг иқтисодий асоратлари.....	360
6.1.6. Чикиндисиз ишлаб чиқаришни барпо этишнинг асосий тамойиллари.....	362

6.1.7. Чикитсиз ишлаб чиқаришларнинг иктисодий самарадорлиги.....	368
6.2. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг экологик муаммолари.....	372
6.2.1. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг биосферага зарарли таъсирот турлари	372
6.2.2. Сув ресурслари ва кимёвий технология	377
6.2.3. Кимё саноати чиқиндилари ва уларни зарарсизлантириш усулларининг таснифи.	394
6.2.4. Қаттиқ чиқиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш.....	397
6.2.5. Суюқ чиқиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш.....	403
6.2.6. Газсимон чиқиндилардан фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш.....	412
6.2.7. Кимё корхоналари куйкумларини (шламларини) фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш	420
6.2.8. Ўта заҳарли ва радиоактив чиқиндиларни зарарсизлантириш.....	421
Тавсия этиладиган адабиётлар.....	426

Т. А. Отақўзиев, Қ. М. Аҳмеров, С. М. Туробжонов

УМУМИЙ КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ

Ўқув қўлланма

*Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим
вазирлиги томонидан ўқув қўлланма сифатида нашрга тавсия этилган*

Мухаррир: *А. Шаропов*
Техник муҳаррир: *А. Солизов*
Мусаххих: *Г. Азимова*
Компьютерда саҳифаловчи: *Э. Ким*

Нашриёт рақами: з – 146

Босишга рухсат этилди: 17.08.2009. Қоғоз бичими 60×84^{1/16}.
Шартли б.т. 25,11. Ҳисоб-нашриёт т. 23,5. Офсет усулида чоп этилди.
457-буюртма. 500 нусхада. Келишилган нархда.

ЎзР ФА «ФАН» нашриёти: 100170, Тошкент, И. Мўминов кўчаси, 9-уй.

«Niso Poligraf» ШК босмахонасида босилди. Тошкент, Ҳ. Бойқаро кўчаси, 41-уй.