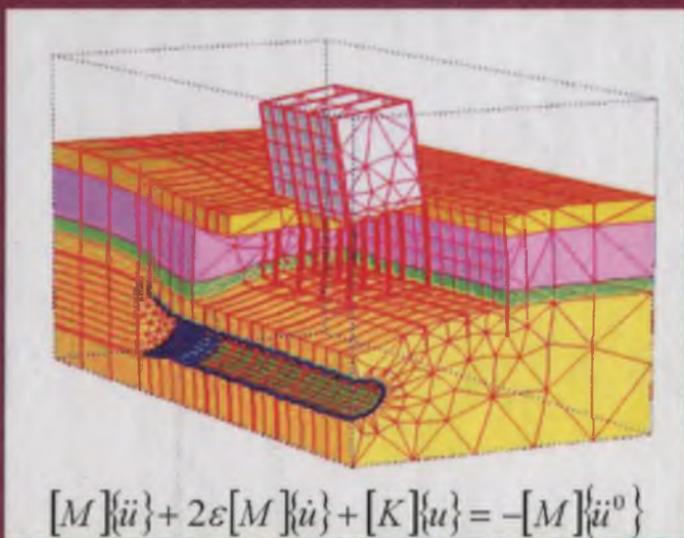


М.М. Мирсаидов
Т.З. Султанов

ИНШОТЛАР ЗИЛЗИЛАБАРДОШЛИГИ



М.М.МИРСАЙДОВ, Т.З.СУЛТАНОВ

ИНШОТЛАР ЗИЛЗИЛАБАРДОШЛИГИ



Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси
“Фан” нашриёти
Тошкент – 2012

624.04
У-56

УДК 624.042.7:699.841:627.8.042.7

КБК 38.79+26.21

M53

Монографияда zilzilaning fizik tabiati, seysmik taъsirning pайдо булиши va baъolaniши, zilzilaning salбий okibatlari хакида umумий маълумотлар келтирилган бу- либ, унда иншоотлар zilzilabarдошлигининг асосий назариялари, моделлари, ҳисоблаш усуллари va ҳисоб схемалари берилган. Иншоотларнинг динамик характеристикалари- ни ҳамда zilzila нагъжасида гидротехника иншоотига таъсир қиладиган сеysмик куч кийматларини мавжуд назариялар va меъърий ҳужжатлар асосида аниқлаш va уларнинг zil- zilabarдошлигини баъолашининг янги усуллари келтирилган.

Монография 5450100 – “Ирригация тизимларида сув энергиясидан фойдаланиш”, 5340700 – “Гидротехника қурилиши” таълим йўналишлари ҳамда 340000 – “Архитектура va қурилиш” таълим соҳасининг баъзи йўналишлари бўйича таълим олаётган бакалавр- лар учун мўлжалланган бўлиб, у магистр, аспирант va амалиёт муҳандислари учун ҳам фойдали бўлади.

В монографии описываются физическая природа землетрясений и их воздействие на сооружения. Анализируются основные теории, модели, методы расчета, расчетные схемы, способы определения динамических характеристик, сейсмических нагрузок на сооружения при различных динамических и сейсмических воздействиях с использованием указаний СНиПа. Приводятся традиционные и новые способы расчета различных гидротехнических сооружений на динамические и сейсмические воздействия. Дается оценка возможности использования сейсмопоясов для повышения сейсмостойкости сооружений.

Для бакалавров, обучающихся по направлениям 5450100 – “Использование водной энергии в ирригационных системах”, 5340700 – “Гидротехническое строительство”, 340000 – “Архитектура и строительство”, а также магистрантов, аспирантов и инжене- ров-практиков.

General information on physical character of an earthquake and its effects (seismic forces) on structures are given in the monography. Principal theories, models, methods of design, design schemes, means of determination of dynamic characteristics, magnitudes of seismic loads on structures under different dynamic and seismic effects are considered both according to well-known theories and Building Code. A number of examples of design of the simplest structures under dynamic and seismic effects are given. For the bachelors, who have a training course on scientific directions 5450100 – “The Use of Water Power in Irrigation Systems”, 5340700 – “Hydro-technical Engineering” and on a number of bachelors’ directions, 340000 – “Architecture and Engineering” and may also be useful for masters, post-graduate students and engineers who work at construction sites.

М а с ъ у л м у х а р р и р л а р :

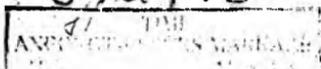
ЎзР ФА академиги, техника фанлари доктори, профессор **Г.Ш.Ширикқулов**
физика-математика фанлари доктори, профессор **К.С.Султонов**

Т а к р и з ч и л а р :

техника фанлари докторлари, профессорлар **К.Абдурашидов, А.Абдусаттаров,**
А.Арифжанов

ISBN 978-9943-19-189-1

© ЎзР ФА “Фан” нашриёти, 2012 й.



КИРИШ

Зилзила инсониятни узоқ даврлардан бери қизиқтириб келадиган, кам ўрганилган, ўта жиддий табиий ҳодисалар сирасига киради. Зилзилаларнинг келиб чиқиш сабаблари, уларни башорат қилиш усуллари бўйича олиб борилган кўп асрлик изланишларга қарамай, бу масалаларни етарли даражада ҳал этилган деб бўлмайди.

Ҳозирги даврда Ер тузилиши, унда кечадиган жараёнлар ва содир бўлган зилзилалар тўғрисида катта билимлар тўпланган. Мавжуд ахборотлар асосида тахмин этилган кучда содир бўлиши мумкин бўлган зилзилаларнинг хариталари тузилиб, иншоотларни сейсмик кучлар таъсирига ҳисоблаш усуллари яратилган.

Дунёда зилзилалар энг кўп содир бўладиган мамлакат – Япониядир. Унинг барча ҳудудлари сейсмик фаолияти юкори бўлган зона ҳисобланади. Бу ерда йилига 1500 мартага яқин ер силкинади, улардан камида биттаси ҳалокатли бўлади. Шу сабабли зилзилабардошликнинг илмий асосланган назариясини яратишга интилиш илк бор айнан Японияда амалга оширилган. XX асрнинг бошида япон олими Омори зилзилабардошликнинг статик назариясини яратди. Унинг назариясига кўра, иншоот грунтга мустақкам бириктирилган деформацияланмайдиган (абсолют қаттиқ) жисм деб қаралади. Замин тебранганида иншоот ҳам замин билан бирга тебранади, унинг барча нуқталарида замин билан бир хил тезланиш ҳосил бўлади. Бинобарин, инерция кучлари иншоот қисмларининг массаларига пропорционал равишда тақсимланади деб олинади. Лекин мазкур назария жиддий танқидга учраган. Унинг асосий камчилиги иншоот деформациясининг инобатга олинмаслиги, грунтнинг тебраниш қонуниятларини четлаб ўтиб, замин тезланишининг максимал қиймати билан кифояланиш эди. Бу ҳол иншоотга таъсир этувчи инерция кучлари қийматининг сезиларли даражада камайишига олиб келади. Қайд этилган камчиликларга қарамай, қатор мамлакатларнинг меъёрий ҳужжатлари замирида, то 1958 йилга қадар, айнан мана шу назария асос бўлиб келди.

Кучли зилзилалар оқибатларини тадқиқ этиш конструкция материалининг деформацион хусусиятларини, бикирлик ва массаларнинг иншоот баландлиги бўйлаб тақсимланишини, сўниш характеристикаларини,

сейсмик кучлар таъсирининг динамик характери, ва шунингдек, резонанс ҳолати вужудга келиши эҳтимолдан холи эмаслигини ҳисобга олмаслик мумкин эмаслигини кўрсатди.

XX асрнинг 20-йилларида зилзилабардошлик назарияси япон олими Мононобе ва немис инженерери Бриски ишларида ўз ривожини топди. Улар иншоотни заминга маҳкамланган эластик жисм сифатида қабул қилиб, динамик назарияга асос солдилар. Ушбу назария кейинчалик К.С.Завриев, А.Г.Назаров, И.Л.Корчинский, И.И.Голденблат, С.В.Медведев, М.Т.Ўразбоев, В.Қ.Қобулов, Ш.Г.Наветваридзе, Т.Р.Рашидов, Т.Ш.Ширинқулов, В.Т.Расказовский, Қ.С.Абдурашидов, С.В.Поляков, Я.М.Айзенберг, Э.Е.Хачиян ва бошқаларнинг назарий ва экспериментал йўналишларда олиб борган фундаментал ишларида ўз ривожини топди. Олинган илмий натижалар ҳозирги пайтда қатор мамлакатларнинг зилзилабардош қурилишга оид меъёрий ҳужжатларида кенг қўламда фойдаланилмоқда.

Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикасида конструкцияларни динамик кучлар таъсирига ҳисоблаганда Даламбер принциpidан фойдаланилади. Бу принципга кўра, вужудга келадиган инерция кучини ҳисобга олган ҳолда вақтнинг ҳар бир дақиқасида динамик кучни статик куч тариқасида қабул қилиш мумкин. Бунда, иншоотга таъсир этадиган динамик юкнинг қиймати статик юк қийматини динамик коэффициентга кўпайтириш йўли билан аниқланади. Ҳар бир иншоот ўзининг хусусий тебраниш частоталарига ва тебраниш шаклларига эга. Бу частоталар ва шакллар тўплами (мажмуаси) частоталар ва шакллар спектри деб аталади. Зилзилабардошликни баҳолашда ҳар бир шакл учун ўзига мос динамик коэффициент ҳамда иншоотга таъсир этувчи сейсмик куч аниқланади.

Ҳисоблашнинг ушбу усули асосини ташкил этган назария чизикли-спектрал назария деб аталади. Бу назария сейсмик кучларни аниқлашда жуда муҳим ҳисобланган иншоотнинг хусусий тебраниш частоталари, унинг тебраниш шакллари ҳамда тебраниш декрементлари сингари қатор зарурий миқдорларни маълум даражада инобатга олади.

Ҳозирги вақтда ушбу назария ва ҳисоблаш усули қурилиш меъёриларида кенг қўлланилади, шунинг учун ҳам мазкур китобда бу омилларга алоҳида эътибор берилган. Шу назария бўйича ҳисоблашда иншоотларнинг хусусий тебраниш частоталари ва шаклларини аниқлаш асосий масала бўлиб, ўз йўлида мустақил ва айни бир пайтда қийин масалалардан ҳисобланади. Ҳар қандай реал объектлар ҳисоби каби, чизикли-спектрал назария бўйича ҳисоблар ҳам тақрибий саналади. Ҳисобларнинг аниқлик

даражаси хусусий тебраниш частоталари ва шакллари аниқлашда қабул қилинган ҳисоблаш схемасига боғлиқ, бу фикрлар айниқса грунтли тўғонларни ҳисоблашга кўпроқ алоқадор.

Грунтли тўғонларни сейсмик таъсирларга ҳисоблашдаги аниқлик грунтнинг хусусиятларини, иншоотнинг конструктив тузилишини тўғри акс эттиришдан ташқари, грунтли иншоотнинг мустаҳкамлигига тўғри баҳо беришга ҳам боғлиқ. Бу ҳол сейсмик таъсирлар характерини ҳисобга оладиган, энг мураккаб масалаларни еча олиш имкониятига эга бўлган ҳисоблаш техникасидан кенг фойдаланиш имконини берадиган мукамалроқ ҳисоблаш усулларини яратишни талаб қилади.

Мазкур китоб турли иншоотлар учун ҳисоблаш усулларини яратиш ва уларнинг мустаҳкамлигини ҳамда зилзилабардошлигини тадқиқ этишга бағишланган бўлиб, бунда грунтли тўғонларга алоҳида эътибор қаратилган.

Ушбу монография маълум илмий натижалар билан бир қаторда А-5-098 ва КХ-4ФТ-02, КХА-15-033, КХФ-4-001 грантлари асосида Тошкент ирригация ва мелиорация институтининг “Назарий ва қурилиш механикаси” кафедраси ходимлари томонидан олинган янги илмий натижалар ҳам ўз аксини топган. Бу эса талабаларга ЭҲМ ёрдамида бажариладиган замонавий ҳисоблаш усуллари билан танишиш имкониятини беради.

Муаллифлар ушбу монографиянинг иккинчи бобини ёзишда фаол қатнашгани учун Тошкент ирригация ва мелиорация институтининг доценти А.М.Годованниковга ва китобни ўқув қўлланма нуқтаи назардан кўриб чиқиб, ўзининг танқидий фикр ва мулоҳазаларини билдиргани учун Тошкент архитектура ва қурилиш институтининг доценти Б.А.Хабировга ўз миннатдорчиликларини билдиради.

Ушбу монография ўқув қўлланма сифатида ҳам фойдаланилишини назарда тутган ҳолда қайта ишланиб, кўп янги материаллар билан тўлдирилганлиги туфайли рус тилида чоп қилинган “Сейсмостойкость сооружений” (Тошкент: Ўзбекистон, 2008. - 220 бет) номли ўқув қўлланмадан тубдан фарқ қилади.

Хурматли ҳамкасблар! Мазкур монография ҳақидаги фикр ва мулоҳазаларингизни қуйидаги манзилга юборишингизни илтимос қиламиз: 100000, Тошкент ш., Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тошкент ирригация ва мелиорация институти, “Назарий ва қурилиш механикаси” кафедраси.

E-mail: theormir@mail.ru тел.:(8-371) 237-09-81.

Зилзилаларнинг физик табиати ва уларнинг таъсири ҳақида умумий маълумотлар

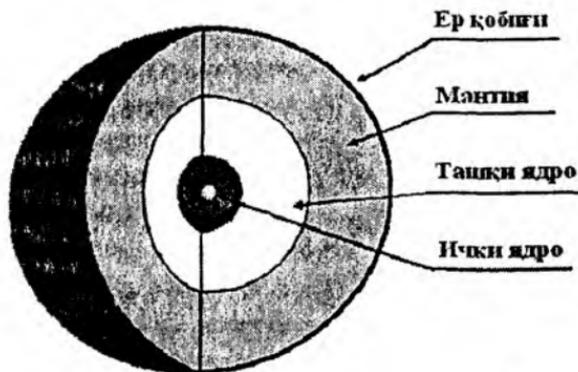
1.1. Ер шарининг тузилиши, ундаги ҳарорат ва босим ҳақида умумий маълумотлар

Зилзила – бу ўта аянчли фалокатларни келтириб чиқарувчи табиий офатлардан бири бўлиб, у жуда катта худудлардаги бино ва иншоотларни ер билан яксон қиладиган, ўн ва юз минглаб инсонларни ҳаётдан олиб кетадиган офатдир.

Ҳар қандай зилзила жуда қисқа вақт ичида маълум ҳажмни эгаллаб турган тоғ жинсларининг узилиши (синиши) натижасида ажраладиган катта энергиянинг натижасидир. Бу узилиш содир бўлган ҳажмнинг чегараларини аниқлаб бўлмайди, чунки у тоғ жинсларининг тузилишига ва улардаги кучланиш-деформацияланиш ҳолатига (КДХ) боғлиқдир. Тоғ жинсларида зилзила натижасида ҳосил бўладиган узилиш тез ўзгарувчан деформацияларни пайдо қилади. Бунинг натижасида пайдо бўлган энергия сейсмик тўлқинлар бўлиб тарқалади. Натижада, ер сиртида ва ер остида ҳар хил турткилар, силкинишлар (яъни тебранишлар) содир бўлади. Зилзиланинг кучи ва ажраладиган энергиянинг миқдори ер қобиғидаги деформацияланган жинсларда узилиш содир бўлган ҳажмнинг катта-кичиклигига боғлиқ.

Зилзиланинг табиати тўғрисида тўлароқ тасаввурга эга бўлиш учун Ер шарининг шакли, ўлчамлари ва ички тузилишини чуқурроқ билиш талаб қилинади.

Ер шарининг тузилиши. Ер шари сиқилган сфероид кўринишидаги қаттиқ жисмдан иборат бўлиб, унинг экватор бўйича радиуси ≈ 6378 км, қутб бўйича ≈ 6356 км ни ташкил этиб, экватор бўйича айлана узунлиги $\approx 40\,000$ км га тенг.



1.1-расм. Ер шарининг тузилишининг схематик кўриниши

Соддалаштирилган схемада Ер шарини табиатан кескин фарқ қилувчи тўртта қатламдан иборат деб қараш мумкин (1.1-расм). Ички ядро ернинг марказий қисмини ташкил этиб, радиуси 1200 км, ҳажмий оғирлиги $12,5 \text{ гк/см}^3$ бўлган қаттиқ жисмдан иборатдир. Ташқи ядро эса ер сиртидан қаралганда 2900 – 5000 км чуқурлик орасида жойлашган, ҳажмий оғирлиги 10 гк/см^3 бўлган суёқ жисмдан ташкил топган. Мантия – бу ер сиртидан 33 – 2900 км оралиқда жойлашган қаттиқ қатламдир. Ер қобиғи (қурраси) тузилиш жиҳатидан отилиб чиққан тоғ жинслари (гранит, базалт) дан иборат бўлиб – бу биз яшайдиган қатламдир. Унинг қалинлиги 5 км дан бошланиб, 60 км гача бориши мумкин. Бу қатламнинг ўртача қалинлигини кўпинча 33 км деб қаралиб, материалнинг ўртача ҳажмий оғирлиги эса $2,67 \text{ гк/см}^3$ ни ташкил қилади.

Инженерлик нуқтаи назаридан қаттиқ жисмдан иборат бўлган ер қобиғи ковушқоқ, эластик-пластик хусусиятга эга бўлган материалларга тўғри келиб, биз учун кўпроқ қизиқиш уйғотади.

1.1.2. Ҳарорат ва босим

Ер марказига яқинлашган сари ҳарорат ҳам, босим ҳам ортиб боради. Ўтказилган текширишлар ва қазилган ишлари орқали олинган маълумотлар буни исботлайди. Бу борада олиб борилган ишларнинг энг аҳамиятлиси, яъни қазилган ишлари бўйича рекорд чуқурлик РФ давлатига тўғри келиб, эришилган энг катта натижа 12350 м ни таш-

кил қилади (Камчаткада, 2010 й). Шундай тажрибаларга асосланиб аниқланган маълумотлардан кўринадики, 14 км чуқурликда жойлашган тоғ жинсларидаги ҳарорат 300°C , босим эса 4 тк/см^2 ни ташкил қилади. Янада чуқурлашган сари, яъни 100 км чуқурликда ҳарорат $1000 - 1500^{\circ}\text{C}$, 700 км чуқурликда – 2000°C га яқин бўлиб, ядро марказида $4000 - 4500^{\circ}\text{C}$ ни ташкил этади. Мантиянинг юқори қисмида босим 9 тк/см^2 , ядронинг ташқи қатламида 1440 тк/см^2 , ядро марказида 3700 тк/см^2 га яқин.

Бундай катта босим ва ҳарорат ўз навбатида геотектоник ҳодисаларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Масалан, 70 км гача чуқурликда жойлашган кўп зилзилалар учун сейсмик тўлқинлар ер қобиғининг маълум бир участкаларида содир бўладиган узилишлар (синишлар) натижасида пайдо бўлади. Яъни, тоғ жинсларининг шу участкаларида ҳосил бўладиган кучланишларнинг қиймати, материал бардош бериши мумкин бўлган кучланишларнинг қийматидан ошиб кетади. Натижада тоғ жинсларида ёриқлар пайдо бўлиб, узилиш (синиш) рўй беради, бу эса сейсмик тўлқинларни пайдо қилади.

1.2. Зилзилаларнинг келиб чиқиш сабаблари ва механик шаклланиши

Ер қобиғини шартли равишда нисбатан юпқа плита ёки платформалардан ташкил топган ва улар мантия сиртида “сузиб” юради, деб ҳисоблаш мумкин. Мантиянинг юқори қатлами доимий равишда ҳаракатда бўлади, бу ҳол плиталарнинг доимий силжишига олиб келади. Рельефнинг тектоник (грекчада тектоника – қурилиш дегани) ўзгаришлари айнан плиталарнинг ҳаракати билан боғлиқ. Бу жараёнлар “геологик” соатлар бўйича, яъни жуда секин содир бўлади. Мазкур жараёнларнинг вужудга келиши тўғрисида қатор гипотезалар (тахминлар) мавжуд, лекин уларнинг бирортаси ҳам бундай мураккаб ҳодисаларни тўла-тўқис изоҳлаб бера олмайди.

1600 йилда Европа ва Америка қитъаларининг ҳақиқатга яқинроқ карталари тузилгандан кейин, даставвал Ер шари куруқликда битта материк – Пангея ва уни қуршаб турувчи битта океан – Тетисдан иборат бўлган, деган фикр пайдо бўлган.



**1.2-расм. Жанубий Америка ва Африка қитъалари қирғоқлари
иқинлаштирилганда бир-бирига мос келиши**

1912 йилда немис олими Алфред Вегенер қитъалар ҳаракати тўғрисидаги ўзининг назариясини эълон қилиб, қачондир барча қитъалар бир бутун бўлган деб ҳисоблашига Жанубий Америка ва Африка қирғоқларини бир-бири билан солиштирилганда айнан мос келиши биринчи асос бўлган (1.2-расм).

Бу назариянинг исботи сифатида иккала қирғоқлардаги тоғ жинслари қатламларининг бир хиллигини ва бошқа тасдиқловчи асосларни келтирган. Шунга асосан, тахминан 135 миллион йил илгари Пангея икки қитъага – шимолий (Лавразия) ва жанубий (Гондванна) қитъаларга ажралган, деб хулоса қилинган.

Шу ўринда бундан 1000 йил илгари буюк мутафаккир Абу Райҳон Беруний айтган бир фикрни эслаб ўтишни жоиз деб ҳисоблаймиз: “Қитъалар гўё сув сатҳида сузиб юрган дарахт барглари сингари бир-бири томон яқинлашиб ёки узоқлашиб секин ҳаракатда бўлади”. XX асрда америка олимларининг космик кемаларда фазодан туриб олиб борган кузатувлари Берунийнинг фикри тўғри эканлигини тўлиқ тасдиқлади.

Қитъалар доимо ҳаракатда бўлиб, уларнинг бўлиниш ва силжиш жараёни ҳозир ҳам давом этмоқда. Масалан, Лондон ва Нью-Йорк орасидаги масофа йилига ўртача 1 см га ортиб бормоқда, бошқа

шаҳарлар орасидаги масофа эса, аксинча, кисқармоқда. Олиб борилаётган кузатувлар натижасига кўра, ҳар йили китъаларнинг бир-бирига нисбатан силжиши 5–7 см ни ташкил қилади.

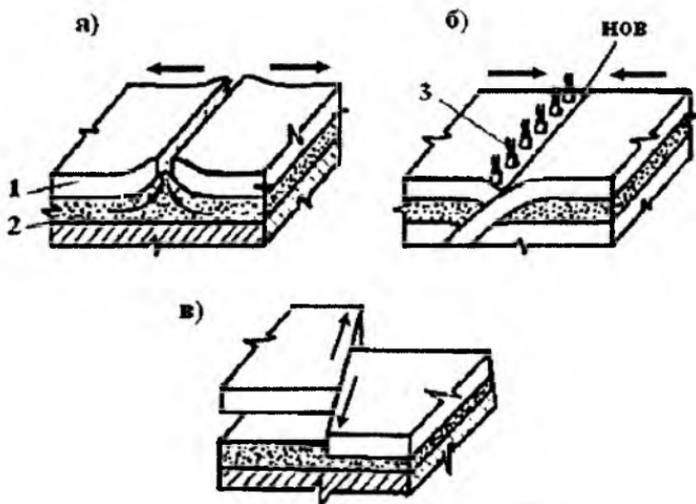
Тектоник назарияга кўра, ер сирти тахминан 20 та алоҳида бўлақлардан, яъни плиталардан иборат деб қаралади. Бу плиталарнинг калинлиги тахминан 70 км атрофида бўлиб, литосферанинг калинлигига тенгдир. Литосфера – ернинг қаттиқ ташқи қобиғи бўлиб, у ўз ичига ер қобиғи ва мантиянинг тепа бир қисмини олади. Плиталар мустақкам материаллардан ташкил топган бўлиб, улар мантиянинг юмшоқ қатлами устида ҳаракатланади. Бу плиталарнинг ҳаракат тезлиги бир йилда 2–20 см ни ташкил қилиши мумкин. Мисол учун, Тинч океани плитаси бир йилда 5,5 см тезлик билан Шимолӣ Америка бўйича шимол томонга силжиб боради. Агарда бу плита шундай тезлик билан силжиб борадиган бўлса, 10 миллион йилдан кейин Лос-Анжелос шаҳри Сан-Франциско шаҳрининг ўрнига бориб қолади. Ҳар йили 6–7 см тезликда ҳаракатланадиган Жанубий Америка китъасидаги Наска плитаси, Чилида 2010 йил 27 февралда содир бўлган зилзила натижасида китъа остига 8 метр кирган. Бу Жанубий Америкада жойлашган кўпгина шаҳарларнинг жануб томонга сурилишига сабаб бўлган. 2004 йил 26 декабрда Суматра оролида содир бўлган зилзила натижасида Суматра оролининг жануби-ғарбида (яъни Бирма плитаси устида) турган кичик ороллар жануби-ғарбга қараб 20 м сурилган. Бу сурилиш фақат ён томонга бўлмасдан, у вертикал йўналишда ҳам сурилгани учун оролнинг баъзи жойларидаги қирғоқ бўйлари океан сувининг остида қолган.

Японияда 2011 йил 11 мартда содир бўлган зилзила натижасида Тинч океани плитасининг узунлиги 300–400 км ва эни 100 км бўлган қисми 20–40 м га сурилиб, 0,6 м га чўккан, шунинг натижасида бу худуднинг анча қисмини сув босган.

Ҳозирги кунгача плиталар ҳаракатини аниқ исботлаши мумкин бўлган биророрта ҳам назария мавжуд эмас, бор назариялар эса бўлаётган бу жараёнларни тўлиқ акс эттира олмайди.

Одатда, плиталарнинг бир-бири билан ўзаро тўқнашадиган қисмлари плиталарнинг чегараси дейилиб, зилзила манбалари шу ерларда пайдо бўлади. Бу ерда ҳосил бўладиган жараёнлар эса зилзила-

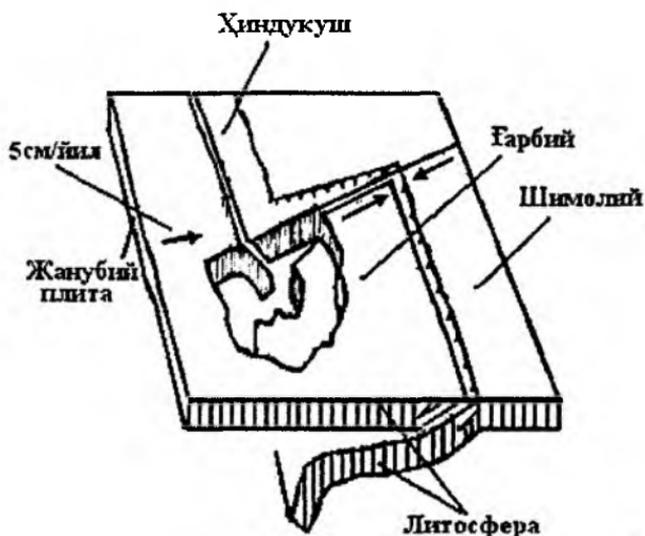
ларни келтириб чиқаради. 1.3-расмда зилзила манбаларининг ҳосил бўлишига боғлиқ бўлган плиталар ҳаракатининг урта схемаси тасвирланган бўлиб, стрелкалар орқали плиталарнинг ҳаракат йўналишлари кўрсатилган. Плиталарнинг бир-бири билан ўзаро яқинлашиб тўқнашишлари (1.3^а-расм) натижасида тоғ тизмалари ҳосил бўлиши мумкин. Масалан: Ҳимолай тоғ тизмалари Ҳиндистон ва Евросиё плиталарининг яқинлашувидан ҳосил бўлган деб ҳисобланади. 1.3^б-расмда плиталарнинг яқинлашув жараёни акс эттирилган бўлиб, улардан бири эгилган ҳолда иккинчисининг остига кириб, нов-океан чуқурлигини ҳосил қилаяпти. Бу плиталарнинг туташувчи элементларининг ишқаланиб ҳаракатланиши плиталарнинг қизишига ва вулқон отилишига олиб келади. Бундай ҳодисалар, одатда, катта чуқурликда рўй беради. Плиталар ўқи бўйлаб бир-бирига қараб ҳаракат қилишидан ташқари, бир-бирига нисбатан силжиши ҳам мумкин (1.3^в-расм). Бу жараён трансшакл силжишлари деб номланувчи ёриқлар пайдо бўлишига олиб келади.



1.3-расм. Плиталар орасидаги чегаралар ва содир бўлиши мумкин бўлган ҳаракат турлари: 1 – плита; 2 – юмшоқ қатлам; 3 – вулқонлар

Юқорида ер қобиғи 20 га яқин катта плиталардан ташкил топганлиги айтиб ўтилган эди. Бу “асосий” плиталар, ўз навбатида, майдароқ плиталарга бўлинади ва булар орасидаги тўқнашиш ва силжишлар

мураккаброқ характерга эга бўлади. Масалан: Помир-Ҳиндикуш минтақасидаги литосферанинг силжишлари бундай кичикрок плиталарнинг ҳаракатига мисол бўлиши мумкин (1.4-расм).



1.4-расм. Плиталарнинг ҳаракат схемаси: \longrightarrow Ҳаракат йўналиши;
 \longleftrightarrow Қитъа ва чегаралар ҳаракати; $\nabla\nabla\nabla$ Дарвез - Қорақўл узилмаси

Кўпинча, тоғ тизмаларининг ҳосил бўлиши вулқон отилиши ва кучлик сейсмик жараёнлар содир бўладиган географик районларга тўғри келади. Масалан: Камчаткада ва Жанубий Америкада шундай ҳолатларни кузатиш мумкин. Бироқ, истиснолар ҳам бор. Масалан, сейсмик фаоллиги юқори ҳисобланган Ўрта Осиёда вулқонларнинг отилиш фаолияти кузатилмайди, лекин zilzilалар содир бўлиб туради. Бунинг асосий сабабларидан бири – плиталар ҳаракати давомида узоқ вақтлар мобайнида плиталар чегарасида ҳосил бўладиган деформациялар, потенциал энергиянинг тўпланиб боришига олиб келади ва плита материалларида ҳосил бўладиган кучланишлар ортиб кетади. Плита материали учун кучланишлар чегаравий кийматга етганда бузилиш рўй беради ва деформациянинг потенциал энергияси кескин кинетик энергияга айланади. Бу потенциал энергиядан бўшашиш ҳодисаси жуда қисқа вақт ичида, яъни 10–60 секунд мобайнида содир бўлиб, тектоник ҳодисаларни пайдо қилади, бу эса ўз навбатида

сейсмик ҳодисани келтириб чиқаради. Бу ҳолда ажралиб чиққан энергиянинг миқдори 10^{25} эрг ва ундан ҳам ошиб кетиши мумкин. Зилзила натижасида ҳосил бўладиган энергия миқдорини солиштирадиган бўлсак, уни қуйидагича таққослаш мумкин: энг кучсиз зилзила натижасида ҳосил бўладиган энергиянинг миқдори атом бомбаси портлашидан ҳосил бўладиган энергиядан 1000 баробар кўп бўлади.

Демак, юқоридаги фикрларни умумлаштириб шуни таъкидлаш мумкинки, зилзилалар тоғ ҳосил бўлиш жараёнида, вулқон отилиш фаолияти даврида, плиталарнинг синиши ва ўзаро силжиши натижасида содир бўлар экан.

Кенг маънода зилзила деганда ер сиртининг ҳар қандай силкинишларини тушуниш мумкин.

Тор маънода зилзила деганда сейсмик тўлқинлар таъсирида ер сиртида ҳосил бўладиган қисқа муддатли турткилар ва тебранишлар тушунилади.

1.3. Сейсмик тўлқинлар

Плиталарнинг маълум бир қисмида ҳосил бўлган кучланишларнинг қиймати материал учун чегаравий кучланишнинг қиймагидан ошса, шу қисмда ёрилиш, силжиш ёки узилиш рўй бериши мумкин. Натижада тўпланган энергиядан тезлик билан бўшашиш жараёни содир бўлиб, Ер шарининг ҳар томонига тарқаладиган сейсмик тўлқинлар ҳосил бўлади. Улар эластик муҳитларда (яъни тоғ жинсларида) тарқалганлиги учун, эластик тўлқинлар ҳам дейилади.

Кўп зилзилалар натижасида ҳосил бўладиган сейсмик тўлқинлар плиталарнинг узилиши натижасида ҳосил бўлади (агар манба 70 км дан камроқ чуқурликда жойлашган бўлса).

Бу ҳолда ҳосил бўладиган тўлқинлар асосан уч турга бўлинади: бўйлама, кўндаланг ва сирт тўлқинларига.

1. Бўйлама, чўзилиш-сиқилиш ёки P – тўлқини, товуш тўлқинини ифодалайди (1.5а-расм). Бу тўлқиннинг тарқалишида тоғ жинси зарраларининг ҳаракати тўлқин йўналиши билан мос тушади. Бу тўлқин барча сейсмик тўлқинлар ичида энг тез тарқалувчи тўлқин бўлиб, у қаттиқ жисмда, сувда ва ҳавода бемалол тарқаладиган тўлқиндир.

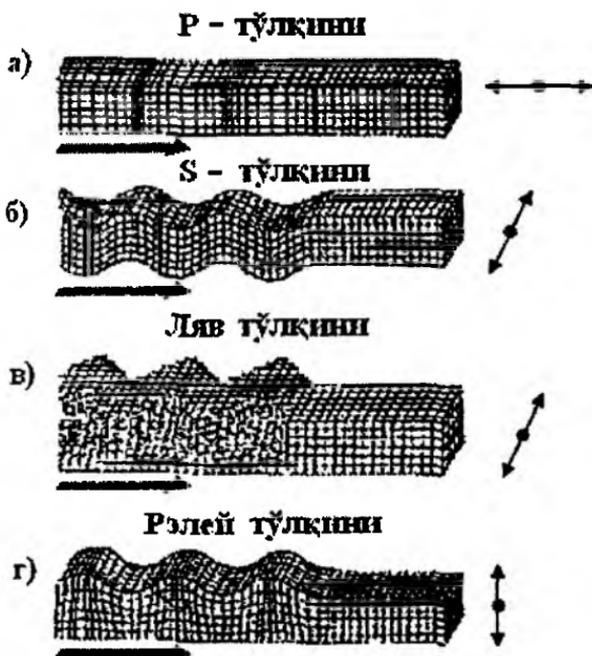
Бўйлама тўлқиннинг қаттиқ жисмларда тарқалиш тезлиги V_p куйидаги формула орқали аниқланади:

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (1.1)$$

2. Кўндаланг, силжиш ёки S – тўлқини, ёруғлик тўлқинига ёки торнинг кўндаланг тебранишига ўхшаб тарқалади (1.56-расм). Бу тўлқиннинг тарқалишида тоғ жинси зарралари тўлқин йўналишига перпендикуляр равишда ҳаракатланади. Бу тўлқиннинг тарқалиш тезлиги бўйлама тўлқиннинг тарқалиш тезлигининг тахминан 0,6 қисмини (яъни $V_s \approx 0,6 V_p$) ташкил қилади. Унинг қаттиқ жисмларда тарқалиш тезлиги куйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$V_s = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1.2)$$

Бу ерда E , ν , ρ – тоғ жинсларининг эластиклик модули, Пуассон коэффициентини ва зичлиги.



1.5-расм. Сеймик тўлқинларнинг тарқалиши ва зарраларнинг ҳаракати

Бўйлама тўлқин суyoқлик ва газларда тарқалмайди. Бу тўлқиннинг тарқалиш тезлиги, асосан, тоғ жинсларининг эластиклик модули ва зичлигига боғлиқ бўлади. Гранит ва сувда бўйлама тўлқиннинг тарқалиш тезлиги тахминан 1,5–5,5 км/сек ни, ташкил қилса, кўндаланг тўлқинники эса 0,0–3,0 км/сек бўлади. Сувнинг силжишидаги эластиклик модули 0 бўлгани учун кўндаланг тўлқиннинг тарқалиш тезлиги ҳам 0 бўлади.

1.1-жадвал

Грунтлар ва жинслар	Солиштирма оғирлик, γ , тк/м ³	Эластик тўлқинларнинг тезлиги, км/сек	
		Бўйлама V_p	Кўндаланг V_s
1	2	3	4
Оҳақгил (мергел)	1,8-2,6	1,4-3,5	0,8-2,0
Мустақкам оҳақтош	2,0-3,0	3,0-6,5	1,5-3,7
Сертупрок сланецлар	2,0-2,8	2,0-5,0	1,2-3,0
Кумли-шағал	1,6-1,9	0,2-0,5	0,10-0,25
Кумли-тупрок: куруқ	1,4-1,7	0,15-0,9	0,13-0,50
Кумли-тупрок: намлиги ўртача	1,6-1,9	0,25-1,3	0,16-0,60
Кумли-тупрок: намлиги юқори	1,7-2,2	0,30-1,60	0,20-0,80
Кумок тупрок (супес)	1,6-2,1	0,30-1,40	0,12-0,70
Соз тупрок (лесс)	1,3-1,6	0,38-0,40	0,13-0,14
Тупрок: нам, куйқоқ	1,7-2,2	0,5-2,8	0,13-1,20
Тупрок: зич, ярим қаттиқ, қаттиқ	1,9-2,6	2,0-3,5	1,10-2,0

Одатда, бўйлама ва кўндаланг тўлқинлар тезликларининг нисбати V_p/V_s тахминан 1,68–1,78 оралиғида бўлади.

Бўйлама ва кўндаланг тўлқинлар ҳажмий тўлқинлар дейилиб, зилзилалар натижасида улар билан бир қаторда, чуқур қатламларда тез сўнувчи сирт тўлқинлари ҳам вужудга келади.

3. Сирт тўлқинлар. Бу тўлқинларда зилзила натижасида ҳосил бўладиган энергиянинг энг катта қисми тўпланган бўлиб, бу тўлқинлар, асосан, ер сирти ва унга яқин қалинлик бўйича тарқалади.

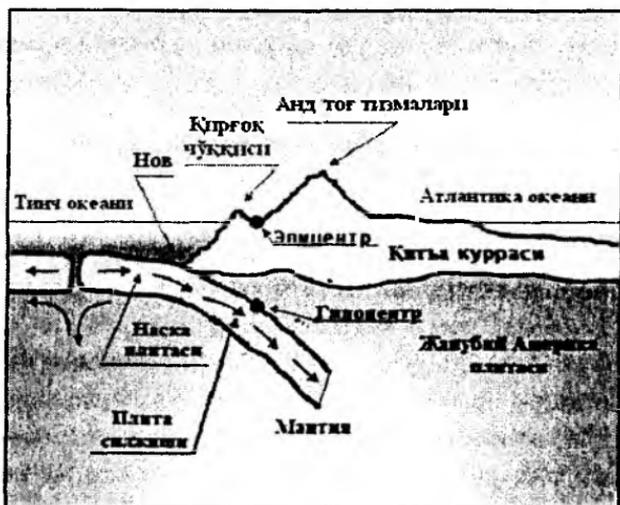
Бу тўлқинлар ҳам икки турга бўлинади. Уларнинг биринчиси, яъни энг тез (V_L тезлик билан) тарқаладигани – силжиш тўлқини бўлиб, у Ляв тўлқини дейилади (1.5в-расм). Бу тўлқин тарқалишида тоғ жинси зарраларининг ҳаракати горизонталь текисликда рўй бериб, улар тўлқин тарқалиш йўналишига кўндаланг равишда ҳаракатланади. Бу тўлқиннинг вертикал ташкил этувчиси бўлмайди.

Сирт тўлқинларининг иккинчиси Рэлей тўлқинидир (1.5г-расм). Бу тўлқиннинг тарқалиш тезлиги V_R билан белгиланиб, у Ляв тўлқини тезлиги V_L дан кичикроқ (яъни $V_R \approx 0,92 V_L$) бўлади. Бу тўлқин тарқалишида тоғ жинси зарралари тўлқин тарқалиш йўналишига перпендикуляр равишда вертикал текисликда эллиптик орбита бўйича ҳаракатланади. Рэлей тўлқинининг тарқалиш тезлиги V_R ҳажмий тўлқинлар тезликларидан кичикроқ бўлиб, уни тахминан қуйидагича аниқлаш мумкин: $V_R \approx 0,91 \cdot V_S$; $V_R \approx 0,54 \cdot V_P$

1.1-жадвалда турли хил грунтларнинг солиштирма оғирликлари γ ва уларда бўйлама ва кўндаланг тўлқинларнинг тарқалиш тезликлари (V_P, V_S) келтирилган.

1.4. Гипоцентр ва эпицентр

Ер қобиғи ва юқори мантияда жойлашган плиталарда содир бўладиган катта ўлчамдаги узилиш ёки улардаги бир-бирига нисбатан силжиш ноэластик тектоник деформацияларни пайдо қилиб, бу ўз навбатида кучли зилзилаларни келтириб чиқаради. Зилзила содир бўлган, яъни ер сатҳидан анча чуқурликдаги жой (ҳажм) **манба** дейилади. Манбанинг ўлчами қанча кичик бўлса, зилзиланинг кучи ҳам шунча кичик бўлади. Манбанинг шартли маркази **гипоцентр** ёки **фокус** деб аталади (1.6-расм). Гипоцентр кўпинча ер қобиғида ёки мантияда маълум чуқурликда жойлашган бўлиб, унинг чуқурлиги, одатда, 60–100 км атрофида, баъзан ер сиртидан 200 км гача бўлган чуқурликда жойлашиши ҳам мумкин. Гипоцентрнинг ер сиртидаги проекцияси (яъни гипоцентрдан ер сиртигача бўлган энг қисқа масофадаги нукта) зилзиланинг **эпицентри** дейилади (1.6-расм). Эпицентр атрофида энг кўп вайрон бўлган ҳудуд **сейсмоген зона** деб аталади.



1.6-расм. Жанубий Америка остида жойлашган плиталарнинг ҳаракат схемаси, гипоцентр ва эпицентрнинг жойлашиши

1.5. Афтершок ва форшок

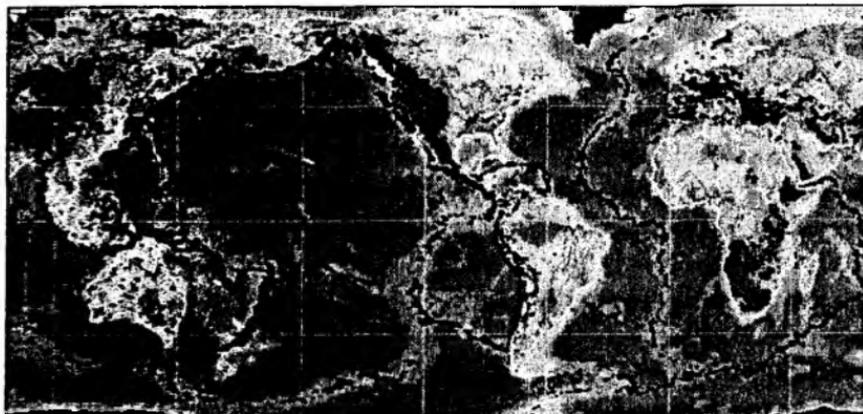
Асосий zilзиладан кейин, плиталарда ишқаланиш кучларининг қаршилиги туфайли, уларнинг нотекис жойларга (тўсиқларга) илашиб қолиши сингари ҳолатлар пайдо бўлади ва бунинг натижасида узилган чок орасидаги боғланиш қисман тикланади, силжиш тўхтайдди. Энергиянинг сакланиб қолган қисми янги боғланишларда янги кучланишларни пайдо қилади. Бу кучланишлар маълум вақт ўтгандан кейин, қаршилиқни енгиб, янги узилиш ва янги туртки пайдо қилади. Асосий zilзиладан кейин содир бўладиган сейсмик турткилар **афтершоклар** дейилади. Бироқ, уларнинг кучи асосий zilзила кучидан кичикроқ бўлади. Бундай такрорий турткилар (афтершоклар) кучли zilзиладан сўнг бир неча юзлаб содир бўлади ва бир неча ой давом этади, бироқ афтершокларнинг кучи аста-секин пасайиб боради. Баъзи афтершокларнинг кучи асосий zilзилага яқин келиши ҳам мумкин.

Баъзан асосий zilзиладан илгари кучсиз ер турткилари, яъни силкенишлари пайдо бўлиши мумкин. Асосий zilзиладан олдин пайдо бўладиган кучсизроқ ер кимирашлар **форшок** деб аталади.

1.6. Зилзилаларнинг турлари ва улар кўп содир бўладиган ҳудудлар

Зилзилалар манбанинг (гипоцентрнинг) чуқурлигига қараб куйидаги уч турга бўлинади: 1) кичик фокусли – манбанинг чуқурлиги 0–70 км; 2) ўрта фокусли – манбанинг чуқурлиги 70–300 км; 3) чуқур фокусли – 300–700 км чуқурликда содир бўлиши мумкин. Асосан, рўй бераётган кучли зилзилаларда манба чуқурлиги 10–30 км ни ташкил қилиб, улар ер қобиғида жойлашган.

Ҳозирги кунда мавжуд ўта сезгир асбоб-ускуналар (сейсмографлар) ёрдамида ҳатто одам сезмайдиган жуда кучсиз зилзилалардан тарқалган тўлқинлар қайд қилинади ва ер силкиниши рўй берган жой аниқланади. Шу маълумотлар асосида кучли зилзилалар содир бўлган жойлар аниқланиб, Ер шари бўйича уларнинг тақсимланиш харитаси тузилади. Бу харита асосида (1.7-расм) зилзилаларнинг (шу жумладан, кучли зилзилаларнинг) содир бўлиш жойлари Ер шари бўйича текис тақсимланмаганлигини ва Ер шарининг баъзи жойларида ер қимирлаш жуда тез-тез такрорланиб, баъзи жойларида умуман содир бўлмаслигини кўриш мумкин. Океан тубида содир бўладиган зилзилалар эса океаннинг фақат баъзи жойларида содир бўлиб, уларнинг қайтарилиши ингичка йўлакчалар бўйича тақсимланган (1.7-расм). Харитада кучли зилзилалар кўп такрорланадиган жойлар қора рангда кўрсатилган.



1.7-расм. Ер шари бўйича кучли зилзилалар содир бўладиган жойларнинг тақсимланиши

Харитага асосан бўлиб ўтган кучли зилзилаларнинг сони ва такрорийлигига кўра, Ер шарини учта белбоғга бўлиш мумкин:

1. Тинч океан белбоғи – зилзилаларнинг 80 фоизи (шу жумладан, катастрофик зилзилалар) айнан шу белбоғда содир бўлади. Бу белбоғга Курил ороллари, Жануби-Шарқий Камчатка, Командор ва Алеут ороллари, Аляска, Шимолий ва Жанубий Американинг Тинч океани соҳиллари, Осиёнинг жанубий ва шарқий соҳиллари киради. Филиппин ороллари, Малайзия, Австралия ва Янги Зеландия ҳам шу белбоғда жойлашган.

2. Ўртаер денгизи ёки Трансosiё белбоғи. Бу белбоғга Бирма, Эрон давлатлари, Помир тоғлари, Қора ва Ўртаер денгизлари ҳавзалари ҳамда Атлантика океани киради. Планетамизда содир бўладиган зилзилаларнинг қарийб 15 фоизи шу белбоғга тўғри келади. Кучли ва тез-тез такрорланадиган зилзилалар Алп, Болқон, Карпат, Крим, Кавказ ва Ҳимолой тоғ тизмаларида кузатилади. Бу белбоғнинг фаол шахобчаси Ўрта Осиё давлатлари ҳудудидан бошланиб, Қозоғистон орқали Байкалга ўтади.

Иккинчи даражали белбоғ. Бунга Арктика, Ҳинд океанининг фарбий қисми ва Шарқий Африка киради.

1.7. Зилзилаларнинг кучи, уларни ўлчаш ва баҳолаш

Зилзила кучи (интенсивлиги) иккита шкала ёрдамида аниқланади, яъни балл ва магнитуда орқали. Зилзиланинг кучи – бу зилзила таъсир қилаётган ер сиртининг барча нукталарида сезиладиган грунтнинг силкиниш даражасидир. Зилзиланинг кучи сейсмик асбоблар кўрсаткичлари асосида, кўчиш, тезлик ва тезланиш қийматларини ўлчаш, шунингдек, одамларнинг сезги-ҳиссиётлари ва зилзила оқибатларининг муҳандислик таҳлили орқали аниқланади.

1.7.1. Сейсмик асбоблар

Зилзилабардош қурилишнинг назарий ва амалий жиҳатдан ривожланиши сейсмик ҳаракатларни ўлчаш ва ёзиб олиш техникасининг ривожланиши билан бевосита боғлиқдир.

Зилзила натижасида манбадан барча томонга тарқаладиган сейсмик тўлқинлар ер сиртига етганидан кейин махсус асбоблар – сейс-

мографлар ёрдамида сезилиб (хатто Ер шарининг орка томонидан келаётган жуда кучсиз зилзилалар ҳам), ёзиб олинади.

Зилзилаларни кузатишга мўлжалланган биринчи асбоб эрамизнинг бошида яратилган. Хитой олими Чжан Хэн (78–139 й.) томонидан 132 йилда яратилган асбоб эпицентрдан анча узоқ масофада зилзила содир бўлганини қайд эта олган, холос.

1703 йилда француз физиги Жан Отфей Чжан Хэн асбобига ўхшаш асбоб ясаган. 1848 йили италиялик олим Качиаторе ясаган асбобнинг ғояси ҳам ўшалар ғоясига яқин бўлган. Бу асбобларнинг ҳаммаси сейсмоскоп деб аталиб, содир бўлган зилзилани қайд этиб, ҳаракат жараёни ҳақида ҳеч қандай маълумот бермаган.

1853 йилда Луиджи Палмиер ясаган асбоб зилзилани қайд этибгина қолмай, унинг бошланиш вақти ва давомийлиги тўғрисида ҳам маълумот берган.

Зилзилалар ҳақида тўлиқроқ маълумот олиш муаммосини ҳал қилишдаги қийинчилик ер сиртидаги ёки иншоот нуқталаридаги тебранишларни ёзиб олиш учун тебраниш жараёнида иштирок этмайдиган бирор нуқтани топишнинг иложи йўқлигида эди. Биринчи сейсмографларни яшашда бундай мураккаб ҳолатдан чиқиш учун ерга маҳкам ўрнатилган оғир массали станинага узун эгилувчан ип осиб, бу ипга юк (маятник) осиб таклиф қилинади. Бу ҳолда маятник (тебрангич) нинг хусусий тебраниш даври, юк осилган таянч тебраниш давридан анча катта бўлгани учун, таянч маятник тебранишида иштирок этмасдан, у кўзгалмас нуқта вазифасини ўтайди ва грунт (ёки иншоот)нинг ҳаракати шу нуқтага нисбатан ёзиб олинади. Бу асбоблар ҳам камчиликлардан холи эмасди, чунки уларнинг аниқлик даражаси кам, тузилишлари қўпол эди.

1880 йилда инглиз тоғ муҳандиси Д.Милн горизонталь тебранишларни ёзиб оладиган асбобни ихтиро қилди. Асбоб анча ихчам бўлиб, тебраниш даври катта эди. Ушбу асбоб сейсмограф деб аталиб, вақтга боғлиқ ҳолда ер ёки иншоот тебранишларини график равишда ёзиб олиш имконини берди.

1902–1906 йилларда академик Б.Б.Голицин зилзилаларни ёзиб олиш имконини берадиган галвонометрик асбобни яратди. Ушбу асбоб маятник тебранишларини электродинамик ўзгартириш орқали

электр токига айлантириб берарди. Шу даврдан бошлаб сейсмик асбоблар яратишнинг янги даври бошланди. Тадқиқотчилар эса зилзила жараёнида грунт ва иншоотларнинг сейсмик ҳаракатларининг катталикларига миқдорий баҳо бериш имкониятига эга бўлдилар.

Маълумки, ҳар бир моддий нукта фазода x, y, z ўқлари йўналишида чизикли ҳаракатда бўлиши ва шу ўқлар атрофида айланма ҳаракат қилиши мумкин. Сейсмик тўлқинлар таъсирида вужудга келадиган айланма ҳаракатни ифодаловчи бурчакли кўчишларнинг қиймати жуда кичик бўлганлиги сабабли, асбоблар уларни илғаб ололмайди ва фақат чизикли кўчишларни ёзиб олади, холос. Ҳозирги кунда зилзила натижасида ер сиртининг ёки иншоотнинг бирор нуктасида ҳосил бўладиган кўчиш, тезлик ва тезланишларни вақтни ҳисобга олган ва олмаган ҳолда ёзиб олиш учун сейсмометр ва сейсмографлардан, велосиметр ва велосиграфлардан, акселерометр ва акселерографлардан фойдаланилади.

Бундан ташқари, зилзила натижасида пайдо бўладиган кичик туртки таъсирида автоматик равишда ишлаб кетадиган, кичик ва катта тебранишларни узлуксиз ёзиб оладиган асбоблар мавжуд. Фақат максимал кўчишларни аниқлаш учун сейсмографлардан, кўчишлар вақтини ҳисобга олган ҳолда ёзиб олиш учун сейсмометрлардан фойдаланилади.

Кейинги бир неча йиллардан бери С.В.Медведевнинг бир маятникли СБМ сейсмометри ва А.Г.Назаровнинг кўп маятникли АИС сейсмометрларидан фойдаланиб келинади. Асбобларнинг ҳар иккала тури ҳам грунт тебранганда маятникларнинг максимал оғишини автоматик равишда ёзиб олади. Одатда, йирик ва муҳим объектлар (тўғонлар, энергетик ва атом электр станциялари) “кутиш” режимида ишлайдиган сейсмик станциялар билан жиҳозланган бўлади. Ҳозирги кунда автоматик равишда ишга тушиб, зилзила натижасида ҳосил бўладиган кўчиш, тезлик ва тезланишларни аниқ ёзиб оладиган махсус электрон асбоблар мавжуд. Бу ёзиб олинган маълумотлар асосида зилзиланинг кучи (магнитудаси) ва эпицентр жойлашган жой аниқланади. Шу билан бирга олинган ёзувларни қайта ишлаш йўли билан иншоотларнинг ҳақиқий динамик характеристикалари (тебраниш давлари, шакллари ва декрементлари) аниқланади.

1.7.2. Сейсмик шкалалар

Зилзилалар кучига (интенсивлигига) махсус шкалалар орқали баҳо берилади. Ҳозирга қадар дунё мамлакатларида 50 га яқин сейсмик шкалалар ишлаб чиқилган бўлиб, буларнинг баъзилари ҳозир ҳам қўлланилмоқда.

Агар уларнинг асосийлари билан танишадиган бўлсак, у италия олими томонидан ер силкиниш кучини аниқлаш учун ишлаб чиқилган махсус 12 баллик Халқаро шкала бўлиб, бу шкала унинг номи билан «Меркалли шкаласи» дейилади, лекин бу шкала ҳамма давлатларда қўлланилмайди. Бу шкалага асосан 6 баллдан катта бўлган ер силкинишлари – кучли, ундан пасти – кучсиз зилзила деб ҳисобланади.

Японияда 1949 йилдан бери зилзила кучига баҳо бериш учун 7 баллик JMA шкаласига амал қилиб келинади.

Баъзи Ғарбий Европа давлатларида қўллаш учун қулай деб, италиялик олим Росси ва швейцариялик олим Форел томонидан (1893 й.) ишлаб чиқилган Росси-Форелнинг 10 баллик шкаласи ишлатилади.

Б.Б.Голициннинг 10 баллик шкаласи (1911 й.) ҳозирги кунда деярли ишлатилмайди.

Булардан ташқари, ҳозирги кунда қуйидаги шкалалар қўлланилиб келинмоқда:

1917 йилда Халқаро сейсмик ассоциация томонидан қабул қилинган Меркалли-Канкани-Зибергнинг 12 баллик шкаласи Европа мамлакатларида ҳозир ҳам қўлланилади;

1931 йилда Вуд ва Ньюман таклиф этган 12 баллик модификациялаштирилган Меркалли шкаласи (ММ) АҚШ ва шу қитъада жойлашган бошқа давлатларда ҳам қўлланилади;

12 баллик – Россия Фанлар академияси Ер физика институти (Россия ФА ЕФИ) шкаласи 1952 йилда С.В.Медведев томонидан ишлаб чиқилган бўлиб, у Россия, Кавказ, Марказий Осиё ва бошқа мамлакатларда қўлланилган.

1964 йилда С.В.Медведев, В.Шпонхойер ва В.Карник томонидан 12 баллик MSK-64 шкаласи яратилган. Бу шкалада тегишли баллар учун, зилзила натижасида ҳосил бўлган, кўчишлардан ташқари, тезлик ва тезланишлар ҳам ҳисобга олинган бўлиб, натижада шкала аввалгиларидан бирмунча такомиллашган.

1975 йилда Россия ФА ЕФИ ва бошқа сейсмологик институтлар томонидан MSK шкаласининг таҳрир қилинган варианты тайёрланди. Бу шкалада кўчиш, тезлик ва тезланишларнинг қийматлари аввалгисига нисбатан бироз катталаштирилди. Бу 12 баллик шкала бўлиб, ММ шкаласига анча яқин келади.

Санаб ўтилган барча шкалаларда зилзила кучига балл ёки даражаларда баҳо берилган. Зилзила кучига бу шкалалар орқали берилган баҳолар барибир нисбий характерга эга.

Баъзи шкалалар орасида ўтиш формулалари мавжуд. Масалан, Япониянинг JMA шкаласидан ММ шкаласига ўтиш формуласи куйидагича ифодаланади:

$$J_m = 0,5 + 1,5J_j \quad (1.3)$$

бу ерда J_m – ММ шкаласидаги балл кўрсаткичи, J_j – JMA шкаласидаги балл кўрсаткичи.

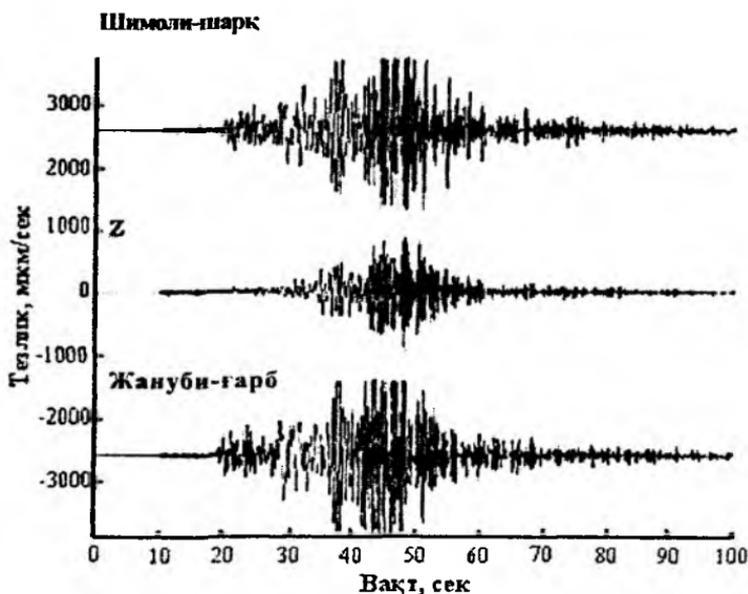
MSK-64 шкаласи бўйича кучи 1 балл бўлган зилзила махсус асбоблар ёрдамида қайд этилади. 7 баллда эса, унча мустаҳкам бўлмаган иморатлар бузилади, мустаҳкам биноларда ёриқлар пайдо бўлади; 8 балли зилзила кучли саналади, мустаҳкам бинолар бузилади, кўчкилар содир бўлади, ер ёрилади; 9 балл ҳалокатли зилзила бўлиб, барча иморатлар бузилади, ерда катта ёриқлар пайдо бўлади. Бу шкала бўйича 10 ва ундан юқори балли зилзила ўта ҳалокатли зилзила бўлиб, барча муҳандислик иншоотлари буткул вайрон бўлади.

Зилзилани балл билан баҳолаш унинг сифат кўрсаткичи саналади. Муҳандислик нуқтаи назаридан иншоотга бўладиган миқдорий таъсирлар кўпроқ аҳамиятга эга. Замин тебранишининг тезланиши, тезлиги ва кўчишлари миқдорий таъсирлар ҳисобланади. Масалан, MSK шкаласи бўйича кучи 7 балл бўлган зилзилада ер сирти тебранишларининг тезланиши 50–100 см/сек², тезлик 4–8 см/сек, кўчишлар 4–8 мм ни ташкил этиши мумкин. Зилзила кучи 1 баллга ошса, юқоридаги кўрсаткичлар икки марта катталашади.

Ер тебранишининг кўчишлари, тезликлари ва тезланишларининг қийматлари сейсмограф, велосиграф ва акселерограф деб аталувчи махсус асбоблар ёрдамида ёзиб олинади. Мазкур миқдорларнинг вақт ўтиши билан ўзгаришини ифодаловчи графиклар мос равишда сейсмограмма, велосиграмма ва акселерограмма деб аталиб, сейсмо-

грамма математик кўринишда $y=f(t)$, велосиграмма $V=\varphi(t)$, акселерограмма $W=\psi(t)$ тарзида ифодаланади; бу ерда y – моддий нуқтанинг кўчиши, V – тезлиги, W – тезланишини билдиради. Назарий механика фанидан маълумки, бу миқдорлар бир-бири билан $\frac{dy}{dt} = V, \frac{dV}{dt} = W$

кўринишда боғланган бўлиб, улардан бири маълум бўлса, қолган иккитасини дифференциаллаш ёки интеграллаш йўли билан аниқлаш имконияти мавжуд. Шубҳасиз, агар кўчиш, тезлик ва тезланишларини бир варакайига ёзиб олишнинг иложи бўлганида зилзила ҳақида янада тўлиқроқ маълумотга эга бўлиш мумкин эди. Бирок, иншоот тебранишларини кўп каналли ўлчаш (ИТКЎ – русчада МИКС) усулида бир нуқта учун уч хил параметрини (яъни y, V, W ни) ёзиб олиш жуда қийин. Шунинг учун амалда бир, баъзи ҳолларда икки параметрни ёзиб олиш билан чекланилади.



1.8-расм. 2004 йил 26 декабрда Суматра оролида содир бўлган зилзила велосиграммасининг Россия ФА ЕФИ институти томонидан ёзиб олинган нусхаси

Мисол тариқасида, 2004 йил 26 декабрда Суматра оролида содир бўлган зилзила велосиграммасини Россия ФА ЕФИ томонидан Мос-

ква шахрида ўта кенг йўллик сейсмограф (КСЭШ-Р) ёрдамида ёзиб олинган нусхаси 1.8-расмда келтирилган. Бу зилзила 100–200 йилда бир маротаба содир бўладиган зилзилалар тоифасига кириб, унинг магнитудаси $M=9,1$ атрофида бўлган. Бу зилзила вақтида ажралган энергиянинг миқдори тротил эквивалентида тахминан 30 000 мегатоннани ташкил қилган. Бу зилзила натижасида ҳосил бўлган энергияни солиштирадиган бўлсак, у собиқ Йттифоқ томонидан Янги Зеландия оролида портлатилган водород бомбаси портлаши натижасида ажралган энергиядан 600 марта кўп.

Бундай (1.8-расм) зилзила параметрларининг, яъни сейсмограмма, велосиграмма ва акселерограмма ёзувлари статистик материалларни жамғаришда катта аҳамиятга эга. Чунки, булар иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблашнинг янги усулларини яратишда асос вазифасини ўтайди. Аммо шуни қайд этиш лозимки, ҳозирги вақтга қадар зилзила бали билан унинг физик характеристикалари орасида аниқ боғланиш ўрнатилмаган.

Жумладан, Япониядаги зилзилаларнинг бирида тезланишнинг қиймати 418 см/сек^2 бўлган, аммо иншоотлар жуда кам шикастланган. Умуман, бали бир хил бўлган зилзилаларнинг физик параметрлари турлича бўлиши мумкин. Бу эса зилзила оқибатларига баҳо беришда баъзи қийинчиликларни туғдиради. Бошқа томондан, зилзила оқибатларини баҳолашда зилзилаларнинг статистик такрорийлиги ва частоталар спектрини инобатга олиш лозим бўлади.

1.2-жадвалда таққослаш учун турли мамлакатларда қабул қилинган шкалалар бўйича баллар келтирилган.

1.3-жадвалда ҳар хил кучга эга бўлган зилзилалар учун ер сиртидаги нуқта тезланиши қийматининг эркин тушиш тезланиши ($g = 981 \text{ см/сек}^2$)га нисбати келтирилган.

Жадваллардан кўринадики, турли шкалалар бўйича келтирилган баллар билан нисбий тезланишлар орасида сезиларли тафовутлар мавжуд.

Шу билан бир қаторда, кўп сонли акселерограммаларни қайта ишлаш натижалари тезланишларнинг энг катта қийматлари зилзилаларнинг 0,1 дан 0,5 сек гача бўлган даврига тўғри келишини кўрсатади.

MSK-64 шкаласи бўйича, балл	Америка ММ, шкаласи бўйича, балл	Япония JMA шкаласи бўйича, балл	Росси- Форел шкаласи бўйича, балл	Меркали-Канкани- Зибберг (Европа) шкаласи бўйича, балл
1	I	0	I	I
2	II	1	II	II
3	III	2	III	III
4	IV	2-3	IV	IV
5	V	3	V-VI	V
6	VI	4	VII	VI
7	VII	4-5	VIII	VII
8	VIII	5	IX	VIII
9	IX	6	X	IX
10	X	6	X	X
11	XI	7	X	XI
12	XII	7	X	XII

Европа, ММ, MSK- 64 ва ЕФИ шкалалари бўйича, балл	Нисбий тезла- ниш \ddot{y}/g	Япония JMA шкаласи бўйи- ча, балл	Нисбий тезла- ниш \ddot{y}/g
6	0,005-0,010	4	0,025-0,080
7	0,010-0,025	4-5	
8	0,025-0,050	5	0,08-0,258
9	0,050-0,10	5-6	
10	0,10-0,25	6	0,258
11	0,25-0,50	7	0,80
12	0,50-1,0	7	

Иншоотларнинг зилзилабардошлигини фақат унга таъсир қилаётган тезланишнинг қиймати ҳал қилади дейиш – бу унча тўғри бўлмаган фикрдир. Чунки 2011 йил 11 мартда Японияда содир бўлган зилзила натижасида ҳосил бўлган тезланишнинг асосий қиймати 0,35 g бўлиб, баъзи жойларда ҳатто 0,5 g дан ҳам ошган. Лекин зилзила вайронага айлантирган иншоотларнинг сони бошқа шундай кучга эга бўлган зилзилалар оқибатида вайрон бўлган иншоотлар даражасида бўлган. Янги Зеландияда 2011 йил февралда содир бўлган зилзила натижасида ҳосил бўлган тезланишнинг қиймати 2,2g атрофида бўлган

(яъни Япониядагидан 4 баробар катта), лекин унинг ҳам иншоотларга келтирган талофати тахминан шу даражада бўлган.

Бу келтирилган маълумотлардан кўринадики, иншоотларнинг зилзилабардошлигини баҳолашда фақат тезланиш бўйича ҳисоб ишларини бажариш аниқ натижа бермаслиги мумкин. Шунинг учун ҳисоб ишлари реал ёзилган акселерограммалар орқали олиб борилса, анча аниқ маълумотлар олинади. Чунки бу ҳолда ҳам зилзиланинг даври, ҳам давомийлиги эътиборга олинади.

Кўриб ўтилган шкалаларнинг бирортасида ҳам иншоотларнинг зилзилабардошлигини баҳолаш учун зарур бўлган частоталар спектри ва зилзиланинг довомийлиги ҳақида маълумотлар келтирилмаган. Бу ҳол иншоотларни сейсмик кучлар таъсирига ҳисоблашни қийинлаштиради.

1.4-жадвал

Балл	Максимал тезланиш \dot{y}_0 см/сек ² , $T \geq 0,1$ сек	Максимал тезлик \dot{y}_0 , см/сек	Максимал кўчиш y_0 , см
6	30-60	3,0-6,0	1,5-3,0
7	61-120	6,1-12,0	3,1-6,0
8	121-240	12,1-24,0	6,1-12,0
9	241-480	24,1-48	12,0-24,0

1.4-жадвалда Россия Фанлар академияси ЕФИ (1975й.) шкаласидан баъзи маълумотлар келтирилган. Бу маълумотларда баллар бўйича тезланишлардан ташқари тезлик, кўчиш ва даврлар ҳам келтирилган. Улар иншоотларни сейсмик кучлар таъсирига ҳисоблашда аниқлик даражаси ортишига олиб келади.

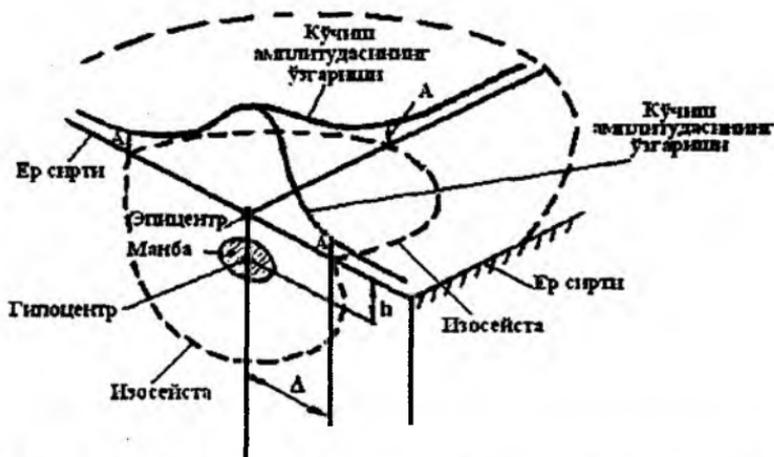
1.8. Зилзиланинг манбаси, энергияси ва магнитудаси ҳақида тушунча

а р 1

Зилзиланинг магнитудасига ва зилзила вақтида ажралиб чиқадиган энергиянинг миқдорига тўлиқроқ баҳо бериш учун рўй берадиган жараённи схематик равишда тасвирлаб (1.9-расм), баъзи юқорида кўриб

ўтган тушунчаларимизни яна бир бор қайтаришимизга тўғри келади. Рўй берган зилзиланинг кучи (интенсивлиги) ер сиртининг ҳар хил жойларида турлича бўлади. Бу, асосан, плитанинг манбада узилган ўлчамларига, у ердаги материалнинг хоссаларига, ажралиб чиққан энергиянинг миқдорига ва гипоцентрдан ер сиртигача бўлган масофага боғлиқдир.

Манба деганда плитанинг узилган жойи (ҳажми), яъни энергия ажралиб чиққан жой – строф-мухит тушунилади (1.9-расмда штрихланган жой манбадир). Гипоцентр (фокус) – манбанинг шартли маркази бўлиб, узилиш рўй берган жойнинг маркази ҳисобланади. Ер сиртида, яъни эпицентр атрофида бир хил куч билан силкинган нукталарни туташтирувчи ёпиқ эгри чизик изосейста деб аталади (1.9-расм).



1.9-расм. Манба, гипоцентр, эпицентр ва изосейсталар схемаси

Юқорида кўриб ўтилган шкалалар зилзила кучини аниқлашда фақат субъектив баҳо бериш имкониятини туғдиради. Шу боис, зилзила кучига объектив баҳо бериш (яъни битта зилзилани иккинчиси билан солиштириш имкониятига эга бўлиш) учун, Япон олими Т.Валда магнитуда шкаласини киргизишни таклиф қилган. Магнитуда – инглизча сўз бўлиб, катталиқ ёки ўлчам маъносини билдиради.

Манбада ажралиб чиққан энергия миқдорига аниқроқ баҳо бериш учун 1935 йилда магнитуда шкаласи таниқли америка олими Ч. Рих-

тер томонидан мукаммаллаштирилиб, амалиётда қўлланила бошлади. Магнитуда – бу абстракт катталиқ бўлиб, манбадан ажралиб чиққан энергияга пропорционалдир.

Бу катталиқ сейсмограф ёрдамида аниқланган маълумотлар (сейсмик тўлқинларнинг амплитудаси ва даври) асосида, зилзила жараёнида ажралиб чиққан эластик деформация энергияси микдорини аниқлаш имкониятини беради. Яъни содир бўлган зилзила магнитудасининг қиймати, ҳосил бўлган сейсмик тўлқинларнинг энг катта амплитудасининг, стандарт зилзиланинг худди шундай тўлқинлари амплитудасига нисбатининг ўнли логарифмига тенгдир. Бунга асосан ҳосил бўлган тўлқин амплитудаси қанча катта бўлса, зилзила кучи ҳам шунча катта бўлади.

Кўпинча зилзила магнитудасини аниқлаш учун (1.9-расмда кўрсатилган маълумотлар асосида) эмпирик формуладан фойдаланишга тўғри келади. Бу эмпирик формула “нол кучли зилзила” тушунчасига асосланган бўлиб, унга кўра магнитуда M нинг қиймати куйидаги формуладан топилади:

$$M = \lg A + 1,32 \lg \Delta \quad (1.4)$$

“Нол кучли зилзила” сифатида асбоблар ёрдамида қайд этиш мумкин бўлган энг кучсиз зилзила қабул қилинади.

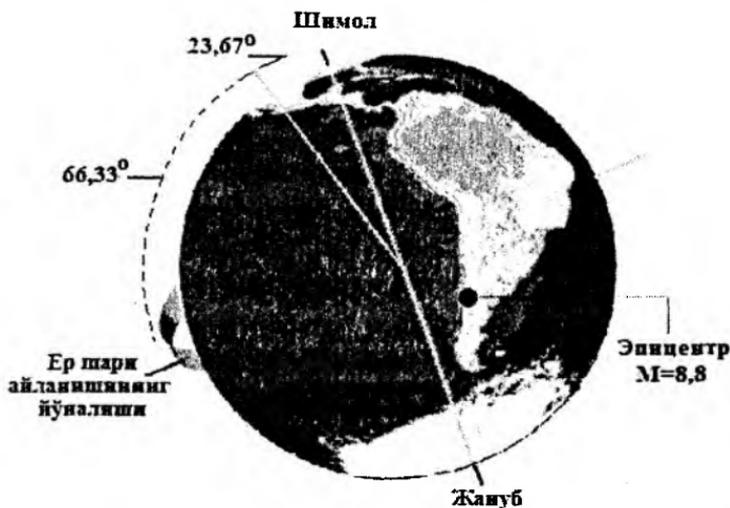
Бу ерда: A – Ер сиртида содир бўлган энг кучсиз зилзиланинг амплитудаси [мкм], Δ – эпицентрдан изосейстагача (яъни “нол кучли зилзила” гача) бўлган масофа [км].

Мисол тарикасида, бўлиб ўтган зилзилаларнинг магнитудалари билан танишамиз: Нобида (1891 й.) – $M=8,4$; Жанубий Америка – Колумбияда (1906 й.) – $M=8,6$; Санрикуда (1933 й.) – $M=8,5$; Чилида (1960) – $M=9,3-9,5$; Хитой-Тяншанда (1976 й. 28 июль) – $M=7,8$; Мексика – Мехикода (1985 й. 18–19 сентябрь) – $M=8,1$ ва $M=7,9$; Арманистон – Спитакда (1988 й. 7 декабрь) – $M=7,2$; Россия–Нефтегорскда (1995 й. 27 май) – $M=9,0$; Индонезия – Суматрада (2004 й. 26 декабрь) – $M=9,1$; Гаитида (2010 й. 12 январь) – $M=7,0$; Чилида (2010 й. 27 февраль) – $M=8,8$; Японияда (2011 й. 11 март) – $M=9,0-9,1$ бўлган. Зилзила вақтида ажралиб чиққан энергиянинг катта қисми сейсмик тўлқинлар шаклида ҳар тарафга тарқалади. Сейсмик тўлқинлар тарқалиб турган (давом этган) вақтни ҳисобга олган ҳолда зилзила жараёнида ҳосил бўлган тўлиқ энергия аниқланади.

Адабиётларда келтирилган маълумотларга қараганда, баъзи кучли зилзилалар вақтида ажралган энергияларнинг тақрибий киймати куйидагича: Япония – Кантода (1923 й.) – 10^{23} эрг, Сантамада (1931 й.) – 10^{21} эрг, Санрикуда (1933 й.) – 10^{25} эрг, Тонанкойда (1944 й.) – 10^{24} эрг, Миковада (1945 й.) – 10^{22} эрг, Ашхабодда (1948 й.) – 10^{23} эрг, Хаит – Тожикистонда (1949 й.) – 10^{24} эрг, Чилида (1960 й.) – 10^{25} эрг бўлган.

Бу зилзилалар вақтида ажралиб чиққан энергиянинг миқдори стандарт атом бомбаси портлаганда ажралиб чиқиши мумкин бўлган энергия миқдоридан бир неча миллион марта катта. Сабаби, агар 100 килотонналик стандарт атом бомбаси портласа, ажраладиган энергиянинг миқдори 10^{18} эрг атрофида бўлиши мумкин.

Шунинг учун зилзилалар жуда катта талофат келтириб чиқаришидан ташқари, табиатда бошқа ўзгаришларни ҳам пайдо қилиши мумкин. Масалан, Чилида 2010 йил 27 февралда содир бўлган зилзила ($M=8,8$) Ер шарининг айланиш ўқини (1.10-рasm) олдинги ҳолатга нисбатан 8 см силжитган, натижада ер суткаси 1,26 микросекундга (1 микросекунд – секунднинг миллиондан бир қисми) қисқарган.



1.10-рasm. Чилидаги зилзила эпицентрининг Ер шар айланиш ўқига нисбатан жойлашиши

Ҳинд океани (Суматрада) 2004 йил 26 декабрдаги зилзила ($M=9,1$), Ер шар айланиш ўқини 7 см га силжитиб, суткани 6,8 микросекунд-

га қисқартирган. Бу зилзила Чилидаги зилзиладан кучли бўлишига қарамасдан, айланиш ўқини камроққа силжитган. Бунинг сабабини, олимлар қуйидагича изоҳлашмоқда: биринчидан, Чилидаги зилзиланинг эпицентри экватордан узоқроқда жойлашгани бўлса, иккинчидан гипоцентр ва эпицентрни бирлаштирувчи тўғри чизиқ билан ер ўқи орасидаги бурчакнинг ўткир бурчакни ташкил қилишидадир, деб тушунтирилмоқда (1.10-расм).

Зилзилаларнинг бундай оқибатларга олиб келишига асосий сабаб зилзила натижасида ер сиртида жойлашган массаларнинг қайта тақсимланишидир. Бунинг натижасида Ер шарининг инерция моменти ўзгариб, импульс моментининг сақланиш қонунига асосан Ер айланиш ўқининг ҳолати жуда кичик қийматга ўзгариши мумкин, деб тушунтирилмоқда.

Зилзиланинг магнитудаси (M) билан ажралиб чиққан энергия (E) ўртасида узвий боғланиш мавжуд, лекин бу боғланишни ифодаловчи аниқ формула ҳозирги кунда йўқ. Шунинг учун уларнинг орасидаги боғланиш, асосан, қуйидаги эмпирик формула орқали ифодаланади:

$$\lg E = 11,8 + 1,5M \quad (1.5)$$

Бу формулага асосан M нинг қиймати 20 фоизга ортса, ажраладиган энергиянинг миқдори икки баробар ортади. Агар магнитуда M нинг қиймати бирга ортса, энергия 32 марта ортади.

MSK шкаласи бўйича балларда аниқланадиган зилзила кучини, магнитуда M орқали аниқлаш учун Н.В.Шебалин қуйидаги эмперик формулани таклиф этган:

$$I = 1,5M - 3,5 \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + 3 \quad (1.6)$$

Бу ерда: h – гипоцентрнинг чуқурлиги [км]; Δ – эпицентрдан зилзила бали аниқланаётган нуқтагача бўлган масофа [км].

Агар $\Delta=0$ деб олинса, у ҳолда зилзиланинг эпицентрдаги максимал кучини аниқлайдиган қуйидаги формула келиб чиқади:

$$I_{max} = 1,5M - 3,5 \lg h + 3 \quad (1.7)$$

Шундай қилиб, зилзила магнитудаси – M , гипоцентрнинг чуқурлиги – h [км] ва эпицентрдан зилзила бали аниқланаётган нуқтагача бўлган масофа – Δ [км] маълум бўлса, у ҳолда бу формулалар ёрдамида ер сиртининг исталган нуқтасидаги зилзила кучини (балларда) топиш мумкин.

Ҳозирги кунда, кўпинча матбуотда эълон қилинадиган зилзила кучи балларда айтилади. Бу Рихтер шкаласининг баллари бўлиб, у зилзила магнитудасини ифодалайди.

1.9. Цунами ҳақида тушунча

Ҳозирда ишлатиладиган цунами сўзи аслида японча бўлиб, у “цуна-ми” бўғинларининг бирлашиши натижасида пайдо бўлган сўздир. Унинг сўзма-сўз таржимаси “кўрфаздаги катта тўлқин” маъносини билдиради.

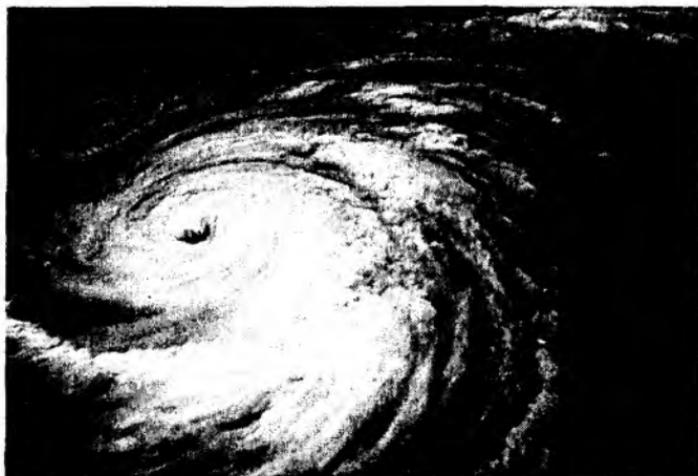
Океан тубида содир бўладиган зилзила ёки вулқон отилиши катта узунликдаги ўта кучли денгиз тўлқинларини, яъни цунамини вужудга келтиради. Баъзи ҳолларда бу тўлқинлар қуруқликка 30-40 м баландликдаги тўлқин бўлиб, қуруқлик бўйича 10 км гача бўлган масофага кириб бориши мумкин (1.11-расм). Цунами келтирган офат зилзила ҳосил қилган офатлардан ҳам аянчли бўлган ҳолатлар мавжуд.



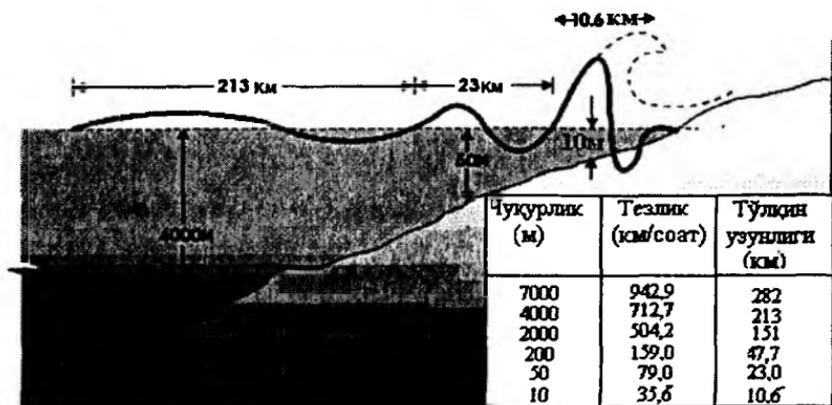
1.11-расм. Цунамининг қирғоқ яқинидаги кўриниши

Шу пайтгача содир бўлган цунамиларнинг 85 фоизи океанда содир бўлган зилзилалар натижасида океан тубининг вертикал кўтарилиши ва пасайиши (жуда қисқа вақт ичида), 7 фоизи қирғоқдан жуда катта миқдордаги тоғ жинсларининг океанга ўпирилиши, 5 фоизи эса океан остида вулқон отилиши натижасида ҳосил бўлган.

Цунами натижасида бир нечта тўлқинлар ҳосил бўлиб, улар 500 – 900 км/соат тезлик билан океанни бемалол кесиб ўтиш қудратига эга (1.12-расм).



1.12-расм. 2011йил 11 март. Японияда содир бўлган zilзила ҳосил қилган цунами тўлқинларининг океанда тарқалиши



1.13-расм. Цунами тўлқинининг қирғоққа яқинлашган сари ўзгариб бориши

Цунамининг океан сатҳида тарқалиш тезлигини қуйидаги формула ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$V_{ц} = \sqrt{gH} \quad (1.7)$$

Бу ерда g – жисмнинг эркин тушиш тезланиши ($g = 9,81\text{м/сек}$), H – океан чуқурлиги (м).

Очиқ океанда цунами тўлқинларининг баландлиги 1 м дан ошмайди, тўлқин узунлиги эса 100 км ва ундан анча ошиши мумкин. Шунинг учун, бу тўлқин океанда сузиб юривчи кемалар учун унча хавф туғдирмайди. Тўлқин қирғоққа яқинлашган (яъни сув сатҳининг чуқурлиги камайган) сари, унинг тезлиги ва узунлиги камайиб бориб, баландлиги эса ошиб боради. Шунинг учун унинг баландлиги қирғоқ яқинида бир неча 10 м ни ташкил қилади.



1.14-расм. 2011 йил 11 март. Японияда содир бўлган zilзила ҳосил қилган цунамийнинг босиб келиши ва унинг ўз йўлида учраган барча нарсаларни ювиб кетиши

Цунамийнинг қирғоқ яқинида жуда катта амплитудага эга бўлиши цунами натижасида ҳосил бўлган катта миқдордаги энергия қайта тақсимланишининг натижасидир. Яъни, қирғоқ яқинида сув билан океан тубининг ишқаланиши сувнинг пастки қисмидаги тезликни камайтириб боради, юқори қисмидаги сув эса катта тезлик билан ҳаракатланади. Бу жараён океан чуқурлиги тўлқин узунлигининг ярмига етганда содир бўлишни бошлайди. Қирғоққа яқинлашган сари тўлқин тезлиги ҳам, узунлиги ҳам камайиб боради. Бунинг натижасида биринчидан орқароқда келаётган тўлқинлар олдинги тўлқинга етиб олади, тўлқиннинг пастки қисмининг тормозланиши натижаси-

да тўлқиннинг баландлиги ошиб боради. Чунки катта калинликдаги сув билан келаётган тўлқиннинг барча энергияси қирғоқ яқинида, шу жуда қиска қатламдаги сувда марказлашади. Бунинг натижасида ўсиб келаётган тўлқин тепасида оқ тўфон пайдо бўлиб, у ассиметрик шаклни олади. Қирғоқ яқинида бу тўлқиннинг қирғоққа қараган томони тик каварик, океанга қараган томони эса анча ясси кўринишда бўлади (1.13-расм). Бу жуда катта массали 5 м, 10 м ёки 30 м баландликдаги сув девори (кўпирган сув) қирғоққа ёпирилиб, катта тезликда олдинга ҳаракатланади ва ўзининг йўлидаги барча нарсаларни супуриб кетади (1.14-расм).

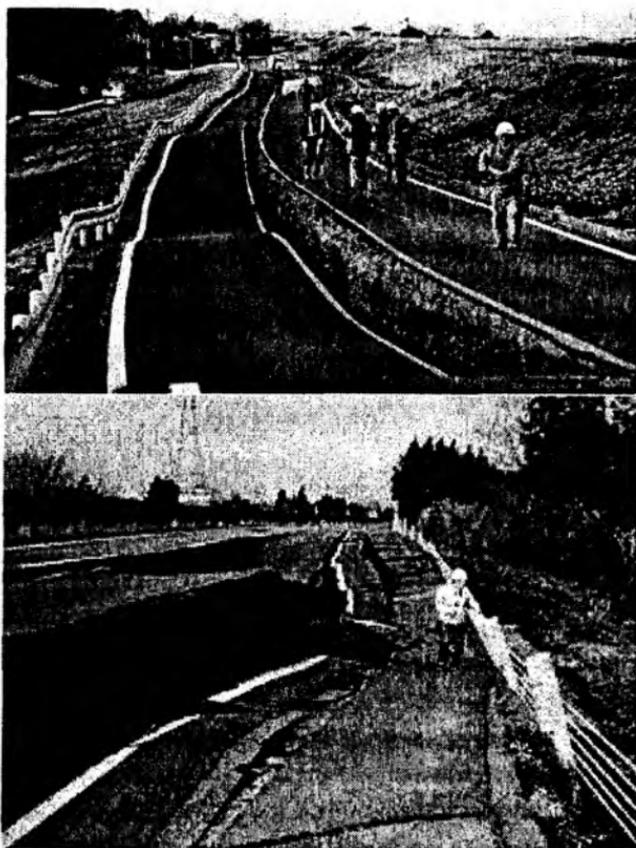
Маълум масофага етганидан кейин секин-аста тўлқин ўз кучини йўқотиб, орқага – океанга қайтишни бошлайди ва ўзи билан барча нарсаларни (машиналарни, ҳайвонларни, одамларни ва иморат қолдиқларини) океанга олиб кетади. Маълум вақт ўтганидан кейин бу ҳодиса анча пасайган ҳолда яна қайтарилиши мумкин. Шунинг учун ҳам цунами ўта хавфли ҳодиса ҳисобланади.

1.10. Зилзилалар ва цунамиларнинг келтирган офатлари ҳақида қисқача маълумот

Кучли зилзилалар мисли кўрилмаган вайронагарчиликлар ва ҳалокатларни олиб келади. Зилзилалар келтириб чиқарадиган ҳалокатлар геологик ҳалокатларнинг ичида энг ашаддийси ҳисобланади. XX асрда вулқон отилиши натижасида 100 000 га яқин инсонлар ҳаётдан кўз юмган бўлса, зилзилалар натижасида ҳалок бўлганларнинг сони бундан 25 баробар кўп. Бундан ташқари, кучли зилзилалар ер сирти рельефини ўзгартиради, ер қобиғида жойлашган плиталарнинг кўчишига олиб келади, катта-катта ёриқлар пайдо қилади, ер сиртида кўтарилиш ва чўкишларни ҳосил қилади, дарё ўзанларини ўзгартиради, баъзи бино ва иншоотларни вайрон қилади (1.15-расм).

Ҳар йили Ер шарида 100 000 га яқин зилзилалар содир бўлиб, ўрта ҳисобда ҳар 5 минутда бир маротаба ер силкинади. Бу ер силкинишларининг кўпчилиги кучсиз бўлиб, инсонлар уларни сезмаслиги мумкин, лекин ўта сезгир асбоблар уларни ёзиб олади. Ер силкинишла-

рининг 10 га яқини кучли бўлиб, вайронгарчиликлар ҳосил қилади, бир-иккитаси эса ўта кучли бўлиб, жуда катта фалокатларга олиб келади.



1.15-расм. 2011 йил 11 март. Японияда содир бўлган зилзиланинг ер сиртида ҳосил қилган чўкиш-кўтарилишлари ва пайдо бўлган ёриқлар

Дунёда содир бўлган кучли зилзилалар келтирган фалокат натижасида қанчадан-қанча инсонлар ҳаётдан кўз юмган. Масалан: Хитойнинг Шанси провинциясида 1556 йилда содир бўлган зилзила натижасида 1 000 000 га яқин, Ҳиндистоннинг Калкутта шаҳрида 1977 йилда содир бўлган зилзила натижасида 300 000 киши, Япониянинг Токио шаҳрида 1923 йилда содир бўлган зилзила натижасида 140 000 киши ҳалок бўлган.

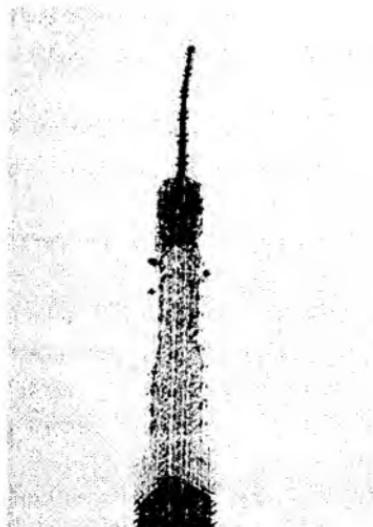
Жамият, техника, саноат ва қурилишнинг ривожланган даврида ҳам, охириги 50 йил ичида содир бўлган ўта кучли зилзилалар, инсоният бошига жуда катта офатларни солди. Бунга мисол қилиб қуйидаги зилзилалар келтириб чиқарган офатларни эслаш мумкин:

2011 йил 11 мартда Тинч океанида, яъни Япониянинг Хонсю ороли қирғоғига яқин жойда океан тубидан 32 км чуқурликда содир бўлган (магнитудаси $M=9,0-9,1$) зилзила жуда катта талофатларни келтириб чиқарди. Бу зилзила кучлилиги бўйича Япония тарихида содир бўлган энг кучли зилзилаларнинг еттинчиси деб ҳисобланмоқда. Бу жойда асосий зилзиладан 2 кун олдин магнитудаси $M=7,2$ бўлган форшок содир бўлган ва асосий зилзиладан кейин 900га яқин афтершоклар содир бўлиб, булардан 60 га яқини $M=6$ дан кўпроқ, 10 га яқини $M=7$ дан ортиқроқ зилзилалардир. Зилзила натижасида пайдо бўлган цунами Рикудзэн-Таката шаҳрини батамом йўқ қилиб юборди. Мияги префектурасида цунамининг баландлиги 10 м га етган. Бу зилзила ва пайдо бўлган цунами натижасида кўплаб бино, иншоот, кўприк ва йўллар (1.14, 1.15 ва 1.16-расмлар) вайрон бўлиб, шу жумладан Фукусима-1 ва Фукусима-2, Онагава ва Токио атом электростанцияларида (АЭС) катта муаммолар пайдо бўлган.

Фукусима-1 АЭС тўлалигича ишдан чиққан. Фукусима-1 АЭС нинг ядро реакторида пайдо бўлган ёрилиш катта радиация тарқалишига сабаб бўлди. Япон халқининг бундай фавқулудда ҳодисаларга яхши тайёрланганлигига қарамай, халок бўлган ва бедарак йўқолганларнинг сони 25 000 кишидан кўпроқни ташкил қилди. Зилзила содир бўлгандан кейин Токиога тўлқин 90 секунд ичида етиб келиши керак эди, шу тўлқиннинг етиб келишидан 1 минут олдин Япония телевидениеси орқали огоҳлантирилганлиги учун халок бўлганларнинг сони анча камайган.

2010 йил 27 февралда Чилида магнитудаси $M=8,8$ бўлган зилзила содир бўлди. Бу зилзиланинг гипоцентри 35 км чуқурликда жойлашган бўлиб, эпицентри Био-Био Консепсон вилоятининг пойтахтидан 90 км масофада бўлган. Бу зилзила ҳам цунами пайдо қилган, лекин цунамидан халок бўлганларнинг сони камчиликни ташкил қилган. Сабаби кўпчилик цунами пайдо бўлишидан хабардор бўлиб, тоғга кўтарилган. 28 февраль ва 1 мартда бу зилзиланинг $M=8$ ва 11 март-

да $M=7,2$ бўлган афтершоклари содир бўлган. Ҳосил бўлган цунами 20 минутдан кейин, Чилининг қирғоқларига 2 м баландликда тўлқин ҳосил қилиб етиб келган. Бу зилзила натижасида 2 000 000 га яқин аҳоли уй-жойсиз қолган. Ҳалок бўлганлар ва бедарак йўқолганларнинг сони 2 000 дан ошган. 1 500 000 тага яқин уйлар турли даражада шикастланган.



1.16-расм. 2011йил 11 март. Японияда содир бўлган зилзила эпицентрдан 373 км узоқликда жойлашган Токио телеминораси антеннасига шикаст етказиб, унинг шпили эгилиб қолишига сабаб бўлган

2010 йил 12 январда Гаити пойтахти Порт-о-Пренс шаҳридан 22 км масофада гипоцентри 13 км чуқурликда ва магнитудаси $M=7$ бўлган зилзила содир бўлди. Бу зилзила Ер қобигида жойлашган Кариб ва Шимолий Америка плиталарининг бир-бири билан туташган жойида ҳосил бўлган ҳаракатлари натижасида содир бўлган. Зилзила жуда катта фалокатларга олиб келган. Яъни, унинг натижасида 216 000 га яқин киши ҳалок бўлиб, 869 киши бедарак йўқолган ва 311 000 киши турли даражада жароҳатланган. Зилзила оқибатида 1 000 000 яқин уй-жой, бино ва иншоотлар вайрон бўлиб, 3 000 000 га яқин аҳоли бошпанасиз қолган. Асосий зилзиладан кейин жуда кўп афтершоклар ҳосил бўлиб, улардан 15 тасининг магнитудаси $M=5$ дан юқори бўлган.

2008 йил 12 майда Жанубий Сичуанда (Хитой) $M=7,9$ магнитуда билан содир бўлган зилзила ҳам жуда катта талофатларни келтириб чиқарди. Бу зилзила оқибатида ҳалок бўлганларнинг сони 87 587 кишини, ярадорларнинг сони эса 374 177 кишини ташкил қилди. Зилзила 45,5 миллиондан кўпроқ кишининг ҳаётини издан чиқарди, яъни Хитойнинг 10та провинциясида яшовчи 15 000 000дан кўпроқ киши ўз яшаш жойларидан бошқа жойларга кўчирилди, 5 000 000 га яқин аҳоли уй-жойсиз қолди. Зилзила натижасида 2473 тўғон ва дамбалар турли даражада шикастланди. Ҳар хил даражадаги грунтларнинг сурилиши ва кўчкилари 34 та катта сунъий қўлларни ҳосил қилиб, 700 000 дан кўпроқ аҳолининг ҳаётига ювиб кетиш хавфини солди.

Ҳар йили 6 см тезлик билан ҳаракат қиладиган Ҳиндистон плитаси остида ҳарорат ва босимнинг ошиши оқибатида, жуда катта кучланиш тўпланиб, бирданига 2004 йил 26 январда плитани 1200–1600 км узунликда силжитган. Натижада Ҳиндистон плитаси Бирма плитасининг остига 15 м гача кириб борган. Бунинг натижасида Суматра ороли яқинида Ҳинд океани остида ўта кучлик, яъни магнитудаси $M=9,1-9,3$ бўлган зилзила содир бўлган. Бу зилзиланинг гипоцентри 30 км чуқурликда бўлиб, 15 метрдан баланд бўлган цунамини ҳосил қилган. Эпицентрга яқинроқ бўлган қирғоқларда цунамининг баландлиги ҳатто 30 м га ҳам етиб, бу цунами Тинч океани орқали Мексикага ҳам 2,5 м баландликда етиб борган. Зилзила натижасида бир қанча давлатларда – Индонезия, Шри-Ланка, Ҳиндистон, Таиланд, Малдивада катта фалокатлар содир бўлган. Зилзила ва цунами натижасида ҳалок бўлганларнинг сони 225 000–300 000 кишига етган.

1988 йил 7 декабрда Арманистоннинг Спитак шаҳрида содир бўлган (магнитудаси $M=7,2$) зилзила натижасида Спитак шаҳри бутунлай вайрон бўлган. Зилзиланинг гипоцентри 7 км чуқурликда жойлашган. Бу зилзила натижасида 25 000 киши ҳалок бўлиб, 514 000 аҳоли уй-жойсиз қолган. Арманистон атом станциясида бирор мудҳиш ҳодиса рўй бермаслиги учун у ишдан тўхтатилган.

1985 йил 19 сентябрда Мексиканинг Мичоакан штати яқинида Тинч океани қирғоғида магнитудаси $M=8,1$ (ва афтершоки $M=7,5$) бўлган зилзилалар натижасида 20 000 киши ҳалок бўлган, 40 000 киши ярадор бўлиб, 100 000 аҳоли уй-жойсиз қолган. Бу зилзила натижаси-

да Мехико шаҳри ҳам катта талофат кўриб, анча уй-жойлар вайрон бўлган ва баландлиги 100 м бўлган шаҳар телеминораси қулаб тушган. Бу zilзила натижасида грунтда ғалати ҳодиса рўй берган, яъни ер ости иншоотларида грунт тагига чўкиш ҳодисаси рўй бериб, бу ҳодиса «Мехико эффекти» ҳам деб аталган. Қурилган баъзи иншоотларда шундай ҳодиса рўй беришидан сақланиш учун, уларни қуришда лоток кўринишидаги конструкциялардан фойдаланилмоқда, яъни лоток сиқиб чиқарган тупрокнинг оғирлиги иншоотнинг оғирлигидан катта бўлишини таъминлаш мақсадида (Архимед қонунига асосан).

1976 йил 28 июлда Хитойда бир миллиондан зиёд аҳоли яшайдиган шахтёрлар шаҳри Таншан яқинида $M=8,2$ магнитудали zilзила содир бўлиб, ярим минут ичида шаҳар ер билан яксон бўлган. Zilзила натижасида ҳалок бўлганларнинг сони 242 000 дан кўпроқ кишини ташкил қилган. Бу zilзиланинг гипоцентри 22 км чуқурликда жойлашган бўлиб, вайрон бўлган уй-жой ва иншоотларнинг сони 5 300 000 га етган. Zilзиладан кейин бир қанча афтершоклар содир бўлиб, уларнинг энг кучлиси ($M=7,1$ бўлгани) ҳам анча қўшимча фалокатларни келтириб чиқарган.

Юқорида келтирилган маълумотларда zilзила қанчалик аянчли офатларга олиб келиши мумкинлиги тўғрисида озроқ тасаввур ҳосил қилиш учун, яқин даврларда содир бўлган баъзи кучли zilзилалар тўғрисида тўхталдик.

Кейинги келтириладиган маълумотларда эса zilзила келтириши мумкин бўлган офатлар билан бирга, ер сиртида, грунтларда ва грунтли иншоотларда zilзила натижасида ҳосил бўладиган ҳолатларга ҳам эътибор беришга ҳаракат қиламиз.

1755 йил 1 ноябрда Лиссабон (Португалия) шаҳрида содир бўлган zilзила шаҳарнинг қиёфасини бутунлай ўзгартирган. Унинг бир қисми чўкиб, иккинчи қисми кўтарилиб қолган.

1855 йил 25–26 июнда содир бўлган кучли zilзилалар Швейцариянинг учта шаҳарини вайрон қилиб, тоғларда катта ўпирилишлар ҳосил қилган.

1886 йил 31 августда АҚШ да содир бўлган Буюк Чарлстон zilзиласи Росси-Форел шкаласи бўйича 10 балл кучга эга бўлиб, фожиали ҳалокатларга сабаб бўлган.

1887 йил 9 июнда Верний (ҳозирги Олмаота) шаҳрида даҳшатли зилзила содир бўлган. Унинг кучи Росси-Форел шкаласи бўйича 10 баллни ташкил этган. Зилзила чоғида тоғларда катта емирилишлар рўй бериб, ўпирилишлар, кўчишлар, ёрилишлар кузатилган. Гранитларни қоплаб ётган тупроқ ва кум чўкиндилари тик қоялардан ажралиб, лой оқими кўринишида тоғдан пастга томон силжиган. Кўчкилардан бирининг баландлиги 40 м, кенглиги 500 м ва узунлиги тахминан 7 км ни ташкил этган. Тоғдан оғирлиги 50 т гача бўлган гранит палахсалари кулаб тушган.

1891 йил 28 октябрда Япониянинг Мино-Овери префектурасида содир бўлган зилзила чоғида неотектоник синиғи бўйлаб узилиш ҳосил бўлган. Бунинг натижасида Хонсю ороли икки қисмга ажралган. Қисмларнинг бир-бирига нисбатан силжиши горизонталь йўналишда 4 м, вертикал йўналишда 7 м ни ташкил этган. Катта кўчкилар рўй берган, кўллар ҳосил бўлган, узилиш ҳосил бўлган жой яқинидаги 10000 км² ни ташкил этган майдон вайронага айланган. Зилзиладан сўнг биринчи куннинг ўздаёқ 318 марта такрорий силкиниш содир бўлган, икки йил давомида 3 мингдан ортиқ афтершок қайд этилган.

1897 йил 14 июнда Ассамда (Ҳиндистон) содир бўлган зилзила бутун мамлакатни ларзага солди. Зилзила жараёнида грунт тебранишларининг амплитудаси 30 см га етган. Ассам тоғининг баландлиги 6 м га кўтарилган, дарёлар оқим йўналишини ўзгартирган, жарликлар пайдо бўлган, баъзи бинолар чўккан.

1902 йил 16 декабрда Андижонда содир бўлган зилзила 4500 кишининг ёстиғини қуритган. Зилзиланинг кучи Росси-Форел шкаласи бўйича 8–9 баллни ташкил этган.

1909 йилда Помирда кучли зилзила содир бўлди. Бунинг натижасида Мурғоб (Тожикистон) дарёси йўлида тошлар йиғилиб, улкан табиий тўғон ҳосил қилди. Усой қишлоғи тош-тупроқ уюми остида қолди. Натижада табиий сув омбори пайдо бўлиб, бунга сув босган қишлоқ (Сарёз) номи берилди.

1911 йил 4 январда (ҳозирги Олмаота ва Бишкек оралиғида жойлашган) Семиречье (Етгисув) да содир бўлган зилзиланинг кучи Росси-Форел шкаласи бўйича 10 баллга яқинлашиб, магнитудаси 8 атрофида бўлган. Ер силкиниши 550–600 км радиусли майдонда сезилиб

турган. Россиянинг Пулково шаҳарчасида ер нуқталарининг кўчиши 4 мм га етган. Зилзиладан сўнг кўплаб кучли афтершоклар такрорланган. Булар Верний (Олмаота) шаҳрига катта талофатлар етказган. Ер сиртида асосий турткига тик йўналишда кўплаб ёриқлар пайдо бўлган. Кенглиги 1,5 м гача бўлган ёриқлар кўчаларни кесиб қўйган. Ёриқлар тупрокли грунтларда кенг ва чуқур, майда шағалли грунтларда ингичка кўринишда бўлган.

1929 йил 1 майда Ашхободда кучли зилзила рўй берган. Унинг эпицентри Эроннинг Божнурд шаҳрида эди. Эпицентрда зилзила кучи ЕФИ шкаласи бўйича 9 баллни, магнитудаси 7,2 ни ташкил этган. Кўплаб бино ва иншоотлар бузилган, Туркменистоннинг ўзида ҳалок бўлганлар сони 2600 нафарни ташкил этган.

1946 йил 3 октябрда содир бўлган Чотқол зилзиласи Ўзбекистоннинг катта қисмини ва Қирғизистонни қамраб олган. Бу зилзиланинг магнитудаси 7,5 бўлиб, Тошкентдан 2300 км узоқда жойлашган эпицентрда зилзила кучи 9 баллга етган. Тўхтагудан 20 км нарида, Норин дарёсининг қуйи қисмида, тоғда катта ўпирилишлар содир бўлган.

1948 йил 6 октябрда содир бўлган Ашхобод зилзиласининг эпицентри Ашхобод шаҳридан 30 км узоқликда, кучи 9–10 балл, магнитудаси 7,3. Манба чуқурлиги 10–40 км. Бу зилзила натижасида шаҳар тўла вайрон бўлиб, кўплаб одамлар ҳалок бўлган.

Орадан бир йилга яқин вақт ўтгач, 1949 йил 10 июлда Тожикистонда рўй берган Ҳаит зилзиласининг кучи эпицентрда 9–10 балл, магнитудаси эса 7,5 бўлган. Зарар етган ҳудуд тахминан 600 км² ни ташкил этган. Кучли туртки таъсирида Чоқурак тоғининг юқори қисми Обидараҳовуз дарасига ағдарилиб тушган. Улкан грунт массаси ва тошлар катта тезлик билан паст томонга кўчиб, Ҳаит тумани марказини бутунлай кўмиб юборган. Ҳосил бўлган уюмнинг баландлиги бир неча ўн метрни ташкил этган. Бу каби тоғ уюмлари зилзила содир бўлган жой атрофида ва бошқа ерларда ҳам содир бўлиб, унинг натижасида балчиқ кўллар ҳосил бўлган.

1966 йил 26 апрелда содир бўлган Тошкент зилзиласининг эпицентри шаҳар марказида жойлашган бўлиб, унинг кучи 8 балл, магнитудаси 5,1 бўлган. Гипоцентр эса 8 км чуқурликда жойлашган. Бу

зилзила натижасида ер сиртида ҳосил бўлган горизонталь кўчишлар амплитудаси $y_{0,max} = 16$ мм, тезланиши $\ddot{y}_{0,max} = 175$ см/сек², вертикал кўчишлар амплитудаси $z_{0,max} = 6,3$ мм ва тезланиши $z_{0,max} = 65$ см/сек² га тенг бўлган. Зилзиладан сўнг бир ҳафта мобайнида 240 марта афтершок қайд этилган бўлиб, буларнинг ичида энг кучлиси (7 балл) 10 майда содир бўлган.

Сўнгги 100 йил мобайнида Тошкентда 7–8 балли зилзила 7 марта такрорланган. Бу каби зилзилаларнинг келажақда ҳам қайтарилиши эҳтимолдан холи эмас.

Доғистонда 1970 йил 14 май куни соат 12 дан 20 минут ўтганда зилзиладан илгари кучли форшок юз берган. Унинг кучи эпицентрда 7 балл, магнитудаси 5,6 ва гипоцентр чуқурлиги 20 км ни ташкил этган. Ушбу форшок биноларни бироз шикастлаб, асосий зилзила бошланишидан илгари аҳолини уйлардан қочиб чиқишга мажбур этган. Орадан 9 соат ўтгач, асосий зилзила содир бўлган. Асосий зилзиланинг кучи 8–9 балл, магнитудаси 6,6 ҳамда гипоцентр чуқурлиги 13 км бўлган. Шундан кейин, 19 кун мобайнида 1094 марта афтершок такрорланган. Ўша кунларда Сулак ва Шўраозан дарёлари оралиғида катта массали грунтларнинг ўпирилиши ва кўчишлари кузатилган. Баъзи кўчкилар дарёни тўсиб, қўллар ҳосил қилган.

1976 йил 8 апрелда содир бўлган Газли зилзиласи шаҳарга жиддий зарар етказган. Бу зилзила вақтида яқин атрофда сейсмик асбоблар бўлмаган, шунинг учун ҳам мазкур зилзила тавсифига баҳо беришда узокдаги станцияларнинг маълумотларига суянилган. Бу маълумотларга кўра, зилзила магнитудаси 7; эпицентрдаги кучи 9 балл; гипоцентр чуқурлиги 20–25 км ва Газли шаҳридан 40 км нарида жойлашган деб қаралади. Шундан кейин Газлига турли сейсмик станциялар ўрнатилди, улар афтершокларни қайд этиб боришди. 1976 йил 17 майда такрорий зилзила содир бўлди. Унинг эпицентри аввалгисига жуда яқин ерда жойлашган бўлиб, кучи 9 баллдан юқорироқ, магнитудаси 7,3; манба чуқурлиги 25 км ни ташкил этган. Ўша кезларда эпицентр зонасида Россия ФА нинг Ер физикаси институтининг сейсмик станцияси ўрнатилган. Бу станция ёрдамида илк бор Ўзбекистон ҳудудида содир бўлган зилзила тезланишларининг аъло даражадаги ёзуви ёзиб олинган. Ёзувлар кўрсатишича, максимал вертикал тезланишларнинг

киймати g дан катта бўлиб, горизонталь тезланишлар – $0,65g$ га тенг бўлган. Ушбу зилзила 8 апрелда бошланган бузилишларни ниҳоясига етказди. Шунинг учун 1976 йил 8 апрелда содир бўлган зилзилани 1976 йил 17 майдаги асосий зилзиланинг кучли форшоги, деб қараш ҳам тўғри бўлар.

Биз улкан тоғ массивлари ва грунтли иншоотларнинг бузилишига оид баъзи маълумотлар тўғрисида ҳамда ер сиртида сезиларли ўзгаришларга сабабчи бўлган зилзилалар ҳақида қисқача тўхталиб ўтдик, холос.

Кўриб чиқилган бу аянчли ҳодисалар яна бир бор зилзилабардош бино ва иншоотларни лойиҳалаш ва қуришни тавсия этади. Бунинг учун, дастлаб, зилзила натижасида иншоотга таъсир этадиган сейсмик кучларни аниқлаш талаб этилади. Бу кучлар аслида динамик кучлар сирасига кирса ҳам, уларни аниқлаш анча мураккаб муаммодир. Чунки иншоотнинг мустаҳкамлигига баҳо беришда фақат кучнинг миқдори асосий роль ўйнамасдан, унинг частотавий спектри ва давомийлиги ҳам муҳимдир.

1.11. Зилзила содир бўлишини аниқлаш имкониятлари ҳақида

Зилзила содир бўлишини олдиндан аниқлаш – бу жуда катта муаммо бўлиб, ҳозирги кунда бу муаммо билан дунёнинг бир қатор олимлари шуғулланишмоқда. Шунга қарамадан, ҳозирги кунда бу муаммонинг ечими бўйича бирор эришилган аниқроқ натижа йўқ.

Бу муаммони ҳал қилиш йўлларида бири – бу ер қобиғи жинсларида ҳосил бўладиган кучланишнинг шу жинсларнинг мустаҳкамлик чегарасидаги кучланишдан ошиб, жисмнинг пластик ҳолатга ўтиб деформацияланиш вақтини аниқлаш билан боғлиқдир. Зилзила содир бўлиш вақтини аниқлаш учун шу вақтдаги ер қобиғидаги кучланиш ҳолатини ва жинсларнинг мустаҳкамлик чегарасидаги кучланиш қийматини ва бу кучланишларнинг вақт бўйича ўзгаришини билиш талаб этилади. Лекин бундай маълумотларни аниқлаш ва тўплашнинг ўзи ҳозирги кунда жуда катта муаммолардан биридир.

Зилзилани олдиндан аниқлаш деганда, биринчи навбатда бу ҳодисадан хабар берувчи омиллар тушунилса, иккинчи навбатда сейс-

мик районлаштириш тушунилади. Яъни ҳар бир ҳудудда маълум балл ёки магнитуда билан содир бўлиши мумкин бўлган зилзила тушунилади.

Олиб борилган кузатиш ишлари кўрсатишича, плиталарнинг узилиш жойларида зилзила содир бўлишидан хабар берувчи баъзи белгилар пайдо балади. Яъни кучли зилзила содир бўлишидан олдин (плиталарнинг узилиш жойлари атрофида), ер сиртининг бўртиб чиқиши, бир томонга оғиши ва тоғ жинсларида кичик-кичик ёриқлар пайдо бўлиши, Ер шарининг электр ва магнит майдонларида кичик ўзгаришлар ҳам пайдо бўлиши мумкин. Эпицентри плиталарнинг узилиш жойлари атрофида бўлган кичик зилзилалар сонининг кўпайиши ҳам кучли зилзила содир бўлиш хабарини бериши мумкин. Плиталарнинг узилиш жойлари атрофида қудуқлардаги сув сатҳининг кўтарилиши, ер ости сувлари кимёвий таркибининг ўзгариши ҳам бўлажак зилзиладан хабар берувчи омиллар ҳисобланади. Одатда, олимлар шулар асосида зилзила содир бўлиши ҳақида фикр чиқарадилар.

Инсонлар табиатда содир бўладиган кўп ҳодисаларни сезмаслиги мумкин, лекин ҳайвонларда баъзи ҳодисаларга нисбатан сезги анча кучли ривожланган бўлади. Отлар зилзиладан сал олдин ҳайқириб қочиши, итлар увуллаши, балиқлар сув ташқарисига сакраши, илон, сичқон ва каламушлар эса тезлик билан инларини ташлаб чиқиши мумкин. Яъни, ҳайвонлар зилзиладан олдин тарқаладиган маълум частотали товушларни сезиши, қудуқлардаги сув сатҳининг ўзгаришларини ёки бизга номаълум бўлган бошқа ҳодисаларни одамлардан олдин сезиб, безовталанишлари мумкин деб ҳисобланади.

Зилзилаларни олдиндан аниқлаш уч қисмга бўлинади, яъни узоқ муддатдан (бир неча 10 йиллардан) кейин содир бўлиши мумкин бўлган зилзилалар, ўрта муддатлардан (бир неча йилдан) кейин содир бўлиши мумкин бўлган зилзилалар ва қисқа муддатларда (яъни бир неча ҳафта ёки ой ичида) содир бўлиши мумкин бўлган зилзилалар. Узоқ йиллар давомида ҳар хил усуллардан фойдаланиб олиб борилган кузатувлар асосида, бўлиши мумкин бўлган зилзилани олдиндан ҳаққоний ва аниқ айтилганлигига Хитойнинг Хайчен шаҳрида 1975 йил 4 февралда содир бўлган зилзилани мисол қилиб келтириш мум-

кин. Бу ҳолда, асосий zilзиладан олдин бир нечта кучсиз zilзилалар содир бўлганлиги учун, 1975 йил 4 февраль соат 14.00 да аҳолига zilзила содир бўлиши ҳақида хавфли ҳолат эълон қилинган. Шу куни, соат 19.36 да кучли асосий (магнитудаси $M=7,2$ бўлган) zilзила содир бўлган. Шаҳар вайрон бўлса ҳам, аҳоли орасида талофат кам бўлган. Zilзила содир бўлишини бундай аниқликда олдиндан айтиш жуда камдан-кам учрайдиган ҳолат.



1.17-расм. Ўзбекистон Республикаси ҳудудининг умумий сейсмик районлаштириш харитаси

Зилзилалар келтириши мумкин бўлган талофатларни камайтириш мақсадида, ҳар хил масштабда ва ҳар хил даражада ҳудудларни сейсмик районлаштириш ишлари давлат миқёсида амалга оширилиб, сейсмик районлаштириш карталари ишлаб чиқилади. Бу ишларни амалга оширишда геологик, тектоник, сейсмологик, физик ва бошқа бир қанча омиллар инобатга олинади. Тузилган ва тасдиқланган сейсмик районлаштириш картасидаги маълумотларни барча қурилиш ташкилотлари бажаришга мажбур, ҳатто уни бажариш иншоотнинг қурилишини қимматлаштирган тақдирда ҳам. Одатда, ҳудудларни сейсмик районлаштириш карталари катта ва кичик масштабларда тузилади. Шаҳар ва катта саноат районлари учун деталлаштирилган микросейсмик районлаштириш карталари тузилади. Бу картада кичик участкаларнинг геологик тузилиши, у ерда жойлашган грунтларнинг тузилиши, уларнинг ўзига хос хусусиятлари, тоғ жинсларининг бўртиб чиққан жойлари, уларнинг турлари ва шу жой учун аҳамиятли бўлган бошқа маълумотлар ҳам келтирилади.

Бизнинг республикамизда ҳам худди шундай изланишлар асосида барча вилоятлар, шаҳарлар ва туманлар учун сейсмик районлаштириш (микрорайонлаштириш) картаси тузилган (1.17-расм).

У ЎзР Давлат архитектура-қурилиш қўмитаси томонидан 1995 йилда тасдиқланган. Давлатимиз ҳудудида қуриладиган барча бино ва иншоотлар шу ҳужжат (ҚМҚ 2.01.03-96) асосида қурилиши шарт. Бу картада ҳар бир жой учун алоҳида кўрсатилган зилзила бали бирламчи маълумот ҳисобланади. Бинони лойиҳалашда бу балл қурилиш майдончасининг хусусиятларига қараб аниқлаштирилади ва шу аниқлаштирилган балл асосида барча лойиҳа ишлари амалга оширилади.

1.12. Зилзила вақтида қўриладиган баъзи бир эҳтиёт чоралар

Зилзила огоҳлантирмасдан, тўсатдан рўй берадиган ҳодиса бўлгани учун, ҳар доим бундай фавқулодда содир бўладиган ҳодиса вақтида қилиниши керак бўладиган ҳаракатларимизни олдиндан режалаштириб қўйишимиз керак. Инсонларнинг ҳалок бўлиши ёки жароҳатланишига ер турткиси сабаб бўлмаслиги маълум. Зилзила

вақтидаги жабрланиш, асосан бино, иншоотлар ва улар элементларининг кулаши ва бузилиши натижасида содир бўлади.

Шунга асосан, зилзила вақтида хавф туғдирадиган омиллар қуйидагиларни ташкил қилади: тўла ёки қисман бино ва иншоотнинг бузилиши; бузилиш натижасида бинодан отилиб чиққан ёки учиб келаётган қисмларининг инсонларни шикастлаши; ёнғин ҳосил бўлиши; электр симлари узилиб, ток уриши; газ чиқиб, портлаш ҳодисасининг рўй бериши энг катта талофат етказувчи омиллардир.

Энг асосийси – зилзила вақтида тез ҳаракат қилиш керак бўлса ҳам, лекин ваҳимага тушмаслик керак. Бу вақтда, биринчи навбатда болаларни ва ёши улуғ одамларни сақлаш учун эҳтиёт чораларни кўриш керак. Зилзила вақтида энг хавфсиз жой бино, иншоот бўлмаган ва электр симлари ўтмаган очиқ жойлар ҳисобланади. Бир неча секунд ичида шу жойларга етиб бориш, мумкин бўлса шу жойларга интилиш керак, имконият бўлмаса, биринчи турткидаёқ мустаҳкам предметларнинг остига беркиниш керак. Туртки тугаши билан тезликда очиқ жойга чиқишнинг ҳаракатини қилиш керак. Агар имкониятингиз бўлса, электр ва газ асбобларини тезлик билан ўчириш керак. Лифтдан фойдаланмасликка ҳаракат қилиш керак.

Агар кўчада бўлсангиз хавф туғдирадиган шчит, фонарь, симёғоч ва бинолардан узоққа қочиш керак.

Зилзила тугагандан кейин шикастланган бино ва иншоотлар ичига киришга шошилманг, чунки афтершок ёки асосий зилзила содир бўлиб қолиши мумкин. Шикастланганларга ёрдам қилишга ва ҳаммасининг ўчирилганлигига ва газ ҳидининг йўқлигига ишонч ҳосил қилиш учун, яна бир бор электр ва газ асбобларини қараб чиқишга ҳаракат қилиш керак. Бу ишлар амалга ошириладиган вақтда асло гу-гурт чакмаслик ва учкун чиқармасликка ҳаракат қилиш керак.

Бу ерда зилзила вақтида ёки ундан кейинги қисқа вақт давомида кўриладиган чораларнинг баъзи бирлари келтирилди, холос. Бу мавзу билан махсус адабиётлар ёрдамида чуқурроқ танишиш мумкин.

Тебранишлар назарияси

2.1. Динамик юкларнинг турлари

Статик кучлар нолдан бошлаб, вақт бўйича аста-секин ўзгариб боради ва ўзининг охириги қийматига эришгач, ўзгармас бўлиб қолади ёки уларнинг вақт бўйича ўзгаришлари жуда кичик бўлади.

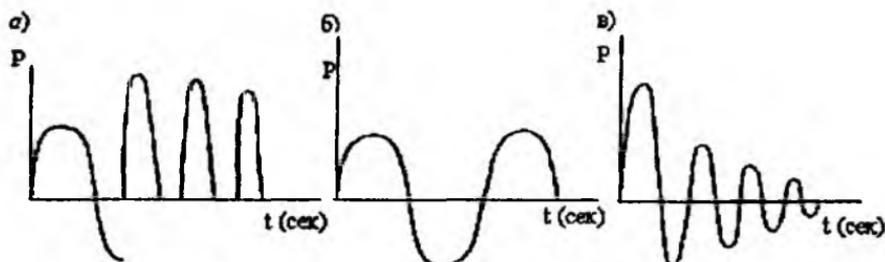
Динамик кучларнинг статик кучлардан фарқи шундаки, динамик кучлар вақт бўйича тез ўзгариб, иншоот нуқталарида маълум тезланишларни вужудга келтиради ва иншоот элементларида, масаларида инерция кучларини ҳосил қилади. Динамик кучлар таъсирида иншоотда вужудга келадиган деформациялар ва кучланишлар вақтнинг функцияси ҳисобланади. Бундай кучлар таъсирида иншоот қисмларида вужудга келган ҳаракатлар кучларнинг таъсири тўхтагандан кейин ҳам давом этиши мумкин.

Иншоотнинг исталган нуқтасида вақтга боғлиқ ҳолда зўриқиш, кучланиш ва кўчишларни, шунингдек, уларнинг максимал қийматларини аниқлаш масаласи иншоотлар динамикаси ёки сейсмик мустаҳкамликнинг асосий масаласи ҳисобланади. 2.1-расмда динамик юкларнинг вақт бўйича ўзгаришини ифодаловчи графиклар келтирилган. 2.1а-расмда жуда қисқа вақт ичида таъсир этувчи зарба кучи графиги тасвирланган.

Мувозанатлашмаган массага эга бўлган машина қисмларининг бир маромда айланиши натижасида гармоник деб аталувчи вибрацион ёки микросейсмик куч ҳосил бўлади. Унинг вақт бўйича ўзгариш графиги 2.1б-расмдаги кўринишга эга бўлади. Сейсмик таъсирлар натижасида динамик кучнинг ўзгариш графиги 2.1в-расмда ўз ифодасини топган.

Титраш (вибрация) ҳодисаси пайдо бўладиган ва қўлланиладиган жойига қараб, салбий ёки ижобий ҳодиса сифатида қаралиши мум-

кин. Масалан, бетон массасини зичлаштиришда, сочилувчан материалларни бир жойдан иккинчи жойга кўчиришда, свай қозикларни ўрнатишда вибрация ходисасидан ижобий ҳодиса сифатида кенг фойдаланилади. Қолган ҳолларда бу ҳодиса бир қатор салбий оқибатларга олиб келиши мумкин.



2.1-расм. Динамик кучларнинг вақт бўйича ўзгариши

2.2. Динамикада қабул қилинган асосий фаразлар

Иншоотларни статик ва динамик кучларга ҳисоблашда ҳақиқий объектнинг ўзидан эмас, балки унинг идеаллаштирилган (шартли) схемасидан фойдаланилади. Объект идеаллаштирилганда, биринчидан, унинг барча хусусиятларини тўлиқ ҳисобга олиш лозим бўлади, иккинчидан, ҳисоб ишларининг техник имкониятлари ҳам инobatга олинади. Иншоотлар динамикасида ҳам материаллар қаршилиги фанида қўлланилган гипотеза ва фаразларга амал қилинади, яъни материаллар яхлит, бир жинсли ва изотроп деб қаралади.

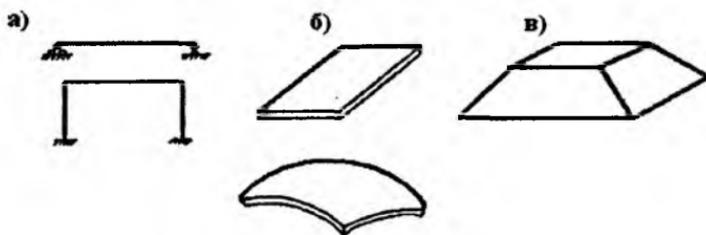
Деформациялар конструкцияларнинг ўлчамларига нисбатан кичик деб фараз қилинади, бу эса кўчишларни кўшиш усулидан ва кучлар таъсирининг мустақиллиги принципи (суперпозиция принципи)дан фойдаланиш имконини яратади.

Иншоотлар динамикасини ўрганишнинг биринчи босқичида идеал-эластик жисм модели қабул қилинади, яъни материал Гук қонунига бўйсунди деб фараз қилинади. Ушбу гипотеза ҳисоб ишларида қўлланиладиган математик аппаратни соддалаштиради, ammo мазкур гипотеза қўлланилганда эркин тебранишнинг сўнишидек муҳим омил эътибордан четда қолади. Ҳақиқий материалларда тебраниш

энергияси камаё боради, бу ҳол тебранишни сўнишига олиб келади. Сўниш жараёни материалнинг ички қаршилиги, “ички ишқаланиши” ёки материалнинг қовушқоқ-эластик хусусиятларига боғлиқ. Бу ҳодисанинг физик моҳияти охиригача ҳал этилмаган. Ҳисоб ишларида ички ишқаланишнинг табиатини инобатга олиш ҳақида қатор гипотезалар мавжуд бўлиб, турли моделлар яратилган. Масалан, Максвелла, Фойгта, Кальвин-Фойгта, Сорокин моделлари ва чизикли қовушқоқ эластик (вязко-упругий) жисмлар учун Болцман-Волтернинг наслий модели ана шулар жумласидандир.

Динамик ҳисобларда материалнинг хоссалари қаралаётган жараёнга боғлиқ бўлиши ҳам мумкин, яъни бу ҳолда эластикликнинг динамик модулидан фойдаланиш иншоот ҳолатини баҳолашда тўғри натижаларга олиб келади. Маъно моҳияти жиҳатидан эластикликнинг динамик модули ҳам статикадаги Юнг модулидек миқдор бўлиб, Гук қонунидаги кучланиш ва нисбий деформация ўртасидаги пропорционаллик коэффициентидир. Фақат эластикликнинг динамик модули ($E_{дин}$) эластикликнинг статик модулидан кичик, яъни ($E_{дин} < E_{ст}$) бўлади. Бундан ташқари, эластикликнинг динамик модули доимий миқдор бўлмай, тебранишлар частотасига боғлиқ (частота ортиши билан $E_{дин}$ камаёди) бўлган катталиқдир. Бироқ, ҳисоб ишларининг биринчи босқичида эластикликнинг динамик ва статик модулларини шартли равишда ўзаро тенг деб олиш мумкин.

Ҳисоблаш схемаларини тузишда барча муҳандислик иншоотлари уч асосий турга ажратилади (2.2-расм): а) стерженли системалар (балка, рама, арка, ферма); б) пластина ва қобиклар; в) массив иншоотлар.



2.2-расм. Ҳисобий схемаларнинг турлари

Иншоотларнинг барча турларини ҳисоблашда эластиклик назариясининг текис ёки фазовий масалалар учун берилган тўлиқ тенг-

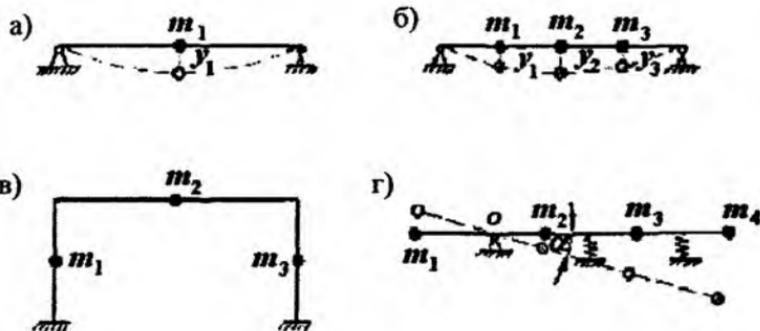
ламалар системасидан фойдаланса бўлади, ammo бу жуда мураккаб математик аппаратни қўллаш билан боғлиқ. Шунинг учун аксарият ҳолларда тақрибий техник назариялардан фойдаланилади.

Иншоотлар динамикасида тузиладиган тенгламалар системасининг статика масалаларини ечишда қўлланиладиган тенгламалар системасидан фарқи шундан иборатки, бунда динамиканинг мувозанат тенгламаларидан ёки ҳаракат тенгламаларидан фойдаланилади. Бундай тенгламалар назарий механикадан маълум бўлган Даламбер принципи асосида, статика тенгламаларига инерция кучларини қўшиш орқали ҳосил қилинади. Динамиканинг мувозанат тенгламаларида кўчишлардан вақт бўйича олинган иккинчи тартибли ҳосилаларни (тезланишларни) ўз ичига олувчи инерция кучларининг мавжуд бўлиши, мазкур тенгламаларнинг моҳиятини белгилайди (Эслатиб ўтамиз: Вақт бўйича биринчи ҳосила тезликни, иккинчи ҳосила тезланишни беради. Инерция кучи эса масса билан тезланишнинг кўпайтмасига тенг).

Динамик ҳисобларнинг мураккаблиги қаралаётган системанинг эркинлик даражасига боғлиқ бўлади. Эркинлик даражаси деганда система тебранганида исталган вақт оралиғида массаларнинг ҳолатини белгиловчи геометрик параметрлар, яъни мумкин бўлган ихтиёрий кўчишлар сони тушунилади.

Шуни назарда тутиш лозимки, иншоотлар динамикасидаги эркинлик даражаси тушунчаси иншоотлар статикасидаги тушунчадан биров фарқ қилади. Иншоотлар статикасида кинематик таҳлил бўйича эркинлик даражасини аниқлашда, конструкция элементларининг хусусий деформацияси ҳисобга олинмай, мутлақ қаттиқ жисм деб қаралади. Иншоотлар динамикасида эса, системанинг эркинлик даражасини аниқлашда, айнан унинг эластик ёки эластик-пластик деформациялари кўрилади.

Масалан, 2.3а-расмда кўрсатилган битта тўпланган m_1 массали вазнсиз балканинг эркинлик даражасини бирга тенг деб қараш мумкин, чунки бу массанинг ҳолати биргина параметр y_1 билан аниқланади. 2.3б-расмда кўрсатилган учта тўпланган (m_1, m_2, m_3) массали балканинг эркинлик даражаси учга тенг, чунки m_1, m_2, m_3 массаларнинг ҳолати y_1, y_2, y_3 солқиликлар орқали аниқланади.



2.3-расм. Ҳар хил эркинлик даражасига эга бўлган системалар

2.3в-расмда тасвирланган тўпланган уч (m_1, m_2, m_3) массали рамининг эркинлик даражаси тўртга тенг, сабаби m_1 ва m_3 массаларнинг ҳолати фақат горизонталь йўналишдаги кўчишлар орқали, m_2 массанинг ҳолати эса ҳам горизонталь, ҳам вертикал кўчишлар орқали ифодаланади.

Агар стерженларнинг бўйлама деформациялари ҳам ҳисобга олинса, 2.3в-расмда кўрсатилган раманинг эркинлик даражаси олтига тенг бўлади, чунки бунда m_1, m_2 ва m_3 массалар фақат горизонталь эмас, балки вертикал кўчишларга ҳам эга бўлади. Бироқ, кўпинча стерженларнинг бўйлама деформацияларининг қиймати кичик бўлганлиги сабабли, улар ҳисобга олинмайди. Чексиз катта бикирликка эга бўлган балканинг эркинлик даражаси массаларининг сони қанча бўлишидан қатъи назар, бирга тенг бўлади (2.3г-расм). Чунки барча массаларнинг ҳолати биргина параметр, яъни системанинг 0 нуқтасига нисбатан айланиш бурчаги α билан аниқланади.

Агар қаралаётган иншоотда массалар бир нуқтага тўпланмаган бўлса, у ҳолда айланиш инерцияларини ҳам ҳисобга олиш лозим бўлади. Бунда барча кўриб ўтилган мисоллардаги эркинлик даражалари ортиб кетади. Чунки бу ҳолда массалар ҳолатини аниқлашда чизикли кўчишлардан ташқари, бурчакли кўчишларни ҳам ҳисобга олишга тўғри келади.

Агар эластик система ёйилган массали деб қаралса, у ҳолда бундай системанинг эркинлик даражаси чексиз кўп бўлади. Аниқроқ қилиб айтсак, аслида барча иншоотларнинг массалари ёйилган бўла-

ди, уларнинг эркинлик даражаси ҳамма вақт чексиз бўлади, бироқ аксарият ҳолларда (кичик факторлар эътиборга олинмасдан) уларнинг эркинлик даражаси чекли сонга келтирилади.

Иншоотлар динамикасида, асосан, қуйидаги ҳаракат турлари кўрилади:

Хусусий тебранишлар энг тартибли ҳаракатлар бўлиб, ташқи таъсирларсиз содир бўлади. Бунда системанинг (массалар) барча нуқталари ягона гармоник қонун бўйича турли амплитудаларда тебранади.

Барқарорлашган (турғун) мажбурий тебранишлар ташқи даврий таъсирлардан вужудга келувчи тебранишлар бўлиб, бу ҳолда системанинг ҳаракати жуда узоқ вақт давом этади, деб қаралади. Шунинг учун бошланғич шартлар система ҳаракатига таъсир этмайди.

Барқарорлашмаган (нотурғун) мажбурий тебранишлар нодаврий таъсирлар натижасида вужудга келади. Бу ҳолда қаралаётган нотурғун тебранишлар қисқа муддатли бўлади, шунинг учун ҳам системанинг ҳолати унинг бошланғич кўчиши ва тезлигига боғлиқ бўлади.

Эркин тебранишларни нотурғун мажбурий тебранишларнинг хусусий ҳоли сифатида қараш мумкин, чунки улар $t=t_0$ дақиқадаги бошланғич таъсир натижасида вужудга келади, кейин эса ташқи таъсирлардан холи бўлади.

Хусусий ва эркин тебраниш тушунчалари бир-биридан фарқланади. Эркин тебранишлар хусусий тебранишларнинг суперпозицияси (йиғиндиси) ҳисобланади. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системалардагина бу тушунчалар ўзаро мос тушади.

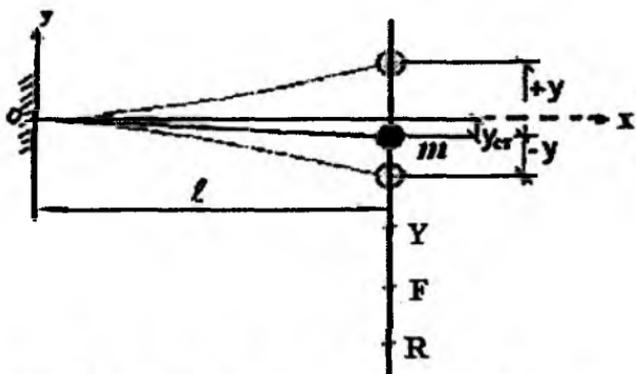
2.3. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг эркин тебраниши

2.3.1. Сўниш ҳисобга олинган ҳолат

Агар эластик система бирор ташқи таъсир натижасида мувозанатдан чиқарилса, ташқи таъсир олингач, система сўнувчи эркин тебраниш ҳаракат қилади.

Бир учи бикир маҳкамланган, иккинчи учига тўпланган масса m қўйилган балканинг (яъни эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системанинг) эркин тебранишини кўриб ўтамиз (2.4- расм).

Бу ҳолда куч $Q=mg$ ($g=981$ см/сек²) қўйилган нукта шу куч таъсирида $y_{ст}$ масофага кўчади. Статик куч Q таъсирида ҳосил бўлган балканинг эластик чизиғи 2.4-расмда туташ чизиқ билан тасвирланган.



2.4-расм. Бир массали системанинг эркин тебраниши

Балканинг эркин тебранишида вақтнинг исталган дақиқасида статик мувозанат ҳолатидан “ y ” масофага кўчган m массага тикловчи куч R , қаршилик кучи F ва инерция кучи Y таъсир қилади (эслатма: пастга йўналган кучлар, кўчиш, тезлик ва тезланишларни мусбат деб қабул қилиб, ҳар бир кучни алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз).

Тикловчи куч R балканинг эластик реакцияси бўлиб, m масса статик мувозанат ҳолатидан кўчганда вужудга келади. Бу куч массани статик мувозанат ҳолатига қайтаришга интилиб, кўчишга қарама-қарши томонга йўналади ва қабул қилинган ишора коидасига кўра манфий ишорада олинади. Тикловчи куч тўпланган масса қўйилган нуктанинг кўчиш масофаси “ y ” га тўғри пропорционал бўлади, яъни

$$R = -ry \quad (2.1)$$

Пропорционаллик коэффициенти $-r$ масса қўйилган нукта бирга тенг масофага кўчганда, балкада ҳосил бўладиган реакция кучи бўлиб, қуйидаги $r = \frac{1}{\delta_{11}}$ ифодадан топилади.

Бу ерда δ_{11} Q кучи қўйилган нуктанинг бирлик куч $\bar{Q} = 1$ таъсирида ҳосил бўлган кўчиши.

Материаллар қаршилиги курсидан биламизки, узунлиги ℓ ва эгилишдаги бикирлиги EI_x бўлган консол балканинг максимал солқилиги $\delta_{11} = \frac{Q\ell^3}{3EI_x} = \frac{\ell^3}{3EI_x}$ формула билан аниқланади, бинобарин $r = 1/\delta_{11} = \frac{3EI_x}{\ell^3}$ бўлади.

Қаршилик кучи F – материалдаги ички ишқаланиш, конструкция элементларининг бирикма ва таянч қурилмаларидаги ишқаланиш, шунингдек ташқи муҳит (ҳаво ва сув) қаршиликларидан ҳосил бўладиган куч бўлиб, нозластик қаршиликларни пайдо қилади ва у энергиянинг сўнишига олиб келади.

Қаршилик кучи F ҳаракат тезлиги $v = \dot{y}$ га пропорционал бўлиб, ҳаракат йўналишига қарама-қарши йўналади, яъни:

$$F = -k \, dy/dt = -k \dot{y} \quad (2.2)$$

Бу ерда: k – пропорционаллик коэффиценти бўлиб, унинг физик маъносига кейинроқ тўхталамиз; t -вақт.

Инерция кучи Y – масса m билан тезланишнинг (яъни кўчишдан вақт бўйича олинган иккинчи тартибли ҳосиланинг) кўпайтмасига тенг бўлиб, тезланишга нисбатан қарама-қарши томонга йўналади:

$$Y = -m d^2y/dt^2 = -m \ddot{y} \quad (2.3)$$

У ҳолда Даламбер принципига кўра m массага таъсир этувчи барча кучларнинг динамик мувозанат тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\Sigma Y = Y + F + R = 0 \quad (2.4)$$

Q куч эса бу тенгламага кирмайди, чунки кўчишлар нолдан эмас, статик мувозанат ҳолатидан бошлаб ҳисобланади.

(2.4) тенгламадаги R , F ва Y кучларнинг ўрнига (2.1) – (2.3) ифодаларни қўйиб, чизикли бир жинсли бўлган иккинчи тартибли дифференциал тенгламага эга бўламиз:

$$\ddot{y} + \frac{k}{m} \dot{y} + \frac{r}{m} y = 0 \quad (2.5)$$

Мазкур дифференциал тенгламанинг ечими қуйидаги кўринишда изланади:

$$y = a_0 e^{-\frac{kt}{2m}} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2.6)$$

Бу ерда: e – натурал логарифм асоси ($e = 2,714$);

ω – эркин тебранишнинг доиравий частотаси, яъни 2π секунд давомидаги тебраниш цикларининг сони

$$\omega = \sqrt{(r/m) - [k/(2m)]^2} \quad (2.7)$$

a_0 – эркин тебранишнинг бошланғич амлитудаси

$$a_0 = \sqrt{y_0^2 + \left(\frac{V_0 + y_0 k / (2m)}{\omega}\right)^2} \quad (2.8)$$

φ_0 – эркин тебранишнинг бошланғич фазаси бўлиб, массанинг ҳаракат бошидаги оғишини ифодалайди

$$\varphi_0 = \arcsin(y_0/a_0) \quad (2.9)$$

y_0 – массанинг бошланғич кўчиши

$$y_0 = a_0 \sin(\varphi_0) \quad (2.10)$$

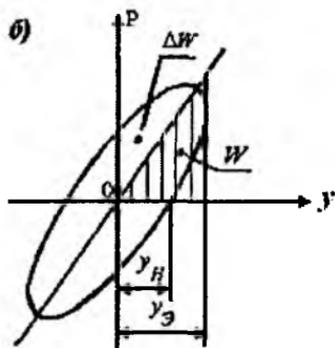
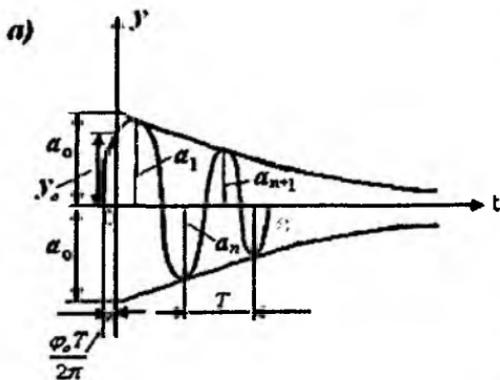
V_0 – массанинг бошланғич тезлиги.

Аниқ масалаларни ечишда бошланғич шартлар (y_0 ва V_0 лар) берилган бўлади.

Сўниш ҳисобга олинган ҳолатда бир массали системанинг эркин тебраниш графиги (2.6) ечимга асосан 2.5а-расмда тасвирланган.

Тўлиқ тебраниш циклига кетган вақт (сек) тебраниш даврини ифодалаб, қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$T = 2\pi/\omega \quad (2.11)$$



2.5-расм. Бир массали системанинг сўнувчи эркин тебраниши (а) ва гистерезис сиртмоғи (б)

Тебраниш сўнишини ифодаловчи биринчи катталиқ – бу эркин тебранишнинг иккита кетма-кет амплитудалари нисбатининг натурал логарифми бўлиб, у тебранишнинг логарифмик декременти деб аталади, яъни:

$$\delta = \ell n \frac{a_n}{a_{n+1}} = \ell n \frac{e^{-k t_n / (2m)}}{e^{-k t_{n+1} / (2m)}} = \ell n e^{k(t_{n+1} - t_n) / (2m)} =$$

$$= \ell n e^{kT / (2m)} = kT / (2m) = \alpha T \quad (2.12)$$

$\alpha = k / (2m)$ микдор сўниш коэффиценти дейилади.

Сўнувчи системада ташқи куч « P » билан кўчиш « y » орасидаги боғланиш чизиксиздир, шунинг учун тебранишнинг ҳар бир циклида $P \sim y$ диаграммасида гистерезис сиртмоғи деб аталувчи ёпик эгри чизик ҳосил бўлади (2.5б-расм). Гармоник тебранишда гистерезис сиртмоғининг маркази координата бошида бўлиб, эллипс кўринишига эга бўлади. Бир цикл мобайнидаги ноэластик қаршилиқларга сарфланган ишни ΔW деб, чорак цикл мобайнида эластик кучларнинг бажарган ишини W десак, у ҳолда қуйидаги катталиқ энергиянинг ютилиш коэффиценти ифодалайди:

$$\psi = \frac{\Delta W}{W} \quad (2.13)$$

Маълумки, ΔW , W ишлар $P \sim y$ координаталарида тегшли шаклларнинг юзалари орқали ифода этилади. Масалан, 2.5б-расмдаги, ΔW – иш эллипс юзаси, W эса штрихланган учбурчак юзаси орқали ифодаланади, яъни:

$$W = Py / 2 = y^2 / 2\delta_{11}, \text{ бундан } dW = (y / \delta_{11}) dy \quad (2.14)$$

Амплитудаси ўзгарувчан бўлган сўнувчи эркин тебранишда энергиянинг ютилиш коэффиценти Ψ нинг қийматини (циклнинг T даври учун) (2.13) формулага асосан қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\psi = \Delta W / W = - \int_0^{T/4} dW / W = -2 \int_0^{T/4} dy / y = 2\ell n(a_n / a_{n+1}) = 2\delta \quad (2.15)$$

Баъзи бир конструкция элементлари учун тажрибада аниқланган энергиянинг ютилиш коэффиценти Ψ нинг ўртача қийматлари 2.1-жадвалда келтирилган.

Ўтказилган тажрибалар кўрсатишича, материаллар учун Ψ нинг қиймати шу материаллардан қурилган конструкцияларникидан анча кичик бўлади.

ψ коэффициентининг ўртача қийматлари

Темирбетон балкалар	Темирбетон рамалар	Ғиштли деворлар	Цемент билан қотирилган тошли деворлар
0,35-0,60	0,25-0,38	0,24-0,37	0,19-0,33

Ҳисоб ишларини бажаришда кўпроқ конструкция материалларининг ноэластик қаршилик коэффициенти γ дан фойдаланилади, яъни:

$$\gamma = y_H / y_E = \psi / (2\pi) = \delta / \pi = kT / (2\pi m) = k / (m\omega) \quad (2.16)$$

Бу ерда: y_H – ноэластик деформация амплитудаси; y_E – эластик деформация амплитудаси.

Турли материаллар учун тажрибада аниқланган γ коэффициентининг қийматлари 2.2-жадвалда берилган.

 γ коэффициентининг қийматлари

Инерция кучининг қиймати, кгк	Ноэластик қаршилик коэффициенти - γ				
	Темирбетон		Ғишт	Еғоч	Пўлат прокат
	Олдиндан зўриктирилган	Зўриктирилмаган	Девор		
<100	0,025	0,05	0,04	0,03	0,01
≥ 100	0,05	0,1	0,08	0,05	0,025

Бу ерда кўриб чиқилган сўнишни ифодаловчи катталиклар билан (2.5) тенгламадаги пропорционаллик коэффициенти k ўртасида қуйидагича боғланиш мавжуд:

$$k = 2m\delta / T = m\psi / T = m\gamma\omega = 2m\alpha = \gamma\sqrt{rm} \quad (2.17)$$

Шундай қилиб, (2.17) ифодадан кўринадики, k коэффициенти фақат материалнинг физик хоссасига боғлиқ бўлмасдан, у конструкциянинг массаси ва бикирлигига ҳам боғлиқ бўлган катталик экан.

Кўп ҳолатларда мураккаб системалар учун ҳисоб ишларини бажаришда қаршилик кучи F ни системанинг массаси ёки бикирлигига пропорционал деб қабул қилинади.

2.3.2. Сўниш ҳисобга олинмаган ҳолат

Агар тебранишнинг сўниши ҳисобга олинмаса, яъни $k=0$ деб олинса, (2.5) тенгламанинг ечими қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$y = a_0 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2.18)$$

$$\omega = \sqrt{r/m} = 1/\sqrt{\delta_{11}m} = \sqrt{g/y_{cm}} \quad (2.19)$$

$$a_0 = \sqrt{y_0^2 + (V_0/\omega)^2} \quad (2.20)$$

$$\varphi_0 = \arcsin(y_0/a_0) \quad (2.21)$$

Бу ерда $y_{cm} = \delta_{11}Q$ статик куч $Q=mg$ таъсиридан вужудга келган кўчиш.

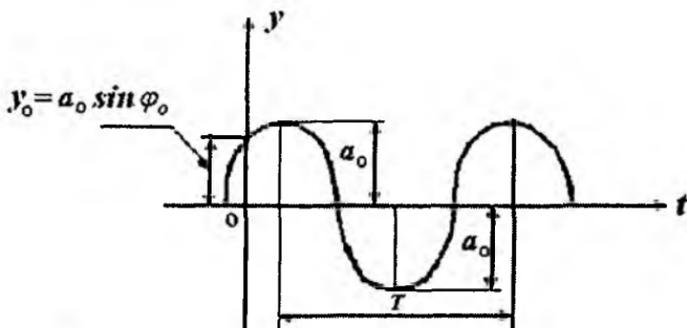
(2.18) ифодани дифференциаллаш орқали гармоник тебранишнинг тезлиги ва тезланишини аниқлайдиган формулаларга эга бўламиз:

$$V = \dot{y} = a_0 \omega \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (2.22)$$

$$W = \ddot{y} = -a_0 \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2.23)$$

2.6- расмда сўниш ҳисобга олинмаган бир массали системанинг эркин тебраниш графиги 2.18-ечимга асосан тасвирланган.

Бу ерда статик мувозанат ҳолатдан максимал оғишни ифодаловчи a_0 микдор тебраниш амплитудаси деб аталади. φ_0 микдор эса тебранишнинг бошлангич фазаси ҳисобланади.



2.6-расм. Сўниш ҳисобга олинмаган бир массали системанинг эркин тебраниш графиги

Бу ҳолда (2.5) тенгламанинг ечими (2.18) даври T бўлган даврий функция бўлиб, вақтнинг барча қийматларида, яъни $t=t_1$, $t=t_1+2\pi/\omega$, ... $t=t_1+2\pi n/\omega$ да бир хил қийматга эга бўлади. Шунинг учун давр T , яъни тўлиқ тебраниш цикли учун кетган вақт (2.11) формула орқали

ифодаланади. Бу катталиқ 2.6-расмда иккита ёнма-ён амплитудалар орасидаги вақт кесмаси шаклида кўрсатилган бўлиб, у вақт ўлчов бирлигида, яъни секундларда ўлчанади.

Тебраниш частотаси f бир секунд вақт ичидаги тўлиқ тебранишларнинг сони бўлиб, у герцларда (Гц) ўлчанади ва қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$f = 1/T = \omega / (2\pi) \quad (2.24)$$

(2.19) ифодадан кўринадики, эластик системанинг солқилиги ортиши билан (яъни биқирликнинг камайиши билан), тебраниш частотаси камаяди. Массанинг ортиши ҳам частотанинг камайишига олиб келади.

Бир минутдаги тебранишлар сони " **n** " **техник частота** деб аталади. Техник частота " **n** " тебранишнинг бошқа параметрлари билан қуйидагича боғланган:

$$\begin{aligned} n = 60f &= 60/T = 60\omega / 2\pi = 30\omega / \pi = \\ &= (30/\pi)\sqrt{981/y_{ст}} \approx 300/\sqrt{y_{ст}} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Келтирилган натижалардан кўринадики:

– сўнишни ҳисобга олиш, яъни (2.7) га асосан эркин тебраниш частотаси ω қийматининг камайишига олиб келади. Аммо илдиз остидаги иккинчи ҳад, одатда, биринчисига нисбатан анча кичик бўлади, шунинг учун бу таъсир унча аҳамиятли бўлмайди;

– эркин тебраниш частотаси ω нинг қиймати (2.7) ёки (2.19) га асосан кўпроқ масса ўрнатилган эластик система нуктасининг кўчиши " $y_{ст}$ " га боғлиқдир.

2.4. Иншоот нуқталарининг кўчишларини аниқлаш

Стерженли системаларда иншоот нуқталарининг кўчишларини аниқлаш учун турли усуллар мавжуд: бевосита интеграллаш усули, бошланғич параметрлар усули ва бошқалар ана шулар жумласидандир. Бу усуллар орасида универсал Мор формуласи ўзининг қулайлиги билан ажралиб туради. Гук қонуни чегарасида бу усул орқали ҳар қандай стерженли системалардаги кўчишларни аниқлаш мумкин.

Кўчишларни мазкур усул орқали аниқлаш учун аввал ташқи кучлар таъсирида ҳосил бўладиган ички кучлар аниқланади:

$$M_{3z}^P = f(x_n), M_{\delta}^P = f(x_n), N^P = f(x_n), Q^P = f(x_n)$$

Сунгра кўчиши аниқланаётган нуқтага ўлчовсиз бирлик куч $\bar{P}=1$ кўйилади, бу ҳолда кучнинг йўналиши кўчиш йўналиши билан бир хил бўлиши лозим. Стержен кўндаланг кесимининг буралиш бурчаги аниқланадиган бўлса, шу кесимга ўлчовсиз буровчи момент кўйилади.

Кейин ўлчовсиз бирлик кучлар тасирида вужудга келадиган ички кучларни аниқлайдиган ифодалар тузилади:

$$\bar{M}_{3z} = f(x_n), \bar{M}_{\delta} = f(x_n), \bar{N} = f(x_n), \bar{Q} = f(x_n)$$

бу ерда “ n ” участкаларнинг тартиб номери.

Нуктанинг кўчиши Δ_{CT} (ёки y_{CT}) деб белгиланади ва у Мор формуласи ёрдамида аниқланади:

$$\Delta_{CT} = \sum_0^{\ell} \int \frac{M_{3z}^P \bar{M}_{3z}}{EI_x} dx + \sum_0^{\ell} \int \frac{M_{\delta}^P \bar{M}_{\delta}}{GI_{\rho}} dx + \sum_0^{\ell} \int k \frac{Q^P \bar{Q}}{GF} dx + \sum_0^{\ell} \int \frac{N^P \bar{N}}{EF} dx \quad (2.26)$$

Бу ерда: ℓ – участка узунлиги; EI_x , GI_{ρ} , GF , EF – стерженнинг эгилиш, буралиш, силжиш ва чўзилишдаги бикирликлари; k – кўндаланг кесим шаклига боғлиқ бўлган коэффициент; Σ – интеграллаш ҳар бир участка учун алоҳида бажарилишини ва натижалар жамланишини билдирадиган белги. Агар аниқланган кўчиш мусбат ишора билан чиқса, бу кўчишнинг йўналиши бирлик куч йўналиши билан бир хил эканлигини билдиради.

Эгилишга ишлайдиган системаларнинг кўчишларини аниқлашда, амалда фақат эгувчи моментлар $M^P = M_{3z}^P$, $\bar{M} = \bar{M}_{3z}$ ҳисобга олинади, бошқа куч омиллари эса истисно қилинади, яъни:

$$y_{CT} = \sum_0^{\ell} \int \frac{M^P \bar{M}}{EI_x} dx \quad (2.27)$$

Агар EI_x бирор участка оралиғида ўзгармас қийматга эга бўлса, уни интегралдан ташқарига чиқариш мумкин.

Умуман олганда, кўчишларни Мор усули ёрдамида аниқлаш учун ташқи ва бирлик кучлардан ички кучлар эпюраларини куриш шарт эмас. Аммо эпюралар курилган бўлса, у ҳолда Мор интегралини Верешчагин қондасидан фойдаланиб графоаналитик усул билан аниқлаш мумкин (2.3-жадвал).

Ушбу усул қуйидаги ифодага асосланган:

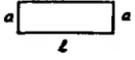
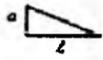
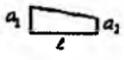
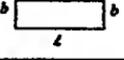
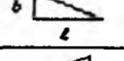
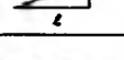
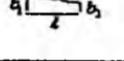
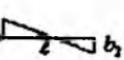
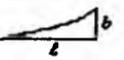
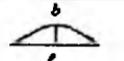
$$\int_0^{\ell} \frac{M^P \bar{M}}{EI_x} dx = \frac{F y}{EI_x} \quad (2.28)$$

бу ерда F – биринчи эпюранинг юзаси, y – биринчи эпюранинг оғирлик марказига мос келган иккинчи эпюрадаги ордината.

Ҳеч бўлмаса, эпюралардан бирортаси тўғри чизикли бўлгандагина мазкур усулдан фойдаланса бўлади. Амалда бу қоида тўлиқ бажарилади, чунки бирлик куч эпюраси асосан тўғри чизикли бўлади. Агар эпюралардан бири эгри чизикли бўлса, бу албатта ташқи куч эпюраси бўлади. Верешчагин қондаси асосида тузилган Мор интеграл жадвали (2.2-жадвал) ҳисоблаш ишларини осонлаштириш имконини беради.

2.3-жадвал

Верешчагин қондаси асосида тузилган Мор интеграл жадвали

M^p	\bar{M}_1				
1		abl	$\frac{abl}{2}$	$\frac{(a_1 + a_2)bl}{2}$	$\frac{(a_1^2 - a_2^2)bl}{2(a_1 + a_2)}$
2		$\frac{abl}{2}$	$\frac{abl}{3}$	$\frac{bl}{6}(2a_1 + a_2)$	$\frac{bl}{6}(2a_1 - a_2)$
3		$\frac{abl}{2}$	$\frac{abl}{6}$	$\frac{bl}{6}(a_1 + 2a_2)$	$\frac{bl}{6}(a_1 - 2a_2)$
4		$\frac{(b_1 + b_2)l \cdot a}{2}$	$\frac{al}{6}(2b_1 + b_2)$	$\frac{l}{6}[2(a_1b_1 + a_2b_2) + (a_1b_2 + a_2b_1)]$	$\frac{l}{6}[2(b_1a_1 - b_2a_2) - (a_2b_1 - a_1b_2)]$
5		$\frac{b_1^2 - b_2^2}{2(b_1 + b_2)}al$	$\frac{al}{6}(2b_1 - b_2)$	$\frac{l}{6}[2(a_1b_1 - a_2b_2) - (a_1b_2 - a_2b_1)]$	$\frac{l}{6}[2(a_1b_1 + a_2b_2) - (b_1a_2 + a_1b_2)]$
6		$\frac{b_1a}{3}$	$\frac{bal}{12}$	$\frac{lb}{12}(3a_2 + a_1)$	$\frac{lb}{12}(-3a_2 + a_1)$
7		$\frac{b_1a}{3}$	$\frac{b_1a}{4}$	$\frac{lb}{12}(3a_1 + a_2)$	$\frac{lb}{12}(3a_1 - a_2)$
8		$\frac{2bal}{3}$	$\frac{2bal}{6}$	$\frac{2}{6}bl(a_1 + a_2)$	$\frac{2}{6}bl(a_1 - a_2)$

Агар M^p ва \bar{M} эпюралар ўқнинг бир томонида ётса, ишора мусбат олинади, бу кўчиш билан бирлик куч бир хил йўналишга эга эканлигини англатади.

Шу қоидага асосланиб, динамик жараёнларда система нуқталарининг вертикал кўчиш (солқилик) ларини ва системанинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлашга доир мисолларни кўриб ўтамиз.

2.5. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини текширишга доир мисоллар

2.5.1-мисол

2.7а-расмда кўрсатилган системанинг (учига Q кучи қўйилган пўлат балканинг) эркин (хусусий) тебраниш частотаси ω топилсин.

Масалани ечишда юкнинг оғирлиги $Q=3$ тк, $\ell=1$ м, балка учун 20-рақамли кўштавр танланиб (унинг кўндаланг кесимини инерция моменти $I_x=1840$ см⁴, қаршилик моменти $W_x=184$ см³), унинг хусусий оғирлиги ҳисобга олинмасин.

Мор-Верещчагин усулидан фойдаланиб куч қўйилган нуқтанинг статик солқилигини аниқлаймиз. Q кучининг статик таъсири натижа-сида ҳосил бўладиган эгувчи моментнинг эпюрасини кўрамиз. Система бир участкадан иборат, яъни $0 < x_1 < \ell$, шунинг учун эгувчи момент $M^p = -Qx_1$ ифодадан аниқланади (2.7б-расм). Юк қўйилган нуқтага ўлчовсиз бирлик куч $\bar{P}=1$ қўямиз, у ҳолда

$$\bar{M} = -\bar{P} \cdot x_1 = -1 \cdot x_1$$

га эга бўламиз (2.7в-расм).

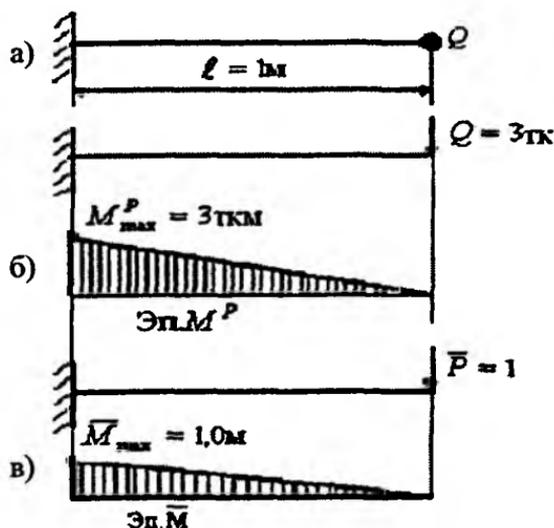
(2.27) формуладан фойдаланиб статик солқиликни аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} y_{ст} = \Delta_{ст} &= \frac{1}{EI_x} \int_0^{\ell} M^p \bar{M} dx_1 = \frac{1}{EI_x} \int_0^{\ell} (-Qx_1)(-1x_1) dx = \\ &= \frac{1}{EI_x} \int_0^{\ell} Qx_1^2 dx = \frac{Qx_1^3}{3EI_x} \Big|_0^{\ell} = \frac{Q\ell^3}{3EI_x} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Пўлат учун эластиклик модули $E=2 \cdot 10^6$ кгк/см² бўлиб, 20-рақамли кўштавр учун $I_x=1840$ см⁴ эканлиги маълум. Буларни (2.29) га қўйсақ

$$y_{ст} = \frac{Q\ell^3}{3EI_x} = \frac{3000 \text{ кгк} \cdot (100 \text{ см})^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ кгк} / \text{см}^2 \cdot 1840 \text{ см}^4} \approx 0,27 \text{ см} \text{ бўлади.}$$

2.7б-расмдаги M^p эпюраси томонлари 3 ткм ва $\ell=1$ м бўлган учбурчак, \bar{M} эпюраси эса томонлари 1 м ва $\ell=1$ м бўлган учбурчак (2.7в-расм) кўринишига эга.



2.7-расм.

Ҳисоб натижаларини текшириш учун Мор-Верешчагин формуласи (2.28) асосида M^P ва \bar{M} эпюраларини қўпайтирамиз. Бунни амалга ошириш учун 2.2-жадвалда берилган иккита учбурчак қўпайтмасидан фойдаланамиз:

$$y_{ст} = \int_0^l \frac{M^P \bar{M}}{EI_x} dx = \frac{a \cdot b \cdot l}{3EI_x} = \frac{M_{\max}^P \bar{M}_{\max} \cdot l}{3EI_x} = \frac{300000 \cdot 100 \cdot 100}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1840} = 0,27 \text{ см}$$

$$(M_{\max}^P = Q \cdot l = 3000 \cdot 100 = 300000 \text{ кгсм}; \bar{M}_{\max} = 100 \text{ см})$$

2.7а-расмда кўрсатилган системанинг эркин тебраниш частотасини (2.19) формула орқали аниқлаймиз:

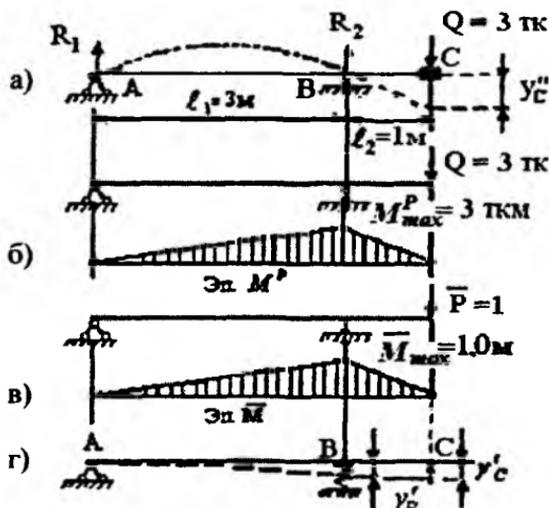
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{ст}}} = \sqrt{\frac{981}{0,27}} = 60,5 \text{ рад/сек}$$

2.5.2-мисол

2.8а-расмда кўрсатилган системанинг эркин тебраниш частотаси топилсин.

Масалани ечишда балкага қўйилган куч, балканинг материали ва балканинг кўндаланг кесими олдинги мисолдагидек деб қабул қилинсин.

Бу мисолни ечиш учун Мор-Верешчагин усулидан фойдаланиб, Q юк қўйилган нуқтанинг статик солқилигини аниқлаймиз.



2.8-расм.

Маълумки, $E=2 \cdot 10^6$ кгк/см², $I_x=1840$ см⁴ миқдорлар бўлиб, 2.8б, в-расмдаги эпюралар асосида C нуқтанинг статик солқилиги y_c'' ни Мор-Верешчагин усулидан фойдаланиб ҳисоблаймиз:

$$y_c'' = \frac{M_{\max}^P \bar{M}_{\max} \cdot l_1}{3EI_x} + \frac{M_{\max}^P \bar{M}_{\max} \cdot l_2}{3EI_x} =$$

$$= \frac{300000 \cdot 100 \cdot 300}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1840} + \frac{300000 \cdot 100 \cdot 100}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1840} = \frac{400}{2 \cdot 184} \approx 1,09 \text{ см}$$

Бу олинган натижа олдинги 2.5.1-мисолда топилган статик солқилик билан таққосланса, 2.8а-расмда тасвирланган балканинг биқирлиги 2.7а-расмда тасвирланган балканинг биқирлигидан кам эканлиги кўринади.

(2.19) формуладан фойдаланиб, 2.8а-расмда тасвирланган системанинг эркин тебраниш частотасини аниқлаймиз ($y_{CT} = y_c''$)

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_c''}} = \sqrt{\frac{981}{1,09}} \approx 30 \text{ рад/сек}$$

Бу натижа олдинги 2.5.1-мисол натижаси билан таққосланса, конструкция бикирлигининг камайиши системанинг эркин тебраниш частотасининг камайишига олиб келишини кўриш мумкин.

Агарда системанинг эркин тебраниш частотасини янада кичиклаштириш талаб қилинса, у ҳолда бикир таянчлардан бирини, масалан, ўнг таянчни пружина билан алмаштириш мумкин (2.8г-расм).

Бу ҳолда юк пружина ҳисобига y_C^I масофага чўкади ва умумий солқилик $y_{cm} = y_C^I + y_C^{II}$ бўлади. Бу ерда y_C^{II} юқорида аниқланган балканинг деформациясидан ҳосил бўлган солқилик бўлиб, $y_C^{II} = 1,09$ см. Пружинанинг чўкиши λ ни 1 см/тк га тенг деб қабул қилиб, y_C^I нинг қийматини аниқлаймиз.

Бунинг учун A нуктага нисбатан моментлар тенгламасини тузиб, бундан R_2 ни аниқласак

$$\sum M_A = -R_2 \ell_1 + Q(\ell_1 + \ell_2) = 0$$

$R_2 = 4$ тк га тенг бўлади. У ҳолда «В» нукта (пружина)нинг чўкиши $y_B^I = \lambda R_2 = 1 \cdot 4 = 4$ см бўлади.

Учбурчаклар ўхшашлигидан

$$\frac{y_B^I}{\ell_1} = \frac{y_C^I}{(\ell_1 + \ell_2)}; y_C^I = \frac{y_B^I(\ell_1 + \ell_2)}{\ell_1} = \frac{4 \cdot 4}{3} = 5,35 \text{ см бўлиб,}$$

$$y_{cm} = y_C^I + y_C^{II} = 5,35 + 1,09 = 6,42 \text{ см чиқади.}$$

Бу ҳолда (яъни битта «В» таянчига) пружина ўрнатилган системанинг (2.8г-расм) эркин тебраниш частотаси

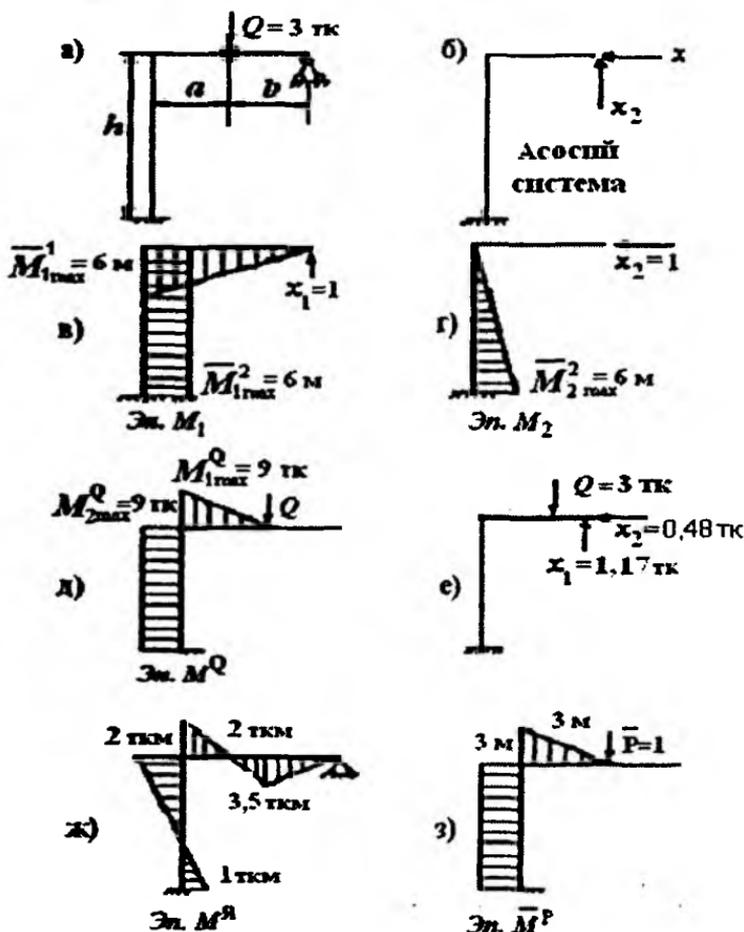
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{cm}}} = \sqrt{\frac{981}{6,42}} = 12,4 \text{ рад/сек бўлади.}$$

Бундан кўринадики, таянчлардан бирининг пружина билан алмаштирилиши системанинг эркин тебраниш частотасининг анча ўзгаришига, яъни камайишига олиб келади. Системада бундай хусусиятнинг ҳосил қилиниши ўз навбатида ҳар хил муҳандислик тадбирларини ишлаб чиқишда жуда қўл келади.

2.5.3-мисол

2.9а-расмда келтирилган рамали системанинг эркин тебраниш частотаси топилсин.

Раманинг ўлчамлари $a = 3\text{ м}$, $b = 3\text{ м}$, $h = 6\text{ м}$, юкнинг оғирлиги $Q = 3\text{ тк}$, ригел ва устун кўндаланг кесимларининг инерция моментлари $I_x = 2000\text{ см}^4$ бўлиб, раманинг материали пўлат деб олинсин.



2.9-расм.

Берилган система 2 марта статик ноаник, буни ечиш учун аввал ортиқча номаълумларни топиб олиш лозим бўлади. Бу ортиқча номаълумлар асосий системада x_1 ва x_2 деб белгиланган. Бу номаълум кучлар (яъни таянч реакциялари) қуйидаги каноник тенгламалар системасидан топилади:

$$\left. \begin{aligned} x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + \Delta_{1p} &= 0 \\ x_1 \delta_{21} + x_2 \delta_{22} + \Delta_{2p} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Тенгламаларнинг коэффициентлари ва озод ҳадларини аниқлаш учун бирлик (2.9в,г-расм) ва ташқи кучлардан (2.9д-расм) ҳосил бўладиган эгувчи моментларнинг эпюраларини кураимиз. Бу эпюраларни Мор-Верешчагин усули ёрдамида кўпайтириш йўли билан изланаётган коэффициентларни аниқлаймиз.

δ_{11} ни аниқлаш учун \bar{M}_1 эпюранинг ўзини ўзига кўпайтирамиз:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{1}{EI_x} \left(\frac{(a+b)\bar{M}_{1\max}^1 \bar{M}_{1\max}^1}{3} + h\bar{M}_{1\max}^2 \bar{M}_{1\max}^2 \right) = \\ &= \frac{1}{EI_x} \left(\frac{(3+3) \cdot 6 \cdot 6}{3} + (6 \cdot 6 \cdot 6) \right) = \frac{288}{EI_x} \end{aligned}$$

δ_{12} ни аниқлаш учун \bar{M}_1 ни \bar{M}_2 га кўпайтирамиз:

$$\delta_{12} = \frac{1}{EI_x} \frac{h \cdot \bar{M}_{2\max}^2 \bar{M}_{1\max}^1}{6} = \frac{6 \cdot 6 \cdot 6}{2EI_x} = \frac{108}{EI_x}$$

δ_{22} ни аниқлаш учун \bar{M}_2 нинг ўзини ўзига кўпайтирамиз:

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI_x} \frac{h \cdot \bar{M}_{2\max}^2 \bar{M}_{2\max}^2}{3} = \frac{6 \cdot 6 \cdot 6}{3EI_x} = \frac{72}{EI_x}$$

Озод ҳадлар Δ_{1p} ва Δ_{2p} ни аниқлаш учун \bar{M}_1 ва \bar{M}_2 эпюраларни навбат билан M^0 эпюрасига кўпайтирамиз:

$$\begin{aligned} \Delta_{1p} &= \frac{1}{EI_x} \left(\frac{M_{1\max}^0 a \cdot \left(2 \cdot \bar{M}_{1\max}^1 + \frac{\bar{M}_{1\max}^1}{2} \right)}{6} + h M_{2\max}^0 \bar{M}_{1\max}^1 \right) = \\ &= \frac{1}{EI_x} \left(\frac{-9 \cdot 3 \cdot \left(2 \cdot 6 + \frac{6}{2} \right)}{6} + 6(-9) \cdot 6 \right) = -\frac{391,5}{EI_x} \\ \Delta_{2p} &= \frac{1}{EI_x} \frac{h M_{2\max}^0 \cdot 3 \bar{M}_{2\max}^2}{6} = \frac{1}{EI_x} \cdot 6 \cdot \frac{(-9) \cdot 3 \cdot 6}{6} = -\frac{162}{EI_x} \end{aligned}$$

Топилган қийматларни (2.30) га қўйиб, EI_x га қисқартирсак, у ҳолда номаълумларни аниқлаш учун қуйидаги тенгламалар системасига эга бўламиз

$$\left. \begin{aligned} 288x_1 + 108x_2 - 391,5 &= 0 \\ 108x_1 + 72x_2 - 162 &= 0 \end{aligned} \right\} x_1 = \frac{391,5}{288} - \frac{108x_2}{288} \quad (2.31)$$

Бу (2.31) тенгламалар системасининг ечимлари бизга номаълум x_1 ва x_2 кучларнинг қийматларини беради, яъни:

$$108 \left(\frac{391,5}{288} - \frac{108}{288} x_2 \right) + 72x_2 - 162 = 0,$$

$$146,8 - 40,5x_2 + 72x_2 - 162 = 0$$

$$31x_2 = 15,2$$

$$x_2 = 0,483 \text{ тк,}$$

$$x_1 = \frac{391,5}{288} - \frac{108}{288} \cdot 0,483 = 1,36 - 0,375 \cdot 0,483 = 1,17 \text{ тк.}$$

Асосий системага (2.9е-расм) ташқи куч Q ва топилган x_1 ва x_2 кучларни қўйиб, эгувчи моментнинг якуний эпюраси M^e ни курамиз (2.9ж-расм). “Қурилиш механикаси” курсидан маълумки, статик ноаниқ системаларда куч қўйилган нуқтанинг кўчишини аниқлаш учун якуний эпюра билан бирлик эпюра ўзаро кўпайтирилади. Бунинг учун асосий системанинг кўчиши аниқланаётган нуқтасига бирлик куч $\bar{P} = 1$ ни қўямиз ва M^p нинг эпюрасини курамиз (2.9з-расм). Эпюраларни Мор-Верешчагин усули бўйича кўпайтириб, Q кучи қўйилган нуқтанинг статик солқилигини аниқлаймиз.

$$\begin{aligned} y_{cr} &= \frac{3 \cdot 3}{6EI_x} [2 \cdot 2 - 3,5] + \frac{6}{6EI_x} [2(2 \cdot 3 - 3 \cdot 1) - 3 \cdot 1 + 3 \cdot 2] = \frac{11,25 \text{ ткм}^3}{EI_x} = \\ &= \frac{11250 \cdot 10^6 \text{ кгксм}^3}{2 \cdot 10^6 \text{ кгк/см}^2 \cdot 2000 \text{ см}^4} = 2,82 \text{ см} \end{aligned}$$

Шунга мос равишда, раманинг (2.9а-расм) эркин тебраниш частотаси қуйидаги қиймагга тенг бўлади:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{cm}}} = \sqrt{\frac{981}{2,82}} = 18,7 \text{ рад/сек.}$$

2.6. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг мажбурий тебраниши

Механик системаларнинг тебранишларида массага тикловчи куч, қаршилиқ кучи ва инерция кучларидан ташқари, вақт бўйича ўзгарадиган қўзғатувчи куч таъсир этса, бундай системада мажбурий тебраниш ҳосил бўлади.

Иншоотларни ҳисоблашда гармоник куч, яъни вақт мобайнида синусоидал қонун бўйича таъсир этувчи тўпланган қўзғатувчи куч

$$P(t) = P \sin \theta \cdot t \quad (2.32)$$

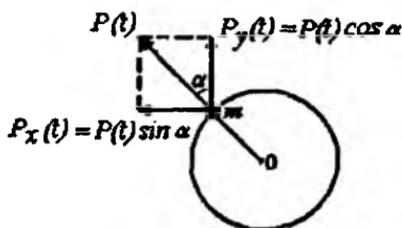
катта амалий аҳамиятга эга.

Бу ерда: P – қўзғатувчи куч амплитудаси; θ – қўзғатувчи кучнинг доиравий частотаси.

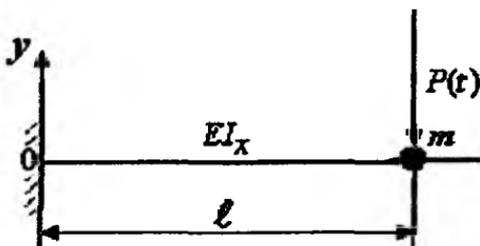
Бир маромда айланма ҳаракат қилувчи машинанинг бирор элементида мувозанатлашмаган масса m бўлса, у ҳолда бу массага таъсир этувчи марказдан қочирма куч ҳосил бўлиб, унинг вертикал (P_y) ва горизонталь (P_x) ташкил этувчилари гармоник қонун бўйича ўзгаради (2.10-расм).

Агар эркинлик даражаси бирга тенг бўлган (2.4-расм да кўриб ўтилган) системага қўзғатувчи куч $P(t)$ таъсир этса (2.11-расм), у ҳолда динамиканинг мувозанат тенгламасига R, F, Y кучлардан ташқари $P(t)$ кучи ҳам қўшилади, натижада бир жинсли (2.5) тенглама ўрнига бир жинсиз дифференциал тенгламага эга бўламиз:

$$\ddot{y} + \frac{k}{m} \dot{y} + \frac{r}{m} y = \frac{P}{m} \sin \theta \cdot t \quad (2.33)$$



2.10-расм. Мувозанатлашмаган масса ҳосил қилиши мумкин бўлган кучлар



2.11-расм. Бир массали системанинг мажбурий тебранишини текшириш учун ҳисобий схема

Ушбу (2.33) тенгламанинг тўлиқ ечими бир жинсли тенглама (2.5) нинг умумий ва (2.33) тенгламанинг хусусий ечимларининг йиғиндисидан иборат бўлади, яъни:

$$y = a_0 e^{-kt/2m} \sin(\omega t + \varphi_0) + \mu y_{CT} \sin(\theta t - \varepsilon) \quad (2.34)$$

Бу ечимнинг биринчи ҳади эркин, иккинчи ҳади мажбурий тебранишни ифодалайди.

Одатда, нозластик қаршилиқ кучлари туфайли системанинг ω частотали эркин тебраниши тезда сўнади ва θ частотали мажбурий тебраниш барқарор бўлиб қолади. Олинган (2.34) ечимда ҳам бу ҳолатлар ўз аксини топган бўлиб, ечимнинг иккинчи ҳадига куйидаги микдорлар киради:

ε -мажбурий тебранишнинг кўзгатувчи кучга нисбатан силжиш фазаси

$$\varepsilon = \arctg \left(\frac{\frac{k}{m} \cdot \theta}{\omega^2 - \theta^2} \right) \quad (2.35)$$

μ -гармоник кучнинг динамик коэффиценти ёки тебранишнинг ўсиш коэффиценти деб аталиб, динамик таъсирнинг статик таъсирга нисбатан қанчага ортиқ бўлишини кўрсатувчи катталиқ

$$\mu = \left| \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\theta^2}{\omega^2}\right)^2 + \left(\frac{k\theta}{m\omega^2}\right)^2}} \right| = \left| \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\theta^2}{\omega^2}\right)^2 + \left(\gamma \frac{\theta}{\omega}\right)^2}} \right| \quad (2.36)$$

Кўзгатувчи куч частотаси θ конструкциянинг хусусий частотаси ω билан тенг келган ҳол резонанс ҳодисаси деб аталади. Бунда мажбурий тебраниш амплитудаси тез ўсади. Системанинг қаршилиқ коэффиценти γ тебраниш амплитудасининг чексиз ўсишига тўсқинлик қилади. Бирок, шунга қарамай, резонанс ҳолатида амплитуданинг ўсиши кузатилади. Шунинг учун иншоотларни лойиҳалаштириш жараёнида резонанс зонасига “яқинлашмаслик” мақсадга мувофиқ. Айрим ҳолларда резонанс ҳодисаси ижобий роль ўйнайди. Масалан, муҳитларни титратиш йўли билан зичлаштиришда, радиоэлектрони-

када, муסיқа асбобларида. Бу ҳолатларда резонанс ҳодисасидан фойдали мақсадлар учун фойдаланиш мумкин.

Мажбурий тебраниш амплитудаси ва динамик коэффициентнинг қиймати системада ҳосил бўладиган ноэластик сўниш туфайли кичради ва, ҳатто, резонанс ҳолатида ҳам чекли қийматга эга бўлади, аммо хавфли бўлиб қолаверади.

Частоталар тенглашганда ($\theta = \omega$) юқоридаги (2.36) ифодага кўра (сўниш ҳисобга олинганда), динамик коэффициент ноэластик қаршилиқ коэффициентини γ га тескари пропорционал бўлиб, сўнишни ифодаловчи бошқа катталиклар билан қуйидагича боғланган бўлади:

$$\mu = \frac{1}{\gamma} = \frac{2\pi}{\psi} = \frac{\pi}{\delta} \quad (2.37)$$

Бу (2.37) катталик динамик коэффициентнинг энг катта қийматига яқин бўлади, лекин у сўниш ҳисобга олинган системанинг энг катта реакциясини ифодаламайди.

Агар (2.36) дан θ/ω бўйича ҳосила олиб, унинг қийматини нолга тенгласак, у ҳолда сўнувчи ситема учун θ/ω қийматини аниқловчи формулага, яъни

$$\left(\frac{\theta}{\omega} \right)^2 = 1 - \frac{\gamma^2}{2} \quad (2.38)$$

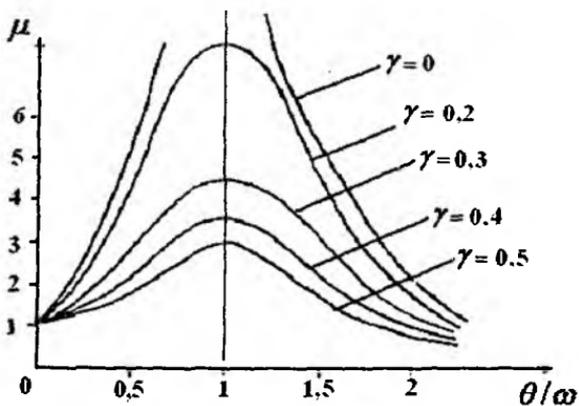
ва бу қийматга тўғри келадиган динамик коэффициентнинг энг катта қийматини топиш формуласига эга бўламиз:

$$\mu_{\max} = \frac{1}{\left(\frac{\gamma}{2} \right) \sqrt{4 - \gamma^2}} \quad (2.39)$$

Бирок, (2.37) ва (2.39) формулалардан олинган натижалар бир-бирдан жуда кам фарқ қилади.

2.12-расмда қоршилиқ коэффициенти γ нинг турли қийматларида μ коэффициентининг кўзғатувчи куч частотаси θ га боғлиқ ҳолда ўзгариш графиги кўрсатилган. Бу ерда γ нинг таъсирини яққол кўрсатиш учун, олинган қийматлар жадвалда келтирилган қийматларни анча каттароқ қилиб танланган.

Демак, резонанс ҳолатида мажбурий тебраниш амплитудаси тебраниш логарифмик декрементига тескари пропорционал бўлиб, тебраниш фазаси эса кўзғатувчи кучга нисбатан $\varepsilon = -\pi/2$ силжийди.



2.12-расм. Динамик коэффициент μ ни қўзғатувчи куч частотаси θ га боғлиқ ҳолда ўзгариш графиги

Агарда $\theta/\omega < 1$ бўлса тебраниш билан қўзғатувчи куч битта фазада, $\theta/\omega > 1$ бўлса ҳар хил фазаларда ҳаракатланади.

Энергиянинг ютилиш коэффициентлари жуда катта, $\psi > 4\pi$ бўлганда (масалан, тебранишлар ёпишқоқ суюқлик ичида бўлса), (2.7) формулага кўра частота ω мавҳум сон чиқиши мумкин. Бу ҳолда системада умуман тебраниш содир бўлмасдан, мувозанатдан чиқарилган эластик система аста-секин ўз ҳолатига қайтади.

Сўниш ҳисобга олинмаганда, яъни $k=0$ бўлганда (2.36) формула куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\mu = \left| \frac{1}{1 - \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2} \right| \quad (2.40)$$

Бирок, бу ифода резонансга яқин зонада етарли аниқликдаги натижани бермайди. Чунки, бу зонада сўнишнинг таъсири жуда катта аҳамиятга эга бўлиб, олинган натижа μ нинг қийматини аниқ бериши керак. (2.40) формулага кўра $\theta = \omega$ бўлганда, $\mu = \pm\infty$ бўлиши керак, амалда бундай бўлмайди, чунки ҳар қандай реал материал ёки конструкцияда маълум даражада сўнишни ҳосил қилувчи қаршилик хусусияти мавжуд бўлади. Динамик коэффициент μ нинг қиймати, нисбат θ/ω бирдан икки томонга узоқлашган сари тез камая боради. Буни куйидаги мисолда кўришимиз мумкин, яъни (2.40) ифодадаги θ

ни $\theta=200$ рад/сек га тенг деб олиб, $\omega=100, 200, 300, 400, 500$ рад/сек қийматлар учун μ ни аниқласак, у ҳолда

$$\omega = 100 \text{ рад/сек : } \mu = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{200}{100} \right)^2 \right|} = 0,33$$

$$\omega = 200 \text{ рад/сек : } \mu = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{200}{200} \right)^2 \right|} = \infty$$

$$\omega = 300 \text{ рад/сек : } \mu = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{200}{300} \right)^2 \right|} = 1,8$$

$$\omega = 400 \text{ рад/сек : } \mu = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{200}{400} \right)^2 \right|} = 1,33$$

$$\omega = 500 \text{ рад/сек : } \mu = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{200}{500} \right)^2 \right|} = 1,19$$

ва ҳ.к.

Бу қийматлар 2.12-расмда келтирилган қийматларга мос тушади. Бу натижаларни (2.12-расм ва ҳар хил ω ларда ҳисобланган μ ларни) таҳлил қиладиган бўлсак кўришимиз мумкин. Агарда $\theta/\omega=1$ бўлса, динамик коэффициент μ энг катта қийматга яқин бўлади. θ/ω қийматининг кейинчалик ошиши μ нинг секин-аста камайишига олиб килади ва $\theta/\omega > \sqrt{2}$ бўлганда μ нинг қиймати бирдан кичик бўла бошлайди.

Демак, бу ҳолда кўзгатувчи кучнинг динамик таъсири, худди шу қийматли статик куч таъсиридан кичик бўлади. Шунинг учун бундай хусусиятдан техникада гармоник таъсир остида ишловчи конструкция элементларида ҳосил бўладиган тебранишларни камайтиришда фойдаланилади. Яъни, конструкция элементларининг бикирлигини камайтириш орқали, уларнинг хусусий тебраниш частоталари камайтирилиб, θ/ω қийматни оширишга ҳаракат қилинади.

Резонанс ҳолатида мажбурий тебранишнинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, бу ҳолатда тебраниш кўзгатувчи кучга нисбатан

фаза бўйича $\omega T/4 = \pi/2$ силжиган бўлиб, тебраниш амплитудаси энг катта қийматга эга бўлганда, қўзғатувчи куч нолга тенг бўлади.

Қўзғатувчи кучнинг частотаси θ эркин тебраниш частотаси ω дан катта бўлса ($\theta > \omega$), μ нинг қиймати манфий бўлади, шунинг учун (2.40) ифоданинг абсолют қиймати олинади. Бу ҳолда қўзғатувчи куч билан массанинг тебраниши қарама-қарши томонга йўналган бўлади.

2.7. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг мажбурий тебранишларини текширишга доир мисоллар

2.7.1-мисол

2.5.1-мисолда (2.7-расм) кўриб ўтилган балканинг учига минутига 400 марта айланадиган ($n=400$ айл/мин) ва оғирлиги $Q=3$ тк бўлган двигателъ ўрнатилган системанинг мажбурий тебраниши текширилсин.

Бу ҳол учун системанинг (2.7-расм) динамик коэффициенти, резонанс ҳолати учун энг катта динамик коэффициенти, мажбурий тебраниш амплитудаси, энг катта нормал кучланиш қиймати аниқланиб, балканинг мустаҳкамлиги баҳолансин. Кўрилаётган мисолда двигателдан ҳосил бўладиган марказдан қочирма кучнинг вертикал ташкил этувчиси $P(t) = P \sin \theta t$, кучнинг максимал амплитудаси $P=0,8$ тк деб олинсин.

Биринчи мисолдаги системанинг эркин тебраниш частотаси $\omega=60,5$ рад/сек эди. Двигателдан таъсир қилаётган кучнинг мажбурий тебраниш частотаси θ ни (2.25) формуладан аниқлаймиз:

$$\theta = \frac{n\pi}{30} = \frac{400\pi}{30} = 41,9 \text{ рад/сек.}$$

Балканинг материали пўлат ва марказдан қочирма кучнинг вертикал ташкил этувчиси $P > 100$ кгк бўлгани учун, 2.2-жадвалдан материалнинг ноэластик қаршилиқ коэффициенти $\gamma=0,025$ деб қабул қилинади.

Динамик коэффициентнинг (2.36) формуладан аниқланган қиймати

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\theta^2}{\omega^2}\right)^2 + \left(\gamma \frac{\theta}{\omega}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{41,9^2}{60,5^2}\right)^2 + \left(\frac{0,025 \cdot 41,9}{60,5}\right)^2}} = 1,91$$

бўлиб, (2.40) формуладан аниқлангани эса

$$\mu = \frac{1}{1 - \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{41,9}{60,5}\right)^2} = 1,92$$

бўлади.

Шундай қилиб, резонанс ҳолатидан ташқарида сўнишни ҳисобга олиш динамик коэффициент μ нинг қийматига деярли таъсир этмайди. Резонанс ҳолатида (яъни $\theta = \omega$ бўлганда) сўнишни ҳисобга олганда, (2.37) формула бўйича динамик коэффициентнинг энг катта қиймати:

$$\mu = 1/\gamma = 1/0,025 = 40$$

Биобарин, динамик коэффициент резонанс ҳолатида сўниш туфайли чексиз катта қийматга эга бўлмаса-да, анча катта қийматга эга бўлади. Шунинг учун ҳар қандай иншоот ва конструкциянинг иш режими резонанс ҳолатидан узоқроқда бўлиши керак.

Бу мисолни ечиш учун $Q=3$ тк таъсирида вужудга келган $y_{ст} = 0,27$ см солқиликдан фойдаланамиз (2.5.1-мисолга қаранг). Бу ҳолда, $P=0,8$ тк дан ҳосил бўладиган статик солқилик $y_{ст}^P$ ни $y_{ст}$ орқали ифодаласак, у қуйидаги қийматга эга бўлади

$$\frac{y_{ст}^P}{P} = \frac{y_{ст}}{Q}$$
$$y_{ст}^P = \frac{y_{ст} \cdot P}{Q} = \frac{0,27 \cdot 0,8}{3} = 0,072 \text{ см}$$

Демак, динамик солқилик

$$y_{дин}^P = \mu y_{ст}^P = 1,92 \cdot 0,072 = 0,138 \text{ см бўлиб,}$$

балканинг тўлиқ солқилиги (яъни энг катта динамик амплитуда)

$$y_{т} = y_{дин} + y_{ст} = 0,138 + 0,27 = 0,408 \text{ см бўлади.}$$

P кучининг динамик таъсири ҳисобга олинганда, балкада ҳосил бўладиган энг катта эгувчи момент

$$M_{max}^{\partial} = (Q + \mu P)\ell = (3 + 1,92 \times 0,8)1,0 = 4,536 \text{ ткм} = 453600 \text{ кгксм}$$

бўлиб, балканинг хавфли кесимидаги энг катта нормал динамик кучланиш эса

$$\sigma_{max}^{\partial} = M_{max}^{\partial} / W_x = 453600 / 184 = 2465,2 \text{ кгк/см}^2 > [\sigma] = 1600 \text{ кгк/см}^2$$

бўлади.

Демак, динамик таъсир ҳисобга олинганда балканинг мустаҳкамлиги етарли эмас.

Двигатель ишламаган ҳолда, яъни фақат статик таъсир ҳисобга олинганда юқорида олинган натижалар қуйидагича бўлар эди:

$$M_{\max}^{\text{ст}} = Q \cdot \ell = 3000 \cdot 100 \text{ кгксм} = 300000 \text{ кгксм}$$

$$\sigma_{\max}^{\text{ст}} = \frac{M_{\max}^{\text{ст}}}{W_x} = 300000 / 184 = 1630 \text{ кгк/см}^2 \approx [\sigma]$$

Бундан кўринадики, агар динамик куч мавжуд бўлса, резонансдан ташқари ҳолатда ҳам, иншоотда ҳосил бўладиган кучланиш статик ҳолатдагига нисбатан анча катта қийматларга эга бўлади. Биз кўраётган ҳолда, балканинг динамик кучлар таъсирига бўлган мустақамлиги таъминланмаган бўлиб чиқди, яъни $\sigma^d > [\sigma]$.

Агарда конструкцияларни фақат статик кучлар таъсирига ҳисоблаганимизда максимал кучланиш $\sigma_{\max}^{\text{ст}}$ ни руҳсат этилган кучланиш $[\sigma]$ даражасигача камайтириш керак бўларди. Бунинг учун балканинг кўндаланг кесим ўлчамлари катталаштирилиб (ёки қўштаврнинг профил номери каттароқ олиниб), балканинг мустақамлиги таъминланар эди.

Юкнинг динамик таъсирида эса мустақамлик масаласини ечиш бирмунча мураккаблашади, чунки бунда қўштавр профиль номерининг ортиши статик солқиликнинг камайишига олиб келади. Бу эса хусусий тебраниш частотасини ошириб, конструкцияни резонанс ҳолатида ишлашга яқинлаштириши мумкин.

Шунга кўра, динамик ҳисобларда масалани тесқарисига ечиш анча қулай бўлади. Бунинг учун, аввало, конструкцияда резонанс ҳолати вужудга келадиган қилиб, конструкциянинг кўндаланг кесим ўлчамлари танланади.

Биз кўраётган мисолда $\omega = 41,9$ рад/сек бўлганда, резонанс ҳодисаси рўй бериши керак, чунки динамик кучнинг частотаси θ шундай қийматга эга.

Шуни инобатга олиб, (2.19) формула $\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{\text{ст}}}}$ дан $y_{\text{ст}}$ ни аниқлаймиз, $41,9 = \sqrt{\frac{9,81}{y_{\text{ст}}}}$, бундан $y_{\text{ст}} = 0,56$ см эканлиги топилади. Статик солқиликнинг шу қийматида системада резонанс ҳолати пайдо

бўлади. (2.29) ифода $y_{ct} = \frac{Ql^3}{3EI_x}$ дан фойдаланиб, конструкция кўндаланг кесимининг инерция моменти I_x ни аниқлаймиз:

$$I_x = \frac{Ql^3}{3Ey_{ct}} = \frac{3000 \text{ кгк} \cdot (100 \text{ см})^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2 \cdot 0,56 \text{ см}} = 893 \text{ см}^4$$

Бу қиймат асосида, сортамент жадвалидан 18-рақамли қўштаврни танлаймиз, бу қўштавр учун $I_x = 1290 \text{ см}^4$, $W_x = 143 \text{ см}^3$. Бизнинг мисолда балка кўндаланг кесим ўлчамларини ўзгартиришнинг қўштавр рақамини катталаштириш йўлидан олиб бориш зарур.

Ўтказилган тажрибаларнинг тахлили шундан далолат берадики, хусусий тебранишлар частотаси $\omega = (0,7-1,4) \cdot \theta$ оралиғида бўлганда динамик коэффициент μ нинг таъсири кучли бўлиб, конструкцияда катта кучланишлар ҳосил бўлади.

Биз кўраётган мисолда конструкцияда ҳосил бўлиши мумкин бўлган резонанс ҳолатини четлаб ўтиш учун хусусий тебраниш частотаси $\omega = 1,4 \cdot 41,9 = 58,5 \text{ рад/сек}$ бўлиши керак.

Шу частота учун статик солқиликни аниқласак

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{ct}}}, \quad y_{ct} = \frac{g}{\omega^2} = \frac{981}{58,5^2} = 0,29 \text{ см}$$

бўлиб, балкамизнинг кўндаланг кесимининг инерция моменти

$$y_{ct} = \frac{Ql^3}{3EI_x}, \quad I_x = \frac{Ql^3}{3Ey_{ct}} = \frac{3000 \cdot 100^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 0,29} = 1724 \text{ см}^4$$

бўлиши керак.

Бунга мос қўштаврнинг рақами 20. Бундан шундай хулоса чиқадики, кўндаланг кесим ўлчамлари керакли миқдорга оширилса, динамик коэффициентнинг қиймати ортиб кетмайди.

Шунга кўра, 24-рақамли қўштаврни қабул қиламиз. Унинг параметрлари: $I_x = 3460 \text{ см}^4$, $W_x = 289 \text{ см}^3$ бўлиб, бу қўштавр учун балканинг статик солқилиги

$$y_{ct} = \frac{Ql^3}{3EI_x} = \frac{3000 \cdot 100^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 3460} = 0,145 \text{ см}$$

ни ташкил этади.

Ушбу балканинг хусусий гебраниш частотаси эса

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{cr}}} = \sqrt{\frac{981}{0,145}} = 82,3 \text{ рад/сек}$$

бўлиб, бунга мос динамик коэффициент

$$\mu = \frac{1}{1 - \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{41,9}{82,3}\right)^2} = 1,35$$

бўлади.

Демак, динамик куч таъсирдан балкада ҳосил бўладиган энг катта эгувчи момент ва нормал кучланиш қуйидаги кийматларга эга бўлади:

$$M_{\max}^{\partial} = (Q + \mu P)\ell = (3,0 + 1,35 \cdot 0,8) \cdot 1,0 = 4,08 \text{ ткм} = 408000 \text{ кгк}\cdot\text{см}$$

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \frac{M_{\max}^{\partial}}{W_x} = \frac{408000}{289} = 1412 \text{ кгк/см}^2 < [\sigma].$$

Бу олинган натижадан кўринадики, ушбу мисолдаги балканинг динамик мустаҳкамлигини таъминлаш учун 24-рақамли кўштаврни олиш керак экан.

Натижаларни янада ойдинлаштириш мақсадида, шу ҳисобни 22-рақамли кўштавр учун такрорлаймиз. Унинг параметрлари: $I_x = 2550 \text{ см}^4$, $W_x = 232 \text{ см}^3$ бўлиб, бу ҳолда

$$y_{cr} = \frac{Q\ell^3}{3EI_x} = \frac{3000 \cdot (100)^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2550} = 0,196 \text{ см}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{cr}}} = \sqrt{\frac{981}{0,196}} = 70,7 \text{ рад/сек}$$

$$\mu = \frac{1}{1 - \left(\frac{41,8}{70,7}\right)^2} = 1,54$$

$$M_{\max}^{\partial} = (Q + \mu P) \cdot \ell = (3,0 + 1,54 \cdot 0,8) \cdot 1,0 = 4,232 \text{ ткм} = 423200 \text{ кгкм}$$

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \frac{M_{\max}^{\partial}}{W_x} = \frac{423200}{232} = 1824 \text{ кгк/см}^2 > [\sigma] = 1600 \text{ кгк/см}^2$$

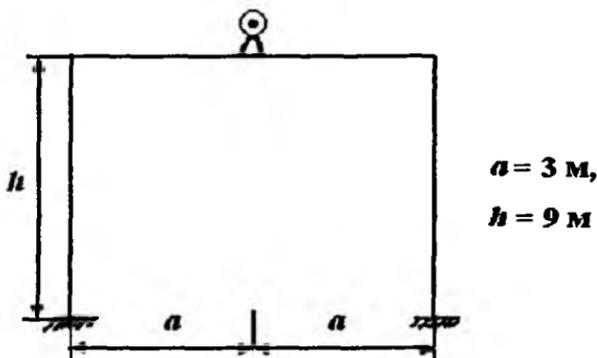
Олинган натижадан $\sigma^{\partial} > [\sigma]$ чиқиши 22-рақамли кўштавр балка динамик мустаҳкамлигини таъминлаш учун етарли даражада эмасли-

гини кўрсатади. Мустаҳкамликни таъминлаш учун фақат 24-рақамли қўшгавр балкани қабул қилиш керак бўлади.

2.7.2-мисол

Рамага ўрнатилган двигателнинг вазни $Q=6$ тк бўлиб, у минутага $n=500$ марта айланади (2.13-расм). Бу ҳолда двигателдан ҳосил бўладиган марказдан қочирма кучнинг вертикал ташкил этувчиси $P(t)=P\sin\theta t$ бўлиб, кучнинг максимал амплитудаси эса $P=2,0$ тк бўлсин.

Шу кучлар таъсирида бўлган рамали конструкциянинг (2.13-расм) мустаҳкамлиги текширилсин ва қўшгаврнинг керакли профиль рақами танлансин.



2.13-расм.

Двигатель таъсирида вужудга келадиган мажбурий тебранишнинг доиравий частотасини аниқлаймиз:

$$\theta = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52 \text{ рад/сек}$$

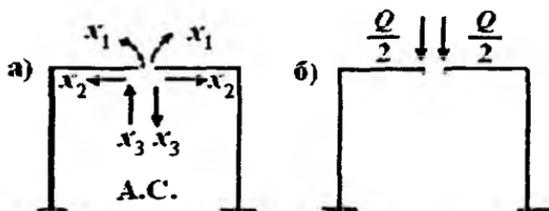
Раманинг хусусий тебраниш частотаси $\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{ст}}}$ ни аниқлаш учун статик солқилик $y_{ст}$ ни топиш зарур. Бунинг учун раманинг статик ноаниқлигини очиб, унда ҳосил бўладиган якуний эгувчи момент эҷураси M_x ни куриш талаб этилади. Берилган рама 3 марта статик ноаниқ, шунга кўра кучлар усулининг каноник тенгламалар системаси тузилади, яъни:

$$x_1\delta_{11} + x_2\delta_{12} + x_3\delta_{13} + \Delta_{1p} = 0$$

$$x_1\delta_{21} + x_2\delta_{22} + x_3\delta_{23} + \Delta_{2p} = 0$$

$$x_1\delta_{31} + x_2\delta_{32} + x_3\delta_{33} + \Delta_{3p} = 0$$

Тенгламалар системасини соддалаштириш мақсадида симметрик бўлган асосий системани (А.С.) танлаймиз (2.14а-расм).

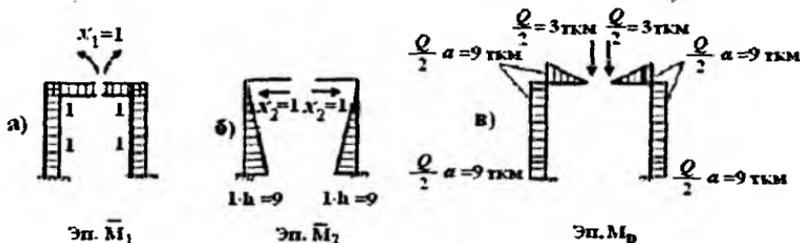


2.14-расм.

Ташқи статик кучни, яъни двигатель вазнини иккига бўлиб, кесимнинг икки томонига (2.14б-расм) жойлаштирамиз. “Қурилиш механикаси” курсидан маълумки, юк симметрик бўлса, тескари симметрик бўлган номаълум (яъни x_3) нолга тенг бўлади ва юқоридаги каноник тенгламалар системаси куйидаги кўринишни олади:

$$\left. \begin{aligned} x_1\delta_{11} + x_2\delta_{12} + \Delta_{1p} &= 0 \\ x_1\delta_{21} + x_2\delta_{22} + \Delta_{2p} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Бирлик кучлар ($x_1=1$; $x_2=1$) ва ташқи куч $\frac{Q}{2}$ дан ҳосил бўладиган эгувчи моментларнинг эпюраларини курамиз (2.15-расм). Қурилган эпюраларни Мор-Верешчагин усули бўйича кўпайтириб, каноник тенгламалар системасининг коэффициентларини (яъни кўчишларни) аниқлаймиз:



2.15-расм.

$$\delta_{11} = 2 \left(\frac{1 \cdot a \cdot l}{EI_x} + \frac{1 \cdot h \cdot l}{EI_x} \right) = 2 \left[\frac{1 \cdot 3 \cdot 1}{EI_x} + \frac{1 \cdot 9 \cdot 1}{EI_x} \right] = \frac{24}{EI_x}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = 2 \left[\frac{h \cdot h \cdot l}{2EI_x} \right] = 2 \left[\frac{9 \cdot 9 \cdot 1}{2EI_x} \right] = \frac{81}{EI_x}$$

$$\delta_{22} = 2 \left[\frac{h \cdot h \cdot h}{3EI_x} \right] = 2 \frac{9 \cdot 9 \cdot 9}{3EI_x} = \frac{486}{EI_x}$$

$$\Delta_{1p} = -2 \left[\frac{Q/2 \cdot a \cdot a \cdot l}{2EI_x} + \frac{Q/2 \cdot a \cdot h \cdot l}{EI_x} \right] = -2 \left[\frac{3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 1}{2EI_x} + \frac{3 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 1}{EI_x} \right] = -\frac{18}{EI_x}$$

$$\Delta_{2p} = -2 \left[\frac{h \cdot h \cdot Q/2 \cdot a}{2EI_x} \right] = -2 \left[\frac{9 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 3}{2EI_x} \right] = -\frac{729}{EI_x}$$

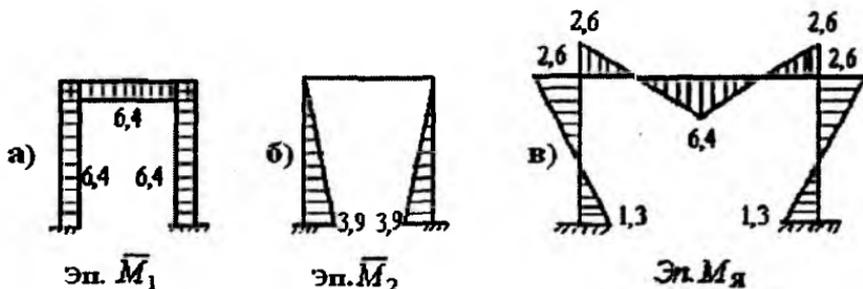
Топилган қийматларни каноник тенгламалар системасига қўйиб, $\frac{1}{EI_x}$ га қискартирсак, x_1 ва x_2 номаълумларни аниқлайдиган қуйидаги тенгламалар системаси ҳосил бўлади:

$$\left. \begin{aligned} 24x_1 + 81x_2 - 189 &= 0 \\ 81x_1 + 486x_2 - 729 &= 0 \end{aligned} \right\} x_1 = \frac{189}{24} - \frac{81}{24}x_2; \quad 81 \left(\frac{189}{24} - \frac{81}{24}x_2 \right) + 486x_2 = 0$$

Бу системанинг ечими

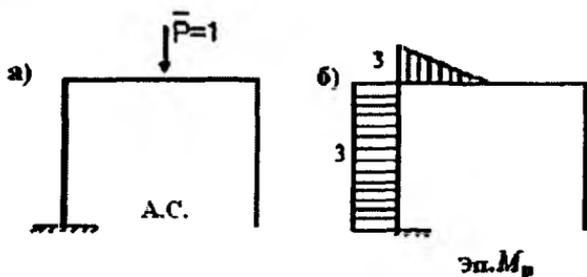
$$x_1 = 6,4 \text{ ва } x_2 = 0,43 \text{ га тенг бўлади.}$$

$x_1 = 1$ кучдан қурилган эпюрани (2.15а-расм) $x_1 = 6,4$ га ва $x_2 = 1$ кучдан қурилган эпюрани (2.15б-расм) $x_2 = 0,43$ га қўлайтириб, 2.16а,б-расмда тасвирланган эпюраларни ҳосил қиламиз. Шу икки эпюра билан M_p эпюрасини (2.15в-расм) қўшсак, якуний эпюра M_1 келиб чиқади (2.16в-расм).

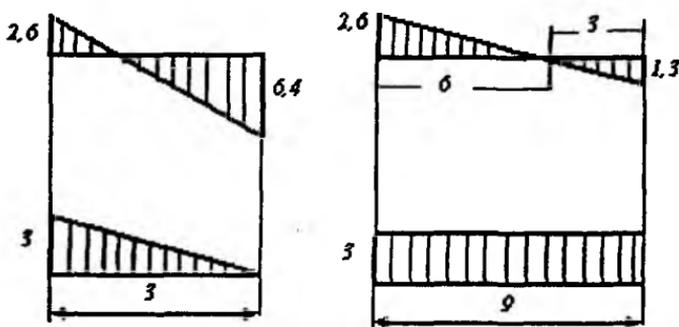


2.16-расм.

Двигатель ўрнатилган нуқтанинг статик солқилигини аниқлаш учун янги асосий системага (2.17а-расм) бирлик ($\bar{P}=1$) куч қўямиз ва шу кучдан ҳосил бўлган M_p эпюрасини кураемиз (2.17б-расм). M_p эпюрани (2.17б-расм) M_x эпюрасига (2.16в ёки 2.18-расм) кўпайтирамиз ва двигатель ўрнатилган нуқтанинг статик солқилигини аниқлаймиз:



2.17-расм



2.18-расм.

$$y_{ct} = \frac{3 \cdot 3}{6EI_x} [2 \cdot 2,6 - 6,4] + \frac{2,6 \cdot 6 \cdot 3}{2EI_x} - \frac{1,3 \cdot 3 \cdot 3}{2EI_x} = -\frac{1,8}{EI_x} + \frac{23,5}{EI_x} - \frac{5,85}{EI_x} = \frac{19,45 \text{ткм}^3}{EI_x}$$

Резонанс ҳолати $\omega = \theta$ да содир бўлади. Шунинг эътиборига оلسак, статик солқиликнинг қуйидаги қийматида резонанс ҳолатининг содир бўлиши келиб чиқади ($\sqrt{\frac{g}{y_{ct}^\theta}} = \omega = \theta$ бўлгани учун):

$$y_{ct}^\theta = \frac{g}{\theta^2} = \frac{981}{(52,3)^2} \approx 0,36 \text{см}$$

Бу қийматни y_{cm} га тенглаштириб, яъни $y_{cm} = y_{ct}^0$ берилган рама учун резонанс содир бўлиши мумкин бўлган I_x нинг қийматини аниқлаймиз:

$$y_{ct} = \frac{19,45 \text{ ткм}^3}{EI_x} = y_{ct}^0 = 0,36 \text{ бундан}$$

$$I_x = \frac{19,45 \text{ ткм}^3}{0,36 \cdot E} = \frac{19450 \cdot 10^6 \text{ кгксм}^3}{0,36 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ кгк/см}^2} = 27000 \text{ см}^4 \text{ бўлади.}$$

Инерция моменти I_x нинг бу қийматига сортамент жадвалидан 45-рақамли қўштавр тўғри келади ($I_x = 28000 \text{ см}^4$, $W = 1640 \text{ см}^3$).

Қўштавр кесимларида ҳосил бўладиган энг катга статик кучланиш, эгувчи момент максимум бўлган кесимга тўғри келади, яъни:

$$M_{\max}^{ct} = M_{ct} = 6,4 \text{ ткм}$$

Шунинг учун

$$\sigma_{ct} = \frac{M_{ct}}{W_x} = \frac{6,4 \text{ ткм}}{1640 \text{ см}^3} = \frac{640000 \text{ кгксм}}{1640 \text{ см}^3} = 390 \text{ кгк/см}^2 < [\sigma]$$

бўлиб, бу олинган натижа статик ҳолат учун раманинг мустаҳкамлиги тўла таъминланганлигини кўрсатади.

Бу натижадан резонанс ҳолатига тушмаслик учун қўштавр ракамини ошириш эмас, аксинча, камайтириш керак ва шу йўл билан статик солқиликни катталаштириш мумкин, деган хулоса чиқади.

Юқорида кўриб ўтганимиздек, раманинг хавфли частотасини $\omega = 0,7 \cdot \theta$ десак, у ҳолда $\omega = 0,7 \cdot 52,3 = 36,5 \text{ рад/сек}$ бўлади. Бундай частота статик солқиликнинг қуйидаги қийматида вужудга келади:

$$y_{ct} = \frac{g}{\omega^2} = \frac{981}{(36,5)^2} = 0,74 \text{ см}$$

бунга мос раманинг инерция моменти эса

$$I_x = \frac{19,45 \text{ ткм}^3}{E y_{ct}} = \frac{19450 \cdot 10^6 \text{ кгксм}^3}{2 \cdot 10^6 \text{ кгк/см}^2 \cdot 0,74 \text{ см}} = 13100 \text{ см}^4$$

бўлади.

Инерция моментининг бу қийматига 32-рақамли қўштавр тўғри келади, унинг қаршилиқ моменти $W_x = 706 \text{ см}^3$.

Бу частотага ($\omega = 36,5 \text{ рад/сек}$) тўғри келадиган динамик коэффициент

$$\mu = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{\theta}{\omega} \right)^2 \right|} = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{52,3}{36,5} \right)^2 \right|} = 0,96$$

бўлиб, мувозанатлашмаган P кучдан ҳосил бўладиган максимал эгувчи момент эса

$$M_{\max}^P = \frac{M_{\max}^{\text{ст}} P}{Q} = \frac{6,4 \cdot 2}{6} = 2,13 \text{ ткм}$$

бўлади.

Шунга асосан, қаралаётган рамада (2.13-расм) вужудга келадиган максимал динамик кучланишни аниқлашимиз керак. Бунинг учун максимал динамик эгувчи момент M_{\max}^{∂} ни топишимиз керак бўлади. Бу момент (M_{\max}^{∂}) статик кучи Q дан ҳосил бўлган момент билан мувозанатлашмаган P кучидан ҳосил бўлган моментнинг динамик коэффициент μ га кўпайтмасининг йиғиндисига тенг бўлади, яъни:

$$M_{\max}^{\partial} = M_{\max}^{\text{ст}} + \mu M_{\max}^P = 6,4 + 0,96 \cdot 2,13 = 8,4 \text{ ткм}$$

Демак, 32-рақамли қўшгаврда ҳосил бўладиган энг катта динамик кучланиш

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \frac{M_{\max}^{\partial}}{W_x} = \frac{8,4 \text{ ткм}}{706 \text{ см}^3} = \frac{840000 \text{ кгсм}}{706 \text{ см}^3} = 1200 \text{ кгк/см}^2 < [\sigma]$$

бўлади.

Бу ҳолда 32-рақамли қўшгаврли рама нафақат статик кучлардан ҳосил бўлган кучланишга, шу жумладан динамик кучлардан ҳосил бўлган кучланишга ҳам бардош бериб, керакли мустақамликни таъминлай олар экан.

2.8. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларга импульс кучларининг таъсирлари

2.8.1. Қиймати ўзгармас қўзғатувчи куч бирданига қўйилгандаги ҳолат

Агар тинч ҳолатда турган эластик системага (2.4-расм) t_0 вақтда қўзғатувчи куч $P(t)=P$ қўйилса, $t > t_0$ бўлганда динамиканинг мувозанат тенгламаси (сўниш ҳисобга олинмаган ҳолда) қуйидагича бўлади:

$$\ddot{y} + \omega^2 y = P / m \quad (2.41)$$

Ушбу (2.41) тенгламанинг, эркин ва мажбурий тебранишларни камраб олган тўлиқ ечими ($t_0=0$ бўлган ҳолат учун) қуйидаги кўринишга эга:

$$y = a \sin(\omega t + \varphi_0) + [P/(mv^2)] (1 - \cos \omega t) \quad (2.42)$$

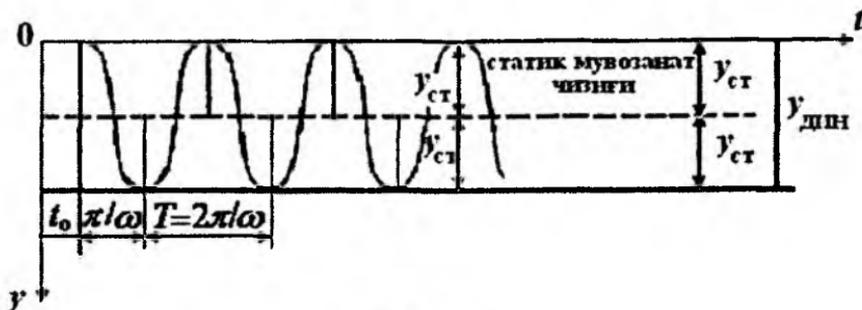
бўлиб, (2.19) га асосан $\omega^2 = \frac{1}{\delta_{11} m}$ ва $y_{ст} = \frac{P}{m\omega^2}$ бўлади.

Бу ҳолда, P кучи ҳосил қилган мажбурий тебранишнинг динамик коэффициентини

$$\mu = 1 - \cos \omega t \quad (2.43)$$

бўлиб, унинг энг катта қиймати, яъни $\mu_{\max} = 2$ частоталарнинг $\omega_n = \pi, 3\pi, \dots, (2n-1)\pi$ қийматларида ҳосил бўлади.

P куч таъсирида эластик системада (2.4-расм) вужудга келадиган тебранма ҳаракат графиги 2.19-расмда тасвирланган.



2.19-расм.

2.8.2. Қиймати ўзгармас, бирданига қўйиб-олинган куч таъсири

P куч вақтнинг t_0 лаҳзасида бирданига қўйилиб, ўз қийматини T_p вақт мобайнида ўзгартирмай сақлаб турди, дейлик. Бу ҳолда, аввалги ечим (2.42) $t_0 < t < t_0 + T_p$ вақт ичида ўз кучини сақлайди. Бундан сўн, яъни $t > t_0 + T_p$ вақтдан кейин (яъни P кучи ўз таъсирини тўхтатгандан кейин), система эркин тебрана бошлайди. Бу тебраниш (2.42) тенгламанинг биринчи ҳади билан ифодаланади. Бунда, мазкур тебранишнинг бошланғич шартлари ($t = t_0 + T_p$ бўлганда) аввалги ҳаракатнинг охириги шартларига мувофиқ келиб, P кучининг динамик коэффициентини аниқлаш имконини беради, яъни:

$$\mu = \pm 2 \sin(\omega T_p / 2) = \pm 2 \sin(\pi T_p / T) \quad (2.44)$$

Бу коэффициентнинг қиймати таъсир этаётган кучнинг даври T_p билан системанинг эркин тебраниш даври T орасидаги нисбатга

боғлиқ бўлади. 2.4-жадвалда μ нинг T_p/T га боғлиқ бўлган қийматлари берилган.

2.4-жадвал

T_p/T	0	0,01	0,02	0,05	0,1	0,167	0,2	0,3	0,4	0,5 ва ундан катта
μ	0	0,52	0,126	0,313	0,618	1,00	1,175	1,617	1,902	2,0

2.8.3. Кучнинг қисқа муддатли импульси

Агар тўпланган куч $P(t)$ нинг қисқа муддатли импульсининг қиймати S га тенг бўлиб, қисқа вақт (давр) T_p^0 мобайнида таъсир этса, кучнинг шу давр мобайнидаги ўртача қиймати қуйидагича бўлади:

$$P = S / T_p^0 \quad (2.45)$$

Бу ҳолда, ушбу импульсга тенг (эквивалент) бўлган статик кучни аниқлаш учун $P(t)$ куч динамик коэффициент (2.44) μ га кўпайтирилиб, ўзининг ўртача қиймати билан алмаштирилади, яъни:

$$P_{\text{экс}} = \mu P = \pm P \omega T_p^0 \cdot \frac{\sin\left(\frac{\omega T_p^0}{2}\right)}{\left(\frac{\omega T_p^0}{2}\right)} = \pm \omega S \frac{\sin(\omega T_p^0 / 2)}{(\omega T_p^0 / 2)} \quad (2.46)$$

$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{\sin \alpha}{\alpha} = 1$ эканлигини ва ҳар қандай бошқа α бурчак учун ҳам $\frac{\sin \alpha}{\alpha} < 1$ бўлишини ҳисобга олсак, у ҳолда эквивалент кучнинг энг катта қиймати

$$P_{\text{экс}} = \pm \omega S \quad (2.47)$$

бўлади.

2.8.4. Зарбали куч таъсири

Ҳаракатдаги жисм эластик системага келиб урилса, масалан, юқоридан тушаётган $Q = mg$ юк балканинг учига урилса (2.20-расм), юкнинг кинетик энергияси балкага ўтади, натижада балка деформацияланади ва балка билан юк орасида ўзаро таъсир қилувчи тенг кучлар пайдо бўлади. Бу кучларнинг ҳар бири зарба кучи деб атала-

ди. Зарба кучи аниқ давомийликка ёки таъсир даври T_p^0 га эга бўлиб, у секунднинг юздан бир ёки мингдан бир улушларида ўлчанишига қарамай, шу кичкина вақт ичида ҳам ўз қийматини ўзгартиради. Зарба кучининг тахминий графиги (зарба диаграммаси) 2.21-расмда узлуксиз эгри чизиқ билан кўрсатилган.

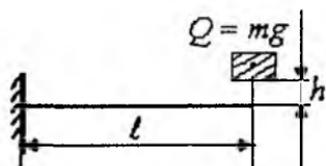
Зарба кучи P нинг импульси куйидаги катталиқ билан характерланади:

$$S = \int_0^{T_p^0} P(t) dt \quad (2.48)$$

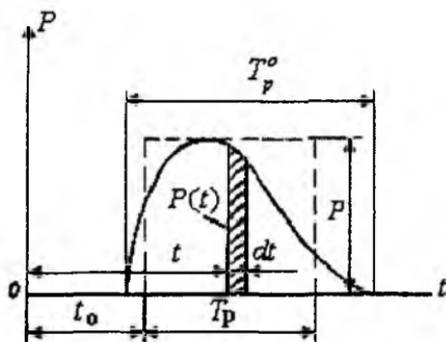
Айни бир пайтда зарба кучининг импульси S урилайётган масса m нинг ҳаракат миқдорига тенг бўлади, яъни:

$$S = mv \quad (2.49)$$

Бу ерда v – ҳаракатланаётган массанинг тезлиги.



2.20-расм. Зарбали юк таъсир қилаётган балка



2.21-расм. Зарба диаграммаси

Агар куч T_p давр мобайнида ўзгармаса ва P га тенг бўлиб қолаверса, у ҳолда куч импульси оддий кўпайтма билан ифодаланади:

$$S = PT_p \quad (2.50)$$

Зарба кучи, унинг таъсир этиш даврида фақат вақт бўйича ўзгариш қонунияти, жисм массасининг миқдори ва унинг ҳаракат тезлигига боғлиқ бўлиб қолмай, балки иншоотнинг эластиклик хусусиятларига ва зарба бериладиган сиртига ҳам боғлиқ бўлади. Ҳозирги пайтда зарба кучи графигини фақат тажриба йўли билан, осциллограф ёрдамида ёзиб олиш мумкин. Зарба кучи графигини тахминан тенг кучли тўғри тўртбурчак билан алмаштириш мумкин. Масалан, энг катта ордината-

лар тенглиги ёки даврлар тенглиги $T_p = T_p^0$ га асосланган шундай тўрт-бурчак 2.21-расмда штрих чизик билан тасвирланган.

Зарба кучи импульси S , унинг таъсир этиш даври T_p^0 ва системанинг хусусий тебраниш частотаси ω маълум бўлса, нозластик зарба кучига эквивалент (тенг кучли) бўлган статик кучни (2.46) формула орқали аниқласа бўлади. Зарба кучининг таъсир этиш даври кўпинча номаълум бўлгани учун, унинг импульсини бир онли деб қабул қилиш мумкин. Бунда эквивалент статик куч (2.47) формула орқали аниқланиб, урилайтган Q юкнинг динамик коэффициенти эса куйидаги ифодадан топилади:

$$\mu = \frac{P_{\text{ЭКВ}}}{Q} = \frac{\omega S}{Q} = \frac{\sqrt{\frac{g}{y_{\text{CT}}}} m v}{Q} = \frac{\sqrt{\frac{g}{y_{\text{CT}}}} Q v}{Q} = \frac{v}{\sqrt{g y_{\text{CT}}}} \quad (2.51)$$

Бу формуладан m масса ҳар қандай йўналишда ҳаракатланганда ҳам фойдаланса бўлади. Бу формуладан кўринадики, иншоотнинг биқирлиги қанча юқори бўлиб, урилайтган массанинг тезлиги ҳам қанча катта бўлса, урилайтган Q юкнинг зарбадаги динамик коэффициенти μ ҳам шунча катта бўлади.

Агар (2.51) даги тезликни Q юкнинг $h + \mu y_{\text{CT}}$ баландликдан эркин тушиш тезлигига тенг деб, яъни $v = \sqrt{2g(h + \mu y_{\text{CT}})}$ олинса ва бу ифодани (2.51) формулага олиб бориб қўйиб, квадрат тенгламани ечсак, бу ҳолда динамик коэффицент

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + 2h/y_{\text{CT}}} \quad (2.52)$$

бўлади.

Агар h баландлик y_{cm} дан анча катта бўлса, у ҳолда динамик коэффицент учун куйидаги тақрибий ифодага эга бўламиз:

$$\mu \approx \sqrt{2h/y_{\text{CT}}} \quad (2.53)$$

Агарда юк бирданига қўйилса, яъни $h=0$ бўлса, у ҳолда (2.52) ифодадан $\mu=2$ га эга бўламиз.

Иншоотнинг $Q=mg$ юк билан зарба бериладиган жойида m , тўшланган масса турган бўлса, у ҳолда ҳар иккала масса таъсиридаги статик солкилик куйидагича бўлади:

$$y_{\text{1cr}} = y_{\text{cr}} ((m+m_1)/m) = y_{\text{cr}} (1+m_1/m)$$

Бу ифодани (2.53) даги ифодадаги y_{cr} нинг ўрнига олиб бориб қўйсақ, бу ҳолда динамик коэффицентни куйидагича аниқлаш мумкин:

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{\gamma_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{1 + m_1/m}} \quad (2.54)$$

Системада тўпланган масса мавжуд бўлган ҳолларда, шу йўл билан (2.51) ва (2.52) формулаларга ҳам аниқлик киритиш мумкин.

Иншоотнинг зарба бериладиган жойига ёйилган масса қўйилган бўлса, бу массани тўпланган массага айлантириш учун стерженнинг таянч шартларига боғлиқ бўлган 1 дан кичик коэффициентга кўпайтириш керак.

Зарба кучи стерженнинг бўйлама ўқиға тик равишда йўналган бўлиб, эғувчи зарба ҳосил қилиши билан бирға, у ўқ бўйлаб йўналган бўлиб, сиқувчи ва чўзувчи зарбалар ҳам ҳосил қилиши мумкин.

Агар зарба стерженнинг ўқи бўйлаб йўналган бўлса, статик солқилик $\gamma_{\text{ст}}$ ни аниқлашда стерженнинг ўз деформациясидан ташқари, зарба берилган нуқтанинг умумий кўчишини ҳам ҳисобға олиш зарур бўлади. Масалан, свай-қозикларни қоқишда бу катта аҳамиятға эға (2.9.2-мисолға қаранг). Бу ҳолда қозикнинг бир зарба таъсирида чўкиши – қайтиши (отказ) деб аталади. Одатда, стерженнинг чўзилиш ёки сиқилиш деформацияси қайтишға нисбатан анча кичик бўлади, шунинг учун ҳам у кўпинча ҳисобға олинмайди.

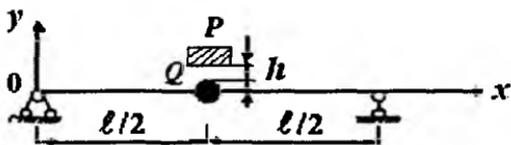
2.9. Эркинлик даражаси бирға тенг бўлган системаларға импульс кучларининг таъсирларини текширишға доир мисоллар

2.9.1-мисол

Узунлиги 6 м бўлган темирбетон тўсин (балка)нинг ўртасига $h=20$ см баландликдан тушаётган $P=200$ кгк юк келиб урилгандаги (2.22-расм) юкнинг зарба кучи аниқлансин. Темирбетоннинг эластиклик модули $E=340000$ кгк/см², балка кўндаланг кесимининг инерция моменти $I_x=360000$ см⁴, тўсиннинг хусусий огирлиги $Q=2,0$ тк деб олинсин.

P юк таъсирида ҳосил бўладиган балканинг статик солқилигини аниқлаймиз:

$$y_{ст} = P \ell^3 / 48 EI_x = 200 \cdot (600)^3 / (48 \cdot 340000 \cdot 360000) = 0,0074 \text{ см}$$



2.22-расм.

Масалани ечишда балканинг хусусий оғирлигини юк урилган жойга тўпланган куч сифатида келтириб, хусусий оғирликнинг ярмига тенг бўлган микдорни қараймиз (чунки, бу куч балканинг ўртасига келтирилаяпти):

$$Q_1 = \frac{Q}{2} = 1,0 \text{ тк}$$

Зарбадаги динамик коэффициентни (2.54) формуладан аниқлаймиз. Бунда массаларнинг нисбати $\frac{m_1}{m_2} = \frac{Q_1}{P}$ бўлади, шунинг учун:

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{ст} \left(1 + \frac{Q_1}{P}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{0,0074 \left(1 + \frac{1000}{200}\right)}} = 31$$

Бу ҳолда зарба кучи куйидаги қийматга эга бўлади:

$$P_3 = \mu P = 31 \cdot 200 = 6200 \text{ кгк}$$

Агар балка массаси $m_1 = Q_1/g$ ҳисобга олинмаса, динамик коэффициент ва зарба кучи анча катта чиқади:

$$\mu = \sqrt{2 \cdot 20 / 0,0074} = 73,5$$

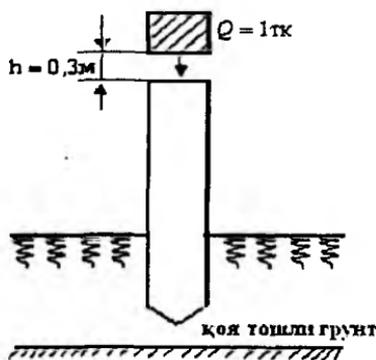
$$P_3 = \mu P = 73,5 \cdot 200 = 14700 \text{ кгк}$$

Олинган натижалардан кўринадики, юкнинг тушиш баландлиги унча катта бўлмаса ҳам, у ўз оғирлигига нисбатан анча катта қийматга эга бўлган кучни ҳосил қилади. Бунда зарба кучининг қиймати система бикирлигининг ортиши билан ортиб боради.

2.9.2-мисол

Узунлиги $\ell = 10$ м ва кўндаланг кесим ўлчамлари 40×40 см бўлган темирбетон қозиқ (свой) копёр ёрдамида ерга қоқилмоқда. Копёрнинг

урилувчи қисмининг оғирлиги $Q=1$ тк, тушиш баландлиги $h=0,3$ м ва қозикнинг қайтиши $\ell^1=0,2$ см бўлсин. Темирбетоннинг эластиклик модули $E=340000$ кгк/см². Қоқиш жараёнида ва қозик қоя тошли грунт билан тўқнашган пайтида қозикда ҳосил бўладиган кучланиш аниқлансин (2.23-расм).



2.23-расм.

Бу ҳолда қозикнинг кўндаланг кесим юзаси $F=40\text{см}\times 40\text{см}=1600\text{см}^2$ бўлиб, юк статик таъсир этганда қозикда ҳосил бўладиган бўйлама куч $N^{\text{ст}}=Q=1000$ кгк бўлади.

Қозикнинг хусусий статик деформацияси эса:

$$y_{\text{ст}}^1 = \frac{N^{\text{ст}} \cdot \ell}{E \cdot F} = \frac{1000 \text{ кгк} \cdot 1000 \text{ см}}{340000 \text{ кгк/см}^2 \cdot 1600 \text{ см}^2} = 0,00184 \text{ см}$$

бўлади.

Шунга асосан, қозикнинг умумий абсолют деформацияси

$$y_{\text{ст}} = y_{\text{ст}}^1 + \ell^1 \approx 0,00184 + 0,2 \approx 0,2 \text{ см бўлиб,}$$

қозикда ҳосил бўладиган максимал статик кучланиш

$$\sigma_{\text{макс}}^{\text{ст}} = \frac{N^{\text{ст}}}{F} = \frac{1000 \text{ кгк}}{1600 \text{ см}^2} \approx 0,63 \text{ кгк/см}^2 \text{ ни}$$

ташкил этади.

Олинган натижа $y_{\text{ст}} \approx 0,2$ см шунга яна бир бор тасдиқлайдики, агар қозикнинг хусусий деформацияси $y_{\text{ст}}^1$ қайтиш ℓ^1 га нисбатан кичик бўлса (яъни $y_{\text{ст}}^1 \ll \ell^1$ бўлса), уни ҳисобга олмасам ҳам бўлади.

Бу ҳолда (2.53) га кўра динамик коэффициент:

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30}{0,2}} \approx 17,3$$

бўлиб, максимал динамик кучланиш:

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \sigma_{\max}^{\text{ст}} \cdot \mu = 0,63 \cdot 17,3 = 10,8 \text{ кгк/см}^2 \text{ га тенг бўлади.}$$

Қозик қоя асосга бориб тақалгач, қайтиш нолга тенг бўлади ($\ell^1 \approx 0$), статик кўчиш эса қозикнинг хусусий деформациясига тенглашади, яъни

$$y_{\text{ст}} \approx y_{\text{ст}}^I = 0,00184 \text{ см}$$

Бу ҳолда динамик коэффициент

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30}{0,00184}} \approx 180,6$$

Максимал динамик кучланиш эса

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \sigma_{\max}^{\text{ст}} \cdot \mu = 0,63 \cdot 180,6 = 113,8 \text{ кгк/см}^2$$

бўлади, яъни биринчи ҳолдагидан анча катта.

Бу мисолимизда зарба таъсири фойдали мақсад учун ишлатилмоқда, кўп ҳолларда асосий мақсад зарба таъсири камайтиришга қаратилган бўлади.

Амалиётда ишлатиладиган ҳар хил конструкцияларда зарба таъсиридан вужудга келадиган динамик кучланишларни камайтириш учун конструкция таркибига эластик пружина, рессор ва амортизаторлар сингари юмшатгичлар киритилади. Қуйида шунга қаратилган мисолни кўриб чиқамиз.

2.9.3-мисол

Узунлиги $\ell=6$ м бўлган балканинг (2.24а-расм) ўртасига, $h=20$ см баландликдан тушаётган юк $P=200$ кгк келиб урилганда, иккита ҳолат учун динамик кучланишнинг ўзгаришини кўриб чиқиш талаб қилинади. Биринчи ҳолатда балканинг иккала учи ҳам таянчларда маҳкамланган (2.24а-расм), иккинчи ҳолатда таянчлардан бири пружинали амортизатор билан алмаштирилган (2.24б-расм). Балканинг материали темирбетон ($E=340000$ кгк/см²), балка кўндаланг кесимининг инерция моменти $I_x=36000$ см⁴, пружинанинг чўкиши эса $k=2$ см/тк деб олинди, ҳисоб ишларини бажаришда балканинг массаси ҳисобга олинмасин.

Агар $P=200$ кгк юк статик таъсир этса, у ҳолда таянч реакциялари $R_A = R_B = 100$ кгк бўлиб, юк қўйилган C нуқтанинг статик солқилиги қуйидагича бўлади:

$$y_{\text{icr}}^I = \frac{P\ell^3}{48EI_x} = \frac{200 \cdot 600^3}{48 \cdot 340000 \cdot 36000} = 0,074 \text{ см}$$

В таянчнинг чўкиши (2.24б-расм)

$$y_{\text{icr}}^B = k \cdot R_B = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ см}$$

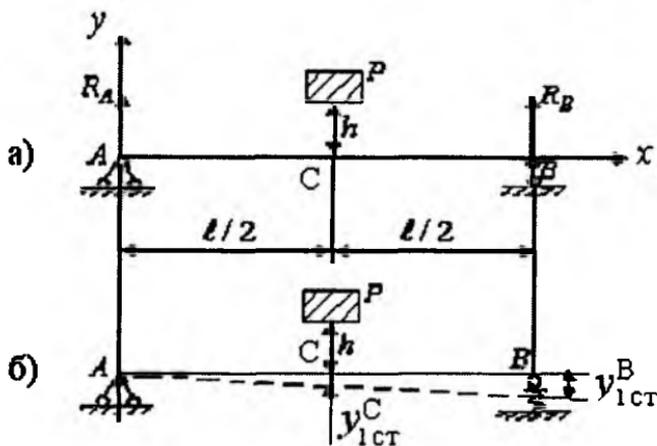
бўлиб, С нуқтанинг чўкиши эса (2.24б-расм)

$$\frac{y_{\text{icr}}^B}{\ell} = \frac{y_{\text{icr}}^C}{\ell/2}; \quad y_{\text{icr}}^C = \frac{y_{\text{icr}}^B \cdot \frac{\ell}{2}}{\ell} = \frac{y_{\text{icr}}^B}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ см ни}$$

ташкил этади.

С нуқтанинг умумий кўчиши эса:

$$y_{\text{icr}}^C = y_{\text{icr}}^I + y_{\text{icr}}^C = 0,074 + 0,1 = 0,174 \text{ см бўлади.}$$



2.24-расм.

Пружина ўрнатилмаган балка учун (2.24а-расм) динамик коэффициентини (2.53) дан аниқлаб, балкага таъсир этадиган зарба кучини аниқлаймиз:

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{\text{icr}}^I}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{0,074}} = 23,2,$$

$$P_3^b = \mu P = 23 \cdot 200 = 4650 \text{ кгк}$$

Шу катталикларни балка таянчларидан бирига пружинали амортизатор ўрнатилган ҳолат учун (2.24б-расм) аниқлаймиз:

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{\text{ст}}^{\text{с}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{0,174}} = 15,2$$

$$P_3^{\text{II}} = \mu P = 15,2 \cdot 200 = 3032 \text{ кгк}$$

Демак, биз кўриб ўтган ҳолатда пружинали амартизатор зарба кучини 1,5 марта камайтиради ($P_3^{\text{II}} / P_3^{\text{I}} \approx 1,5$).

Зарба кучига ҳисобланадиган конструкцияларда кўндаланг кесим ўлчамларини аниқлаш масаласи анча мураккаб ҳисобланади. Чунки, статик кучланиш кесимнинг қаршилик моменти W_x га боғлиқ, динамик коэффициент μ эса эғувчи зарбадан ҳосил бўлувчи $y_{\text{ст}}$ ва инерция моменти I_x га боғлиқ бўлади.

Бу ҳолда инерция моменти I_x билан қаршилик моменти W_x орасидаги аналитик ифодани тузиш ҳамма вақт ҳам мумкин бўлавермайди, айниқса, конструкция элементлари прокат профиллардан ташкил топган бўлса. Шу боисдан, бу каби масалаларни сонли усулда ечиш мақсадга мувофиқ саналади.

2.9.4-мисол

Узунлиги $\ell=1$ м бўлган қўштавр консол балканинг бир учи кистириб маҳкамланган бўлиб, иккинчи учига $h=10$ см баландликдан тушаётган $P=100$ кгк юк келиб урилганда, бу зарба кучига бардош берадиган қўштаврнинг профил рақами (номери) аниқлансин.

Бу ҳолда статик қўйилган юк P таъсирида балкада ҳосил бўладиган максимал эғувчи момент $M_{\text{max}}^{\text{ст}} = P\ell = 100 \times 100 = 10000$ кгксм бўлиб, балканинг статик солқилиги қуйидаги миқдорга тенг бўлади:

$$y_{\text{ст}} = \frac{P\ell^3}{3EI_x} = \frac{100 \text{ кгк} \cdot (100 \text{ см})^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ кгк/см}^2 \cdot I_x} = \frac{16,7 \text{ см}^5}{I_x}$$

Максимал статик кучланиш эса:

$$\sigma_{\text{max}}^{\text{ст}} = \frac{M_{\text{max}}^{\text{ст}}}{W_x} = \frac{10000}{W_x} \text{ кгк/см}^2$$

бўлади.

Агар масалани ечиш учун биринчи яқинлашув сифатида 20-рақамли қўштавр балкани олсак, у ҳолда бунга тегишли $I_x = 1840 \text{ см}^4$, $W_x = 184 \text{ см}^3$ бўлиб, қолган юкоридаги катталиклар қуйидаги қийматларга эга бўлади:

$$\sigma_{\max}^{\text{ст}} = \frac{M_{\max}^{\text{ст}}}{W_x} = \frac{10000}{184} = 54,3 \text{ кгк/см}^2$$

$$y_{\text{ст}} = \frac{16,7}{I_x} = \frac{16,7}{1840} \approx 0,0091 \text{ см,}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{0,0091}} = 46,9$$

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \mu \cdot \sigma_{\max}^{\text{ст}} = 46,9 \cdot 54,3 = 2545 \text{ кгк/см}^2$$

Бу ҳолда зарба таъсирида ҳосил бўладиган динамик кучланиш σ_{\max}^{∂} рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = 1600 \text{ кгк/см}^2$ дан катта, яъни $\sigma_{\max}^{\partial} > [\sigma]$, демак балка зарбага бардош бера олмайди. Буни таъминлаш учун қўштакнинг профил рақамини катталаштириш керак.

Шунинг учун 30-рақамли қўштакврни ($I_x = 7080 \text{ см}^4$, $W_x = 472 \text{ см}^3$) қабул қилиб, ҳисобни давом эттираемиз, яъни:

$$\sigma_{\max}^{\text{ст}} = \frac{10000}{W_x} = \frac{10000}{472} = 21,2 \text{ кгк/см}^2$$

$$y_{\text{ст}} = \frac{16,7}{I_x} = \frac{16,7}{7080} = 0,00236 \text{ см}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{0,00236}} \approx 92$$

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \mu \cdot \sigma_{\max}^{\text{ст}} = 92 \cdot 21,2 = 1951,7 \text{ кгк/см}^2$$

Бу ҳолда ҳам $\sigma_{\max}^{\partial} > [\sigma]$ бўлгани учун, ҳисобни яна давом эттираемиз.

Агар 40-рақамли қўштакврни танласак, бунга доир $I_x = 19000 \text{ см}^4$, $W_x = 953 \text{ см}^3$ бўлиб, қуйидаги натижаларга эга бўлаемиз:

$$\sigma_{\max}^{\text{ст}} = \frac{10000}{W_x} = \frac{10000}{953} = 10,5 \text{ кгк/см}^2$$

$$y_{\text{ст}} = \frac{16,7}{I_x} = \frac{16,7}{19000} = 0,00088 \text{ см}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{2h}{y_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{0,00088}} \approx 150,75$$

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \mu \cdot \sigma_{\max}^{\sigma} = 150,75 \cdot 10,5 = 1583 \text{ кгк/см}^2$$

Демак, бу зарбага бардош берадиган балка учун 40-рақамли кўштаврни танласак, у ҳолда мустаҳкамлик шарти қаноатлантирилиб (яъни $\sigma_{\max}^{\partial} > [\sigma]$ бўлиб), конструкция керакли мустаҳкамликни таъминлай олади.

2.10. Эркинлик даражаси бир нечта бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини куч усули ёрдамида текшириш

Эластик системанинг хусусий тебраниш частоталари ва шакллари сони унинг эркинлик даражасига тенг бўлади. Ҳар бир тебраниш шаклининг ўз частотаси бор. Барча частоталар мажмуаси хусусий частоталар спектри деб аталади.

Амалиётда кўпинча энг кичик, яъни қуйи (биринчи) частотани аниқлаш билан кифояланилади. Бу частотада динамик кучлар таъсирида ҳосил бўладиган резонанс ҳолатининг вужудга келиш хавфи кўпроқ бўлади. Одатда, энг кичик хусусий частотада рўй берадиган биринчи резонанснинг динамик таъсири юқори бўлади, чунки бу частотадаги тебраниш катта кувватга эга бўлади. Ҳаттоки, кўзгатувчи кучнинг частотаси системанинг хусусий тебранишларининг қуйи частотасидан анча юқори бўлган тақдирда ҳам, бу частотада ўтаётганда барибир резонанс ҳодисаси содир бўлиб ўтади. Масалан, машина юргизилиб, айланишлар сони орта бораётганда, бундай ҳодиса рўй бериши мумкин. Зилзила вақтида ҳам шундай ҳодиса кузатилади, чунки бу ҳолда ҳам частоталар спектрининг диапазони (қамрови) катта бўлади. Шунинг учун хусусий тебранишларнинг биринчи частотаси кўпинча тебранишларнинг асосий частотаси (ёки тони ҳам) деб аталади.

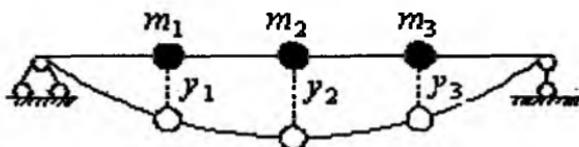
2.10.1. Эркинлик даражаси учга тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш

Мисол тариқасида учга тўпланган m_1, m_2, m_3 массаларга эга бўлган оддий балкани кўриб чиқамиз (2.25-расм).

Мазкур балканинг эркинлик даражаси учга тенг, бинобарин, бу система учга хусусий тебраниш частоталари – $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ га эга. Ушбу

системанинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш учун дифференциал тенгламалар системасини тузамиз:

$$\begin{aligned} y_1 &= -\delta_{11}m_1\ddot{y}_1 - \delta_{12}m_2\ddot{y}_2 - \delta_{13}m_3\ddot{y}_3, \\ y_2 &= -\delta_{21}m_1\ddot{y}_1 - \delta_{22}m_2\ddot{y}_2 - \delta_{23}m_3\ddot{y}_3, \\ y_3 &= -\delta_{31}m_1\ddot{y}_1 - \delta_{32}m_2\ddot{y}_2 - \delta_{33}m_3\ddot{y}_3 \end{aligned} \quad (2.55)$$



2.25-расм. Уч массали система

Массаларнинг бирлик кучидан ҳосил бўлган кўчишлари δ_{11} , $\delta_{12}=\delta_{21}$, $\delta_{13}=\delta_{31}$, δ_{22} , $\delta_{23}=\delta_{32}$, δ_{33} ҳар галгидек Мор-Верешчагин усули билан аниқланади.

Бир жинсли оддий дифференциал тенгламалар системаси (2.55) қуйидаги ечимга эга бўлади:

$$\begin{aligned} y_1 &= a_1 \sin(\omega t + \varphi_0), \\ y_2 &= a_2 \sin(\omega t + \varphi_0), \\ y_3 &= a_3 \sin(\omega t + \varphi_0). \end{aligned} \quad (2.56)$$

Бу ерда: a_1 , a_2 , a_3 – массаларнинг тебраниш амплитудалари; φ_0 – тебранишнинг бошлангич фазаси.

Ҳар бир массанинг тезланиши қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} \ddot{y}_1 &= -\omega^2 a_1 \sin(\omega t + \varphi_0), \\ \ddot{y}_2 &= -\omega^2 a_2 \sin(\omega t + \varphi_0), \\ \ddot{y}_3 &= -\omega^2 a_3 \sin(\omega t + \varphi_0). \end{aligned} \quad (2.57)$$

(2.56), (2.57) ларни (2.55) тенгламалар системасига қўйиб, олинган натижани $[\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)]$ га қисқартирсак, қуйидаги бир жинсли алгебраик тенгламалар системасига эга бўламиз:

$$\begin{cases} (\delta_{11}m_1 - 1/\omega^2)a_1 + \delta_{12}m_2a_2 + \delta_{13}m_3a_3 = 0, \\ \delta_{21}m_1a_1 + (\delta_{22}m_2 - 1/\omega^2)a_2 + \delta_{23}m_3a_3 = 0, \\ \delta_{31}m_1a_1 + \delta_{32}m_2a_2 + (\delta_{33}m_3 - 1/\omega^2)a_3 = 0 \end{cases} \quad (2.58)$$

Агар $a_1=a_2=a_3=0$ деб олинса, система тинч ҳолатда бўлади, яъни тебраниш бўлмайди. Бу ҳол биз қараётган масаламизнинг шартига тўғри келмайди. Хусусий тебраниш ҳосил бўлиши учун a_1, a_2, a_3 амплитудалар нолдан фарқли бўлиб, система коэффициентларидан ташкил топган аниқловчи (детерминант) нолга тенг бўлиши керак, яъни:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m_1 - 1/\omega^2 & \delta_{12}m_2 & \delta_{13}m_3 \\ \delta_{21}m_1 & \delta_{22}m_2 - 1/\omega^2 & \delta_{23}m_3 \\ \delta_{31}m_1 & \delta_{32}m_2 & \delta_{33}m_2 - 1/\omega^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (2.59)$$

Бу характеристик аниқловчи бўлиб, уни нолга тенгласак, асрий тенглама деб аталувчи характеристик тенглама келиб чиқади. Бу тенгламадан характеристик илдизлар $\omega_1^2, \omega_2^2, \omega_3^2$ ва уч массали системанинг (2.25-расм) хусусий частоталари $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ топилади.

Частоталарнинг топилган қийматларини (2.58) тенгламалар системасига қўйиб, уни ечсак, массаларнинг тебраниш амплитудалари келиб чиқади. Топилган барча амплитудаларни максимал амплитудага бўлиш йўли билан системанинг (2.29-расм) хусусий тебраниш шаклларни ҳосил қилинади.

2.10.2. Эркинлик даражаси “ n ” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш

Эркинлик даражаси n га тенг бўлган системанинг характеристик тенгламаси умумий кўринишда қуйидагича ёзилади:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m_1 - 1/\omega^2 & \delta_{12}m_2 & \dots & \delta_{1n}m_n \\ \delta_{21}m_1 & \delta_{22}m_2 - 1/\omega^2 & \dots & \delta_{2n}m_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1}m_1 & \delta_{n2}m_2 & \dots & \delta_{nn}m_n - 1/\omega^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (2.60)$$

Характеристик тенгламалар системаси (2.60) нинг тартиби катта бўлмаса (яъни $n \leq 3$ бўлса), у ҳолда уни қўлда ечса ҳам бўлади, бошқа ҳолларда махсус дастурлар ёрдамида ЭҲМ да ечилади.

Агарда куч усули қўлланганда асосий система қулай қилиб танлашиб, ёндош кўчишлар δ_{ik} ($i \neq k$) нолга айланса, бу ҳолда характеристик тенглама (2.60) алоҳида тенгламаларга бўлиниб кетиши мумкин. Бу

алоҳида тенгламалар эса фақат бош кўчишлардан ташкил топади. Бу ҳолда u_1, u_2, \dots, u_n кўчишлар тебранишнинг бош координаталари деб аталади.

Бу ҳолда тебранишнинг бош шакллари бир-бирига боғлиқ бўлмай, ҳар бири ўз частотасига эга бўлади ва бу частоталар куйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\omega_i = 1/\sqrt{\delta_{ii}m_i} \quad (2.61)$$

Мазкур формула тузилишига кўра эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системанинг формуласи (2.19) га ўхшайди. Бирок, эркинлик даражаси икки-учдан ортиқ бўлган системалар учун умумий ҳолда бош координаталарни танлаш анча қийин. Эркинлик даражаси иккига тенг бўлган система учун бу жуда осон масала ҳисобланади.

Симметрик системаларда массалар ҳам симметрик жойлашган бўлса, тебраниш шакллари ҳам симметрик ва тескари симметрик бўлади. Бунда инерция кучлари ҳам симметрик ва тескари симметрик бўлиб, улар куч усулида номаълумларни гуруҳлангандек гуруҳланади. Бу ҳолда кўчишлар симметрик ва бирлик кучдан ҳосил бўлган тескари симметрик жуфтлик гуруҳлар орқали ҳисобланади. Тўғри ва тескари симметрик инерция кучларини боғловчи, ёндош кўчишлар эса нолга айланади. Натижада частоталар тенгламаси (характеристик тенглама) иккига ажралади ва уларнинг биридан симметрик тебранишларнинг, иккинчисидан эса тескари симметрик тебранишларнинг частоталари аниқланади.

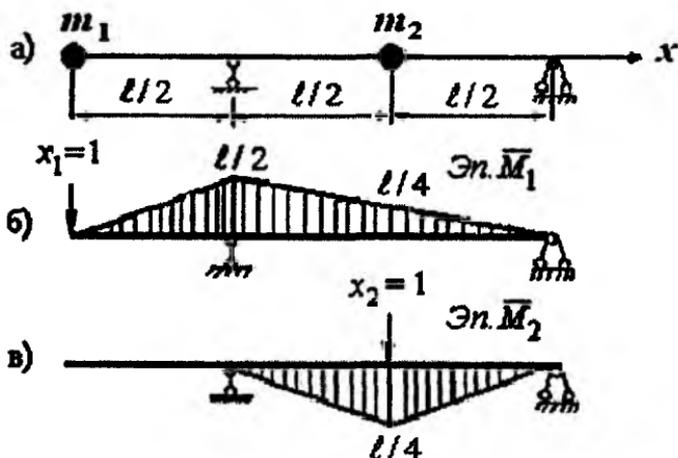
Гуруҳланган кўчишлар жуфтланган бирлик кучлар орқали тузилган тенгламалардан аниқланади. Бу ҳолда характеристик тенгламаларга кiritилган массалар $1/2$ коэффициентга кўпайтирилган бўлиши керак.

2.11. Эркинлик даражаси бир нечта бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини куч усули ёрдамида текширишга доир мисоллар

2.11.1-мисол

Иккита таянчда ётувчи вазнсиз балкага (2.26а-расм) иккита тўпланган ($m_1 = m_2 = m$) масса ўрнатилган бўлса, бу системанинг хусусий

тебраниш частоталари аниқлансин. Балканинг материали пўлат $E = 2 \cdot 10^6$ кгк/см², кўндаланг кесимининг инерция моменти $I_x = 1000$ см⁴, қўйилган кучлар $Q = 500$ кгк = 0,5тк ва узунлик $\ell = 4,0$ м деб олинсин.



2.26-расм.

Бу ҳолда балкага ўрнатилган массалар $m_1 = m_2 = m$ бўлиб, $m = Q/g = 0,5/9,81 = 0,051$ т·сек²/м бўлади.

Масалани ечиш учун тузиладиган тенгламалар системасининг коэффициентларини, яъни бирлик кучлардан ҳосил бўладиган кўчишларни Мор-Верещчагин усули ёрдамида эпюраларни (2.26б,в-расм) кўпайтириш йўли билан аниқлаймиз:

$$\delta_{11} = \frac{\ell/2 \cdot \ell/2 \cdot \ell/2}{3EI_x} + \frac{\ell/2 \cdot \ell/2 \cdot \ell}{3EI_x} = \frac{\ell^3}{8EI_x}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = -\frac{\ell/4 \cdot \ell/2 \cdot [2 \cdot \ell/4 + \ell/2]}{6EI_x} - \frac{\ell/4 \cdot \ell/4 \cdot \ell/2}{3EI_x} = -\frac{\ell^3}{32EI_x}$$

$$\delta_{22} = \frac{\ell/4 \cdot \ell/2 \cdot \ell/4 \cdot 2}{3EI_x} = \frac{\ell^3}{48EI_x}$$

Бу коэффициентлардан характеристик аниқловчини тузиб, уни нолга тенглаймиз:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11} m - 1/\omega^2 & \delta_{12} m \\ \delta_{21} m & \delta_{22} m - 1/\omega^2 \end{vmatrix} = 0$$

ёки

$$D = \begin{vmatrix} \frac{\ell^3 m}{8EI_x} - \frac{1}{\omega^2}; & -\frac{\ell^3 m}{32EI_x} \\ -\frac{\ell^3 m}{32EI_x} & \frac{\ell^3 m}{48EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \end{vmatrix} = 0$$

Аниқловчини очиб, частоталарни аниқлаш учун қуйидаги тенгламага эга бўламиз:

$$\left(\frac{\ell^3 m}{8EI_x} - \frac{1}{\omega^2}\right)\left(\frac{\ell^3 m}{48EI_x} - \frac{1}{\omega^2}\right) - \left(\frac{\ell^3 m}{32EI_x}\right)^2 = 0$$

ёки

$$\left(\frac{1}{\omega^2}\right)^2 - \frac{7\ell^3 m}{48EI_x} \cdot \frac{1}{\omega^2} + \frac{5\ell^6 m^2}{3072(EI_x)^2} = 0$$

$\frac{1}{\omega^2} = z$ белгиланишни киритиб, қуйидаги квадрат тенгламани ҳосил қиламиз:

$$z^2 - \frac{7\ell^3 m}{48EI_x} z + \frac{5}{3} \left(\frac{\ell^3 m}{2^5 \cdot EI_x}\right) = 0$$

Бу тенгламанинг илдизлари қуйидаги қўринишга эга бўлади:

$$z_{1,2} = \frac{\frac{7\ell^3 m}{48EI_x} \pm \sqrt{\left(\frac{7\ell^3 m}{48EI_x}\right)^2 - 4 \cdot \frac{5}{3} \left(\frac{\ell^3 m}{2^5 \cdot EI_x}\right)^2}}{2} =$$

$$= \frac{\frac{7\ell^3 m}{48EI_x} \pm \sqrt{\left(\frac{7\ell^3 m}{24EI_x}\right)^2 - \frac{5}{3} \left(\frac{\ell^3 m}{2^4 \cdot EI_x}\right)^2}}{2} = \frac{7\ell^3 m \pm \sqrt{34}\ell^3 m}{2 \cdot 48EI_x}$$

$$z_1 = \frac{(7 + \sqrt{34})\ell^3 m}{96EI_x} = \frac{12,83\ell^3 m}{96EI_x}$$

$$z_2 = \frac{(7 - \sqrt{34})\ell^3 m}{96EI_x} = \frac{1,17\ell^3 m}{96EI_x}$$

Дастлабки белгиланишга ($\frac{1}{\omega^2} = z$) қайтиб, хусусий частоталарни (ω_1, ω_2 ларни) аниқлаймиз:

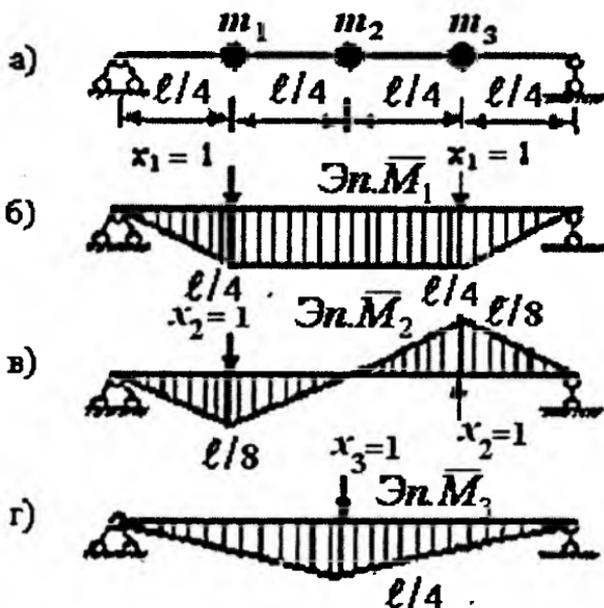
$$\frac{1}{\omega^2} = \frac{12,83\ell^3 m}{96EI_x}; \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{96EI_x}{12,83\ell^3 m}} = \sqrt{\frac{96 \cdot 2000}{12,83 \cdot 4^3 \cdot 0,051}} = 67,7 \text{ рад/сек}$$

$$\frac{1}{\omega_2^2} = \frac{1,17\ell^3 m}{96EI_x}; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{96EI_x}{1,17\ell^3 m}} = \sqrt{\frac{96 \cdot 2000}{1,17 \cdot 4^3 \cdot 0,051}} = 224,2 \text{ рад/сек}$$

2.11.2-мисол

Тўпланган ва ўзаро тенг уч $m_1 = m_2 = m_3 = m$ массали система-нинг (2.27а-расм) хусусий тебраниш частоталари аниқлансин. Балканинг биқирлиги EI_x деб олинсин.

Берилган система ва ундаги массалар симметрик бўлганлиги туфайли, масалани ечишда симметриклик принциpidан фойдаланамиз.



2.27-расм.

Бирлик кўчишларни аниқлаш учун, бирлик инерция кучларидан ҳосил бўладиган эгувчи момент эңураларини курамиз (2.27б, в, г-расм) ва уларни Мор-Верешчагин усули бўйича мос равишда кўпайтирамиз.

$$\delta_{11} = \left(\frac{\ell}{4} \frac{\ell}{4} \frac{1}{2} \frac{2\ell}{3 \cdot 4} + \frac{\ell}{4} \frac{\ell}{2} \frac{\ell}{4} \right) \frac{1}{EI_x} = \frac{\ell^3}{24 EI_x}$$

$$\delta_{13} = \left[\frac{\ell}{8} \frac{\ell}{4} \frac{1}{2} \frac{2\ell}{3 \cdot 4} \cdot 2 + \left(\frac{\ell}{8} + \frac{\ell}{4} \right) \frac{1}{2} \frac{\ell}{4} \frac{\ell}{4} \cdot 2 \right] \frac{1}{EI_x} = \frac{11}{384} \frac{\ell^3}{EI_x}$$

$$\delta_{33} = \frac{\ell}{4} \frac{\ell}{2} \frac{1}{2} \frac{2\ell}{3 \cdot 8} \cdot 4 \frac{1}{EI_x} = \frac{\ell^3}{48 EI_x}$$

$$\delta_{22} = \frac{\ell}{8} \cdot \frac{\ell}{4} \frac{1}{2} \frac{2\ell}{3 \cdot 8} \cdot 4 \cdot \frac{1}{EI_x} = \frac{\ell^3}{192 EI_x}$$

\overline{M}_2 эпюранинг тескари симметриклиги туфайли баъзи ёндош кўчишлар нолга тенг бўлади: $\delta_{12} = \delta_{23} = \delta_{21} = \delta_{32} = 0$.

Симметрик тебранишлар учун характеристик аниқловчини тузишда жуфтлик куч (яъни иккита x_1 куч) қўйилганлиги сабабли, тегишли масса $1/2$ коэффициент билан киритилади:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11} \frac{m}{2} - \frac{1}{\omega^2} & \delta_{13} m \\ \delta_{21} m / 2 & \delta_{33} m - \frac{1}{\omega^2} \end{vmatrix} = 0$$

ёки

$$D = \begin{vmatrix} \left(\frac{\ell^3}{2 \cdot 24 EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \right) & \frac{11 \ell^3 \cdot m}{384 EI_x} \\ \frac{11 \ell^3}{384 EI_x} \frac{m}{2} & \left(\frac{\ell^3 m}{48 EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \right) \end{vmatrix} = 0$$

Характеристик тенгламани очиб, $1/\omega^2$ га нисбатан куйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\left(\frac{\ell^3 m}{48 EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \right)^2 - \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{11 \ell^3 m}{384 EI_x} \right)^2 = 0$$

$$\left[\left(\frac{\ell^3 m}{48 EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \right) - \left(\frac{11 \ell^3 m}{\sqrt{2} \cdot 384 EI_x} \right) \right] \left[\left(\frac{\ell^3 m}{48 EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \right) + \left(\frac{11 \ell^3 m}{\sqrt{2} \cdot 384 EI_x} \right) \right] = 0$$

$$\begin{cases} \frac{\ell^3 m}{48EI_x} - \frac{11\ell^3 m}{\sqrt{2} \cdot 384EI_x} = \frac{1}{\omega^2} \\ \frac{\ell^3 m}{48EI_x} + \frac{11\ell^3 m}{\sqrt{2} \cdot 384EI_x} = \frac{1}{\omega^2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{0,314\ell^3 m}{543EI_x} = \frac{1}{\omega^2} \\ \frac{22,31\ell^3 m}{543EI_x} = \frac{1}{\omega^2} \end{cases}$$

Буни ечиб, қуйидаги частоталарни топамиз:

$$\omega_1 = 4,93\sqrt{EI_x / \ell^3 m}$$

$$\omega_3 = 41,6\sqrt{EI_x / \ell^3 m}$$

Тескари симметрик тебраниш учун ҳам тенгламани ҳосил қилиб, ундан частотани аниқлаймиз:

$$\delta_{22} \frac{m}{2} - \frac{1}{\omega^2} = 0;$$

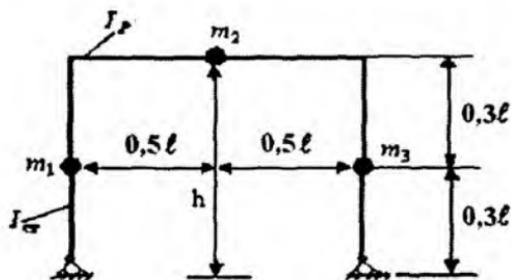
$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2}{\delta_{22} m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 192 \cdot EI_x}{\ell^3 m}} = 19,6\sqrt{\frac{EI_x}{\ell^3 m}}$$

Демак, ўзаро тенг учта бир хил массали симметрик системанинг хусусий тебраниш частоталари аниқланди, лекин уларни номерлашда энг кичигини биринчи, ундан кейингисини иккинчи ва учинчи деб номерладик.

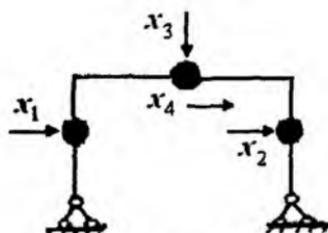
2.11.3-мисол

Ўзаро тенг учта тўпланган массали $m_1 = m_2 = m_3 = m$ рамали системанинг хусусий тебраниш частоталари аниқлансин (2.28а-расм). Ҳисоблашда $h = 0,6\ell$; $EI_p = 1,5 EI_{cr}$ деб олинсин.

Система 4 та эркинлик даражасига эга, чунки ригелдаги m_2 масса вертикал ва горизонталь йўналишларда тебрана олади ва шунинг учун ҳам унинг эркинлик даражаси иккига тенг. Ҳар бир массага қўчиши мумкин бўлган йўналишда бирлик кучлар қўямиз (2.28б-расм).



2.28а-расм

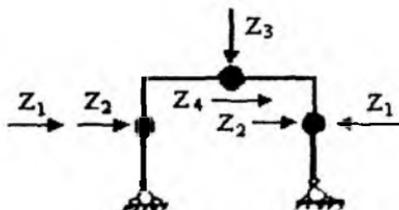


2.28б-расм.

x_1 ва x_2 номаълум кучларни қуйидагича гуруҳлаб,

$$x_1 = z_1 + z_2, \quad x_2 = z_1 - z_2,$$

x_3 ва x_4 кучларни эса z_3 ва z_4 кучлар билан алмаштирамиз (2.28в-расм).



2.28в-расм.

Симметрик ва тескари симметрик системалар учун алоҳида-алоҳида характеристик тенгламаларни тузамиз:

Симметрик система учун

$$D = \begin{vmatrix} \left(\delta_{11} \frac{m}{2} - \frac{1}{\omega^2} \right) & \delta_{13} m \\ \delta_{31} m/2 & \left(\delta_{33} m - \frac{1}{\omega^2} \right) \end{vmatrix} = 0 \quad (2.62)$$

Тескари симметрик система учун

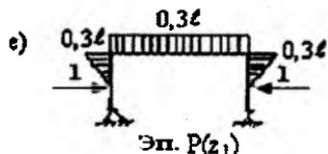
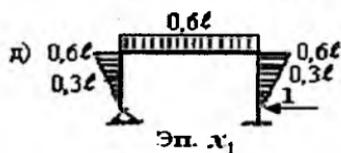
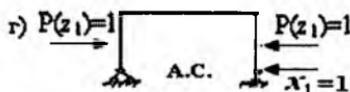
$$D = \begin{vmatrix} \left(\delta_{22} \frac{m}{2} \frac{1}{\omega^2} \right) & \delta_{24} m \\ \delta_{42} m/2 & \left(\delta_{44} m \frac{1}{\omega^2} \right) \end{vmatrix} = 0 \quad (2.63)$$

(2.62) ва (2.63) таркибига кирадиган δ_{ij} коэффициентлар z_1, z_2, z_3, z_4 лар таъсиридан ҳосил бўладиган эпюраларни кўпайтириш йўли билан топилади. Бирок, система (2.28а-расм) статик ноаниқ, бу ҳолда эпюра қуриш учун статик ноаниқликни очиш талаб этилади. Бунни ҳал қилиш учун ҳар бир бирлик куч z_n ни ташқи куч деб қабул қиламиз.

Дастлаб, z_1 ни ташқи куч деб оламиз. Бунга доир асосий система 2.28г-расмда тасвирланган бўлиб, бу ҳолда каноник тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$x_1 \delta_{11} + \Delta_{1P} = 0 \quad (2.64)$$

Бирлик куч $x_1=1$ ва ташқи куч $P(z_1)=1$ дан эпюра қуриб, δ_{11}, Δ_{1P} кўчишларни аниқлаймиз (2.28г,д,е-расм):



2.28г,д,е-расм.

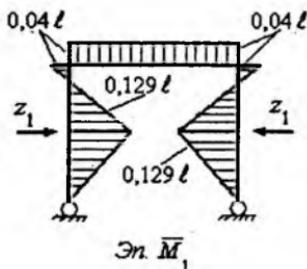
$$\delta_{11} = 2 \cdot \frac{0,6l \cdot 0,6l \cdot 0,6l}{3EI_{ст}} + \frac{0,6l \cdot 0,6l \cdot l}{1,5EI_{ст}} = \frac{0,384l^3}{EI_{ст}}$$

$$\Delta_{1P} = 2 \cdot \frac{0,3l \cdot 0,3l}{6EI_{ст}} [2 \cdot 0,6l + 0,3l] + \frac{0,6l \cdot 0,3l \cdot l}{1,5EI_{ст}} = \frac{0,165l^3}{EI_{ст}}$$

Номаълум x_1 нинг қийматини (2.64) дан аниқлаймиз

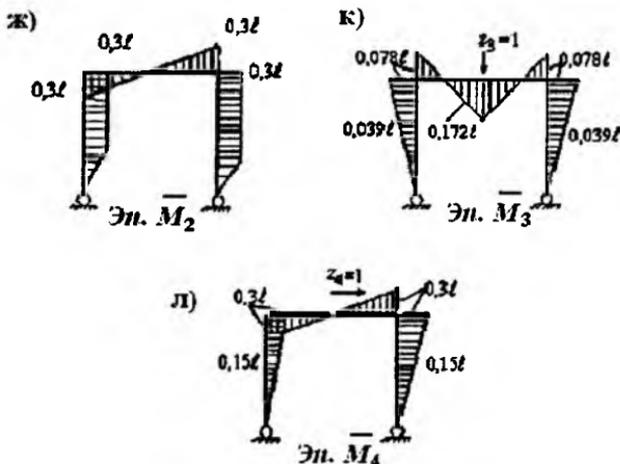
$$x_1 = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}} = -\frac{0,165}{0,384} = -0,43$$

ва $x_1=1$ кучидан қурилган эпюрани (2.28д-расм) x_1 нинг топилган қиймати, яъни $x_1=-0.43$ га кўпайтириб, 2.28е-расмда тасвирланган эпюрага кўшсак, $z_1=1$ кучидан ҳосил бўлган \bar{M}_1 эпюра келиб чиқади (2.28з-расм).



2.28з-расм.

Шу таҳлилда $z_2=1$ дан \bar{M}_2 (2.28ж-расм), $z_3=1$ дан \bar{M}_3 (2.28к-расм), $z_4=1$ дан \bar{M}_4 ни (2.28л-расм) эпюралари қурилади.



2.28ж,к,л-расм.

Бу эпюраларни ўзаро кўпайтириб, (2.62) ва (2.63) характеристик тенгламалар таркибига кирувчи қуйидаги кўчишларни аниқлаймиз:

$$\delta_{11} = 2 \left\{ \frac{0,129\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,129\ell}{3EI_{cr}} + \frac{0,3\ell}{6EI_{cr}} [2(0,129\ell \cdot 0,129\ell + 0,04\ell \cdot 0,04\ell) - 0,04\ell \cdot 0,129\ell - 0,04\ell \cdot 0,129\ell] \right\} + \frac{\ell \cdot 0,04\ell \cdot 0,04\ell}{1,5EI_{cr}} = \frac{0,0118\ell^3}{EI_{cr}}$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = 2 \left\{ -\frac{0,039\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,129\ell}{3EI_{cr}} + \frac{0,3\ell}{6EI_{cr}} [2(-0,129\ell \cdot 0,039\ell + 0,04\ell \cdot 0,078\ell) + 0,04\ell \cdot 0,039\ell - 0,129\ell \cdot 0,078\ell] + \frac{0,5\ell}{6EI_{cr}} [2(0,04\ell \cdot 0,078\ell - 0,172\ell \cdot 0,04\ell) + 0,078\ell \cdot 0,04\ell - 0,172\ell \cdot 0,04\ell] \right\} = \frac{0,00352\ell^3}{EI_{cr}}$$

$$\delta_{33} = 2 \left\{ \frac{0,078\ell \cdot 0,6\ell \cdot 0,078\ell}{3EI_{cr}} + \frac{0,5\ell}{6 \cdot 1,5EI_{cr}} [2(0,078\ell \cdot 0,078\ell + 0,172\ell \cdot 0,172\ell) - 0,078\ell \cdot 0,172\ell - 0,078\ell \cdot 0,172\ell] \right\} = \frac{0,00352\ell^3}{EI_{cr}}$$

$$\delta_{22} = 2 \left\{ \frac{0,3\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,3\ell}{3EI_{cr}} + \frac{0,3\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,3\ell}{EI_{cr}} + \frac{0,3\ell \cdot 0,5\ell \cdot 0,3\ell}{3 \cdot 1,5EI_{cr}} \right\} = \frac{0,0447\ell^3}{EI_{cr}}$$

$$\delta_{24} = \delta_{42} = 2 \left\{ \frac{0,3\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,15\ell}{3EI_{cr}} + \frac{(0,15\ell \cdot 0,3\ell) \cdot 0,3\ell}{2EI_{cr}} + \frac{0,3\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,5\ell}{3 \cdot 1,5EI_{cr}} \right\} = \frac{0,0695\ell^3}{EI_{cr}}$$

$$\delta_{44} = 2 \left\{ \frac{0,3\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,6\ell}{3EI_{cr}} + \frac{0,3\ell \cdot 0,3\ell \cdot 0,5\ell}{1,5 \cdot 3EI_{cr}} \right\} = \frac{0,056\ell^3}{EI_{cr}}$$

δ_{11} , δ_{13} , δ_{33} ларнинг топилган қийматларини (2.62) га қўйиб, симметрик тебраниш частоталарини аниқлаймиз:

$$\omega_1 = 10,57 \sqrt{\frac{EI_{cr}}{m\ell^3}}; \quad \omega_2 = 17,3 \sqrt{\frac{EI_{cr}}{m\ell^3}}$$

Бу ерда I_{cr} – устун қўндаланг кесимининг инерция моменти.

δ_{23} , δ_{24} , δ_{44} ларни (2.63) га қўйиб, тескари симметрик тебраниш частоталарини аниқлаймиз:

$$\omega_3 = \omega_{\min} = 3,14 \sqrt{EI_{cr} / (\ell^3 m)}; \quad \omega_4 = 33,43 \sqrt{EI_{cr} / (\ell^3 m)}$$

Шуни назарда тутиш лозимки, балкали системалардан фарқи равишда, рамали системаларда тебранишларнинг турли шакллариға тўғри келадиган частоталарнинг қийматлари бир-бириға яқин бўлиши мумкин. Бу ҳолда (тебранишнинг турли шакллариға ўзаро таъсири ҳисобига) иккиланган резонанс содир бўлиши мумкин, бу эса иншоот учун ўта хавфлидир.

Қаралаётган система учун учинчи ва ундан юқори тартибли характеристик тенгламалар ҳосил бўлса, бундай тенгламаларнинг илдизларини ($\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2$ ларни) топиш учун эса сонли усуллар ва ЭХМ нинг стандарт дастурларидан фойдаланилади.

2.12. Эркинлик даражаси "n" га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини кўчиш усули ёрдамида текшириш

Эркинлик даражаси кўп бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини кўчишлар усулида аниқлаш учун инерция кучларини кўчишлар орқали ифодалаш керак бўлади. Масалан, 2.25-расмда кўрсатилган эркинлик даражаси учга тенг (яъни m_1, m_2, m_3 массали) бўлган системанинг массаларида вужудга келадиган инерция кучлари куйидагича ифодаланилади:

$$\begin{aligned} -m_1 \ddot{y}_1 &= y_1 r_{11} + y_2 r_{12} + y_3 r_{13} \\ -m_2 \ddot{y}_2 &= y_1 r_{21} + y_2 r_{22} + y_3 r_{23} \\ -m_3 \ddot{y}_3 &= y_1 r_{31} + y_2 r_{32} + y_3 r_{33} \end{aligned} \quad (2.65)$$

Бу ердаги $r_{11}, r_{22}, r_{33}, r_{12} = r_{21}, r_{13} = r_{31}, r_{23} = r_{32}$ реакциялар, одатдагидек, бирлик кўчишлар орқали аниқланади.

Кўчишлар ва уларнинг иккинчи ҳосилалари учун (2.56) ва (2.57) ифодалар ўз кучида қолади. Уларни (2.65) га қўйиб, куйидаги бир жинсли алгебраик тенгламалар системасини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} (r_{11} - m_1 \omega^2) a_1 + r_{12} a_2 + r_{13} a_3 &= 0 \\ r_{21} a_1 + (r_{22} - m_2 \omega^2) a_2 + r_{23} a_3 &= 0 \\ r_{31} a_1 + r_{32} a_2 + (r_{33} - m_3 \omega^2) a_3 &= 0 \end{aligned} \quad (2.66)$$

(2.65) тенгламанинг коэффицентларидан (2.59) га ўхшаш характеристик тенгламалар системасини тузиб, қаралаётган система (2.25-расм) учун хусусий тебранишнинг частоталарини аниқлаш мумкин.

Худди шу принцип асосида эркинлик даражаси исталганча бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш мумкин.

Бу усулда ҳам қаралаётган система частоталарини топиш учун характеристик тенгламалар системасини тузиш тартиби куч усулидаги каби бўлади. Аммо, бу усулда рамаларни статик кучлар таъсирига ҳисоблашдаги сингари, ҳамма вақт ҳам реакцияларни жадвалдан

фойдаланиб топиб бўлмайди. Чунки реакцияларни кўчишлар орқали топишга тўғри келади. Шу сабабли мазкур усул куч усулига нисбатан кўпроқ меҳнат талаб қиладиган усулдир.

2.13. Эркинлик даражаси "n" га тенг бўлган системалар хусусий тебранишларининг қуйи частотасини бақолаш

Эркинлик даражаси исталганча бўлган системанинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш масаласи анча мураккаб масалалардан саналади. Шунинг учун, кўпинча система хусусий тебранишининг дастлабки бир нечта частотасини аниқлаш билан кифояланиш мумкин. Шунинг билан бирга, кўп ҳолларда системани, ҳаттоки бир неча частотани аниқлаш ҳам ортиқча ҳисобланиб, фақат биринчи, яъни энг қуйи частотани аниқлаш етарли деб қаралади. Масалан, қўзғатувчи кучнинг частотаси конструкция хусусий тебранишининг биринчи частотасидан кичик бўлганда шундай килиниши тўғри бўлади. Бинобарин, бунда юқори частотали резонанс содир бўлмайди. Бу ҳолда биринчи частотани аниқлаш учун кўп меҳнат талаб қилмайдиган тақрибий усуллардан фойдаланилса бўлади.

Бунда частоталарни топиш учун тузилган характеристик тенгламаларнинг хоссаларидан келиб чиқиб, тебранишнинг асосий частотаси (биринчи тони) нинг иккита чегарасини белгилаш мумкин. Бу чегаралар ω_{\min} частотанинг икки томонлама баҳоси дейилиб, қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$1 / \sqrt[4]{B_2} < \omega_{\min} < \sqrt{\frac{B_1}{B_2}}$$

$$B_1 = \sum \delta_{ii} m_i$$

$$B_2 = \sum \delta_{ii}^2 m_i^2 + 2 \sum \delta_{ik}^2 m_i m_k \quad (2.67)$$

Бу формуладаги δ_{ii} (бош) ва δ_{ik} (ёндош) кўчишлар m_i ва m_k массалар тўпланган нуқтага қўйилган бирлик кучлардан ҳосил бўлган кўчишлардир.

2.13.1. Эркинлик даражаси учга тенг бўлган системани хусусий тебранишининг қуйи частотасини бақолашга мисол

2.29а-расмда кўрсатилган системанинг хусусий тебраниш частоталари аниқлансин. Ҳисоблаш ишларида $m_3 = m_1 = m$; $m_2 = 2m$ деб, балканинг бикирлиги эса EI_x га тенг деб олинсин.

Курилган бирлик эпюраларни (2.29б,в,г-расм) Мор-Верешчагин усули бўйича кўпайтириб, куйидаги кўчишларни аниқлаймиз:

$$\delta_{11} = \delta_{22} = \frac{\frac{2}{9} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9}}{3EI_x} + \frac{\frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9}}{3EI_x} = \frac{8\ell^3}{486EI_x};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{\frac{2}{9} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{9}}{3EI_x} \cdot 2 + \frac{\frac{1}{3} \ell \left[2 \left(\frac{2}{9} \cdot \frac{1}{9} \cdot \ell + \frac{2}{9} \cdot \frac{1}{9} \cdot \ell \right) + \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9} \cdot \ell + \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{9} \cdot \ell \right]}{6EI_x} = \frac{7\ell^3}{486EI_x}$$

$$\delta_{22} = \delta_{11} = \frac{8\ell^3}{486EI_x};$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \frac{\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{9} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9} \ell \left[2 \cdot \frac{1}{9} \ell + \frac{1}{3} \ell \right]}{3EI_x} = \frac{8\ell^3}{486EI_x};$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = \frac{\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{9} \ell \left[2 \cdot \frac{2}{9} \ell + \frac{2}{9} \ell \right]}{6EI_x} = \frac{10\ell^3}{486EI_x};$$

$$\delta_{33} = \frac{\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \ell}{3EI_x} + \frac{\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \ell}{3EI_x} = \frac{24\ell^3}{486EI_x}$$

Бу қийматлардан фойдаланиб, (2.67) формулага қирган параметрларни аниқлаймиз:

$$B_1 = \delta_{11} m_1 + \delta_{22} m_2 + \delta_{33} m_3 = \frac{8\ell^3 m}{486EI_x} + \frac{8\ell^3 \cdot 2m}{486EI_x} + \frac{24\ell^3 m}{486EI_x} = \frac{48\ell^3 m}{486EI_x}$$

$$B_2 = \delta_{11}^2 m_1^2 + \delta_{22}^2 m_2^2 + \delta_{33}^2 m_3^2 + 2(\delta_{12}^2 m_1 m_2 + \delta_{23}^2 m_2 m_3 + \delta_{13}^2 m_1 m_3) = (8\ell^3 m / 486EI_x)^2 + (8\ell^3 \cdot 2m / 486EI_x)^2 + (24\ell^3 m / 486EI_x)^2 + 2 \left[(7\ell^3 / 486EI_x)^2 2m^2 + (-10\ell^3 / 486EI_x)^2 2m^2 + (-8\ell^3 / 486EI_x)^2 m^2 \right] \quad (2.68)$$

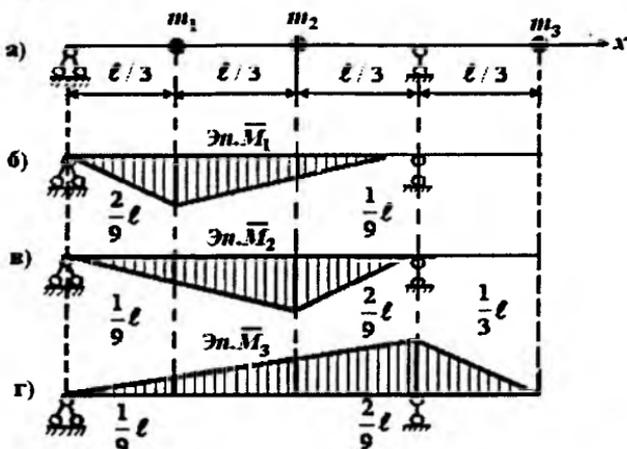
$$= 1620 \left(\frac{m\ell^3}{486EI_x} \right)^2$$

(2.67) ва (2.68) дан фойдаланиб, ω_{\min} нинг чегараларини аниқлаймиз:

$$\omega_{\min} > \frac{1}{\sqrt[4]{B_2}} = \frac{1}{\sqrt[4]{1620 \left(\frac{m\ell^3}{486EI_x} \right)^2}} = 3,48 \sqrt{\frac{EI_x}{m\ell^3}}$$

$$\omega_{\min} < \sqrt{\frac{B_1}{B_2}} = \sqrt{\frac{48\ell^3 m}{486EI_x \cdot 1620} \left(\frac{486EI_x}{m\ell^3} \right)^2} = 3,7 \sqrt{\frac{EI_x}{m\ell^3}}$$

Демак, ω_{\min} нинг ўртача қиймати $\omega_{\min} = 3.59\sqrt{EI_x/(m\ell^3)}$ бўлади.



2.29-расм.

Бу бобда кўрилган назарий маълумотлар ва ечилган масалалардан хулоса чиқариб шуни қайд этиш мумкинки, турли системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш, мураккаб ва, ҳаттоки, стерженли системалар механикаси учун ҳам бирмунча мураккаб муаммо экан.

Аммо иншоотларнинг хусусий тебраниш частоталари ва шакллари иншоотнинг асосий параметрларини ташкил қилиб, у иншоотнинг динамик характеристикалари дейилади. Динамик характеристикалар иншоотнинг хусусиятлари бўйича ўзида катта маълумотларни жамлаган бўлади.

Массив гидротехника иншоотларининг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш масаласи янада мураккаб масала ҳисобланади. Шунинг учун кўп ҳолларда ҳеч бўлмаса биринчи яқинлашувда, асосий ҳисобий параметрларга эга бўлиш мақсадида, иншоотларнинг ўта тақрибий ҳисоблаш схемаларидан фойдаланишга тўғри келади. Ҳар хил содда ва мураккаб ҳисоблаш схемалари ва усуллари тўғрисида кейинги бобларимизда батафсил тўхталамиз.

Иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблаш

3.1. Иншоотлар зилзилабардошлигини таъминлашнинг асосий талаблари

Зилзила оқибатлари жуда аянчли аҳволларга олиб келиши ҳақида 1-бобда батафсил тўхталиб ўтган эдик. Шунинг учун зилзилавий ҳудудларда жойлашган давлатларда бунёд этиладиган бино ва иншоотларни лойиҳалаш ва қуриш меъёрий ҳужжатларнинг талаблари асосида бажарилади.

Худди шундай ишларни ўта масъулиятлилиқ билан бажариш асослари бизнинг давлатимизда ҳам “Қурилиш меъёрлари ва қоидалари”да (ҚМҚ да) қайд этилган бўлиб, барча қурилиш жараёнлари шу қоида асосида қатъий бажарилган бўлиши керак.

Ўз навбатида, гидротехника иншоотларида ҳам зилзила кучлари таъсирида мудҳиш оқибатларга олиб келиши мумкин бўлган бузилишларнинг ёки жиддий шикастланишларнинг олдини олиш чоралари меъёрий ҳужжатларда белгиланган бўлади.

Иншоотларнинг зилзилабардошлиги қуйидаги тадбирлар орқали таъминланади: 1) сейсмик жиҳатдан мақбул бўлган қурилиш майдонини танлаш; 2) объектнинг самарали конструктив-режавий схемаси ва материалларни танлаш; 3) иншоотнинг зилзилабардошлигини оширувчи махсус чора-тадбирлар қўллаш; 4) конструкцияларни сейсмик кучлар таъсирига мукамал ҳисоблаш; 5) қурилиш-монтаж ишларини сифатли бажариш.

Мазкур ўқув қўлланмада иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблашнинг ҚМҚ да баён этилган усуллари, иншоотларни динамик назария бўйича ҳисоблаш моделлари ва грунтли тўғонларнинг зилзилабардошлигини оширишга доир баъзи тавсиялар ўз аксини топган.

Иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблаш, одатда, биринчи чегаравий ҳолат (юк кўтариш қобилияти) бўйича амалга оширилади ва шу асосида иншоотларнинг мустаҳкамлиги ёки зилзилабардошлиги аниқланади. Бунда, биринчи навбатда, иншоотнинг динамик характеристикалари (хусусий тебранишнинг асосий частоталари ва шакллари), кўчишлар, иншоотдаги зўриқиш ва кучланишлар аниқланади, аниқланган кучланиш ҳолатларига қараб иншоот ёки унинг алоҳида элементлари мустаҳкамлигига баҳо берилади.

3.2. Грунт шароитлари ва сейсмик таъсирларнинг интенсивлик даражаси

Био ва иншоотларнинг мустаҳкамлиги улар қуриладиган жойдаги замин грунтларининг хусусиятларига боғлиқ. Замин грунтларининг хусусиятларига қараб иншоотга таъсир қилаётган зилзила кучи ҳам ҳар хил бўлиши мумкин. Кузатилганлар натижалари кўрсатишича, бир-бирига яқин, аммо грунт шароити сезиларли фарқ қиладиган ҳудудларда бунёд этилган бир турдаги иншоотларнинг турли даражада шикастланиши кўп учрайдиган ҳодисадир.

Заминдаги грунт шароитларининг иншоот мустаҳкамлигига таъсири иккига сабаб орқали изоҳлаш мумкин: биринчиси – ер сиртининг юқори қатламларидаги (заминдаги) грунтларнинг динамик характеристикалари ҳар хил бўлиши мумкинлиги билан, иккинчиси – грунтларнинг юк кўтариш қобилиятлари ҳар хил бўлиши билан.

С.В.Медведев олиб борган кўп йиллик тадқиқотлари асосида грунтларни 7 та тоифага (категорияга) ажратади: 1) гранитлар; 2) оҳақ-тош ва қум-тошлар; 3) ярим қоя тошлар; 4) йирик синиқ тоғ жинслари; 5) қумли; 6) тупрокли; 7) сочилувчан грунтлар. Шу билан бирга, у зилзила интенсивлигининг грунт тоифасига қараб ортишини, яъни ΔI ни балларда (РФА ЕФИ шкаласи бўйича) аниқлаш формуласини ҳам берган. Бу формулада эталон грунт сифатида гранит қабул қилинган бўлиб, гранит учун $\Delta I=0$ деб олинган.

С.В.Медведев томонидан тавсия этилган формула бўйича грунтларнинг турли тоифалари учун ΔI нинг қиймати грунтнинг сейсмик биқирлиги $V \times r$ га боғлиқ ҳолда қуйидагича топилади:

$$\Delta I = 1,67 \lg \frac{V_0 \rho_0}{V_n \rho_n} \quad (3.1)$$

Бу ерда V_0 , V_n – бўйлама сейсмик тўлқинларнинг гранитда ва қаралаётган грунтда тарқалиш тезлиги [км/сек], ρ_0 , ρ_n – гранит ва қаралаётган грунтнинг зичлиги.

Бу формулага асосан грунтларнинг турли тоифалари учун ΔI нинг қийматлари қуйидагича бўлиши мумкин:

- 1) $\Delta I=0$; 2) $\Delta I=0,18-0,83$; 3) $\Delta I=0,58-1,25$;
 4) $\Delta I=0,98-1,74$; 5) $\Delta I=1,2-2$; 6) $\Delta I=1,22-2$; 7) $\Delta I=2,3-3$.

3.1-жадвал

Замин грунтнинг хусусиятларига мувофиқ қурилиш майдончасининг сейсмиклик даражасини аниқлаштириш

Зилзи-лабар-дошлик бўйича грунт категорияси (тоифаси)	Грунтлар	Худуднинг сейсмиклик даражаси, балларда		
		7	8	9
		Қурилиш майдончасининг аниқлаштирилган сейсмиклик даражаси, балларда		
I	Турли жинсли қоя тошли грунтлар, бўш емирилган, йирик синиқли, зич, кам намли магма жинслари	6	7	8
II	Емирилган қоя тошлар, зичлиги ўртача кумлар, тупроқлар, ғоваклик коэффициентини $e < 0,8$ ва қуюқ-суюқлик кўрсаткичи $J_s \leq 0,5$ бўлган кумок тупроқлар, $e < 0,8$ бўлган кумок тупроқлар	7	8	9
III	Ғоваклиги $e > 0,7$ бўлган бўш, чангсимон кумлар, $e > 0,8$ бўлган кумок тупроқлар	8	9	9

Келтирилган қийматларнинг маъноси шундан иборатки, агар қурилиш майдонининг сейсмик интенсивлик даражаси, яъни бошланғич маълумот – сейсмик районлаштириш картасига асосан

I баллга тенг бўлса (1.17-расм), заминнинг грунт шароити (тоифаси) га қараб лойиҳалаш жараёнида майдон сейсмиклиги $I+\Delta I$ балл деб олиниши зарур.

Ўзбекистонда ҳам тасдиқланган ҚМҚ 2.01.03-96 га асосан лойиҳа ишларини бажаришда қурилиш майдончасининг сейсмиклик даражаси аниқлаштирилиши керак (3.1-жадвал). Бино ва иншоотларни лойиҳалашда бажариладиган барча ҳисобий ишлар шу қурилиш майдончасининг аниқлаштирилган сейсмиклик даражаси орқали олиб борилиши керак.

Масалан, Ангрен шаҳрида қуриладиган бинонинг қурилиш майдончасидаги грунт I категорияли бўлса, у ҳолда бу бинони лойиҳалашда барча ҳисоб ишлари 7 баллик аниқлаштирилган сейсмиклик даражаси учун бажарилиши керак. Чунки, Ангрен шаҳрининг ўзи 8 баллик зонада жойлашган (1.17-расм), замин грунטי I категорияли грунтга тўғри келганлиги учун 3.1-жадвалга асосан аниқлаштирилган сейсмиклик даражаси 7 баллга тўғри келади.

3.3. Иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблаш назарияларига доир маълумотлар

Олдинги бобларда айтиб ўтилганидек, зилзила вақтида ер қобиғи ва унинг сиртида эластик тўлқинлар тарқалади. Бу тўлқинлар Ер сиртида жойлашган иншоот билан тўқнашиб, иншоотнинг ўзида мураккаб тўлқин ҳодисаларини уйғотади. Иншоотларни ҳисоблашда тўлқин ҳодисаларини инобатга олиш – тўлқин назарияси бўйича ҳисоблаш деб аталади. Бу усул иншоот учун энг содда ҳисобий схемалар танланганда ҳам иншоотларнинг зилзилабардошлигини баҳолашда анча қийинчилик туғдириб, кўп меҳнат сарфлашни талаб этади.

Ушбу ҳисоблаш назарияси ҳозирги пайтда ривожланиш босқичида бўлиб, замин ва иншоотнинг турли нуқталарини тебраниши вақт бўйича синхрон эмаслигини ҳисобга олиш имконини беради. Бу, айниқса катта узунликка эга бўлган иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблашда муҳим аҳамиятга эга. Режадаги ўлчамлари катта бўлмаган иншоотларда сейсмик таъсир натижасида барча нуқталар баравар ҳаракат қилади, деб қабул қилса бўлади.

Зилзилабардошликнинг биринчи назарияси XX аср бошида япон олимлари Омори ва Санно томонидан яратилиб, статик назария деб аталган ва у қуйидаги фаразларга асосланган:

1. Иншоот берилган a_0 тезланиш билан илгариланма ҳаракат қиладиган шартли бикир платформага ўрнатилган.

2. Иншоотнинг ўзи ҳам бикир (деформацияланмайдиган қаттиқ жисм) деб қабул қилинади, шунга кўра унинг барча нукталари бир хил тезланиш, яъни замин тезланиши a_0 билан тебранади, деб фараз қилинади.

Шундай фараз қилинса, оғирлиги Q ёки массаси $m=Q/g$ бўлган иншоотнинг исталган элементига қуйидаги инерция кучи таъсир этади:

$$S = ma_0 = Q \frac{a_0}{g} = K_c Q \quad (3.1.)$$

Бу ерда $K_c = a_0/g$ – сейсмиклик коэффициенти деб аталиб, ҳисобий баллик 7,8,9 бўлган ҳудудларда тегишли равишда 0,025; 0,05; 0,1 деб қабул қилинади. Кейин S юкни статик қўйилган деб фараз қилиб, иншоотдаги кучланиш ва кўчишлар аниқланади.

Назарияни такомиллаштириш бўйича олиб борилган тадқиқотлар зилзила вақтида иншоотнинг ҳолати кўп жihatдан унинг динамик характеристикалари (тебраниш частоталари ва шакллари)га, шунингдек, тебранишларнинг вақт бўйича ўзгаришига боғлиқ бўлишини кўрсатди. Бу эса иншоотларни ҳисоблашда динамик назарияга ўтиш заруриятини тақозо этди.

Динамик назарияда иншоотлар деформацияланадиган қаттиқ жисм деб қаралади. Бунда иншоотларда ҳосил бўладиган кучланиш ҳолатларини баҳолашда деформацияланишнинг чизикли-эластик, қовушқоқ-эластик, чизиксиз-эластик ва эластик-пластик модели ва қонуниятларидан фойдаланиш имконияти туғилади.

Иншоотларни акселерограммалар бўйича ҳисоблаш динамик назария ривожининг кейинги босқичи саналади. Бунда иншоотнинг барча нукталари акселерограмма таъсирида баравар тебранадиган платформага ўрнатилган деб фараз қилинади. Қўлланиладиган акселерограмма реал (яъни шу ҳудудга доир) ёки ўхшаш (шароити ўхшаш бўлган бошқа районнинг акселерограммаси) бўлиши мумкин.

Спектрал усул ёки спектрал эгри чизиклар бўйича ҳисоблаш ишларини олиб бориш динамик назариянинг йўналишларидан бири сана-

лади. Бу ғоя илк бор 1933 йилда америкалик олим М.Био томонидан тақлиф қилинган. Бу усулга кўра сейсмик кучлар, зўриқишлар ва кучланишлар вақт функцияси сифатида аниқланмай, иншоот деформацияси ва сейсмик юк параметрларига боғлиқ бўлган доимий миқдор сифатида аниқланади. Спектрал усул ҳозирги даврда дунёнинг кўп мамлакатларида, жумладан, Ўзбекистон Республикасида (ҚМҚ 2.01.03-96) ҳам иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблашдаги асосий усуллардан бирига айланган.

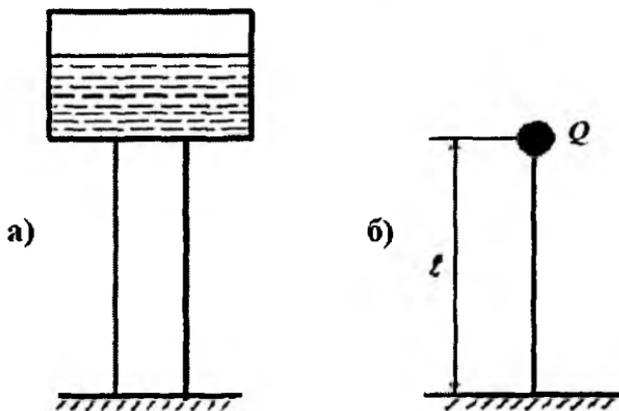
Динамик ҳазариянинг тўртинчи йўналиши эҳтимоллик назариясига асосланган стохастик назария ҳисобланади. Бунда зилзила жараёнида ернинг тебраниши тартибсиз характерга эга деб қаралиб, грунт ҳаракатлари, стохастик қонуниятларга бўйсунадиган, тасодифий жараён сифатида қабул қилинади.

3.4. Иншоотлар зизилабардошлигида қўлланиладиган ҳисобий схемалар

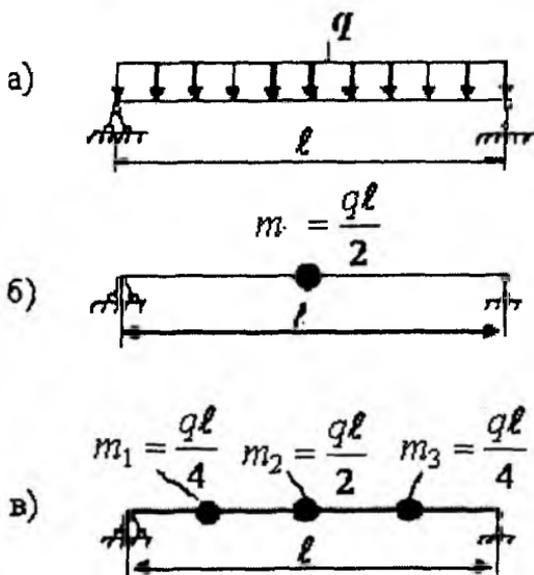
Турли иншоотларни исталган усулда динамик ҳисоблашда, биринчи навбатда, иложи борича иншоот ҳолатини айнан акс эттирадиган ҳисоблаш (ҳисобий) схемаси танланади. Ҳар бир иншоот учун бир массали оддий схемадан тортиб, то фазовий схемагача бўлган турли мураккабликдаги ҳисобий схемаларни танлаш мумкин. Оддий ҳисобий схемаларда конструкция ҳолатини ўта тақрибийлаштириш эвазига ҳисоб ишлари анча соддалаштирилади. Мураккаб схемалар иншоот ҳолатини ўзида яхши акс эттиргани билан, ҳисоблаш ишларини бирмунча мураккаблаштиради. Шунинг учун ҳамма вақт ҳисобий схеманинг қулай вариантини танлашга ҳаракат қилиш керак. 3.1–3.10-расмларда иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблашда қўлланиладиган ҳисобий схемалар келтирилган.

Гравитацион тўғонларни бўйлама сейсмик таъсирларга ҳисоблаганда, унинг 1 м кенликда вертикал текисликлар билан ажратилган бўлаги кўрилади. 3.5 – 3.6-расмларда монолит гравитацион тўғоннинг баъзи ҳисобий схемалари, яъни улардан бири вертикал қиррали, бўйлама сейсмик таъсирлар остида текис деформация ҳолатида бўлган, учбурчак шаклли схема (3.5-расм), иккинчиси бир

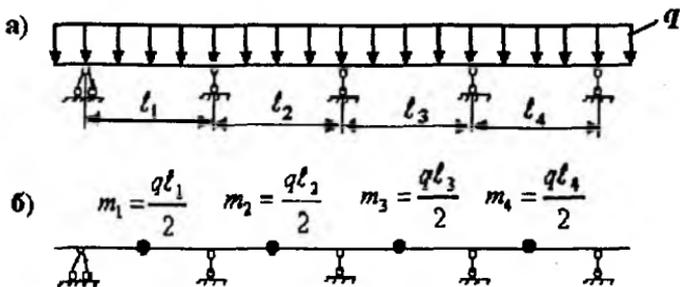
учи маҳкамланган, ҳар хил қийматга эга бўлган бир неча массали консол кўринишига эга бўлган схемалар (3.6-расм) келтирилган.



3.1-расм. Сув босими минораси (а) ва унинг бир массали ҳисобий схемаси (б): Q – сувга тўлдирилган сув босими минорасининг оғирлиги

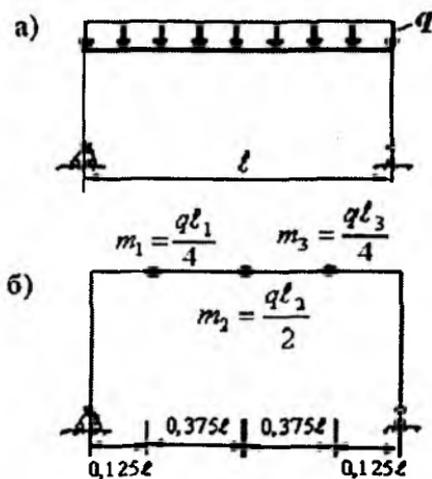


3.2-расм. Кесилган балка кўринишидаги кўприк схемаси (а), унинг бир массали (б) ва уч массали (в) ҳисобий схемалари: q – кўприкнинг тенг тақсимланган хусусий оғирлиги



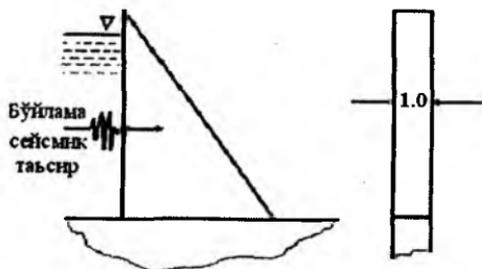
3.3-расм. Кесилмаган (туташ) балка кўринишидаги қувурли системанинг ёки кўприкнинг схемаси (а) ва унинг кўп массали ҳисобий схемаси (б):

q — тенг тақсимланган юк

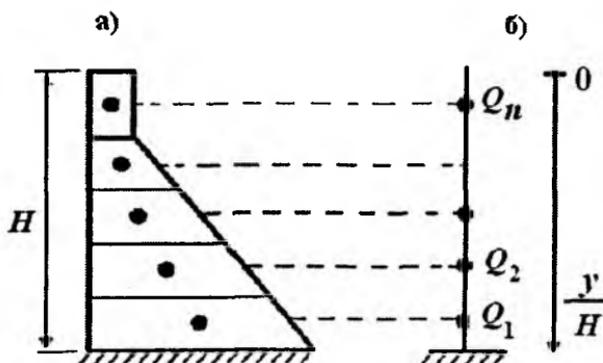


3.4-расм. Рамали конструкция (а) ва унинг уч массали ҳисобий схемаси (б):

q — тенг тақсимланган юк



3.5-расм. Монолит гравитацион тўғоннинг ҳисобий схемаси

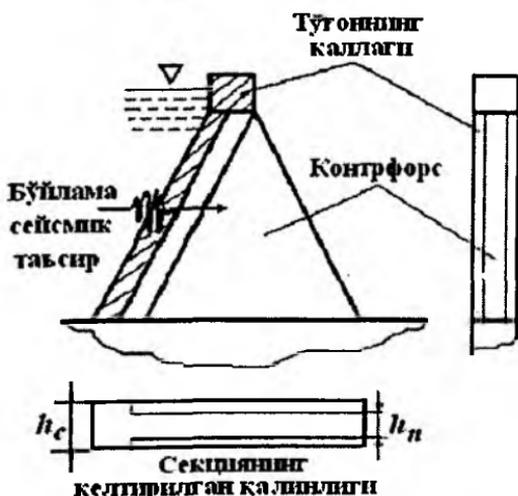


3.6-расм. Гравитацион тўғоннинг схемаси (а) ва унинг кўп массали ҳисобий схемаси (б)

3.7-расмда бўйлама сейсмик таъсир остида бўлган, массив каллак-ли контрфорсли тўғон секциясининг ҳисоблаш схемаси келтирилган.

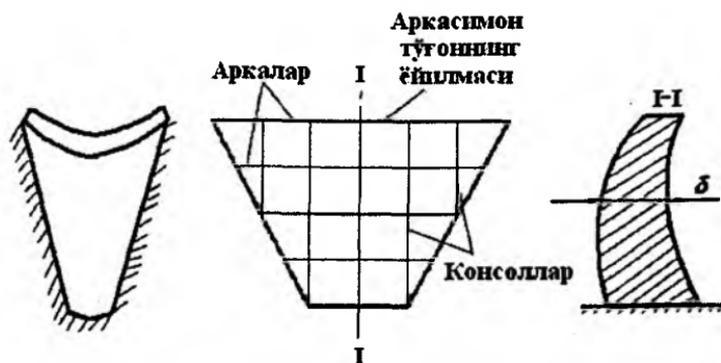
Эластиклик назарияси формулаларидан фойдаланиш мақсадида контрфорс плитанинг қалинлиги каллакнинг қалинлигига келтирилади (ёки аксинча), яъни

$$\frac{h_o}{h_n} = a = const$$



3.7-расм. Контрфорсли тўғоннинг ҳисобий схемаси

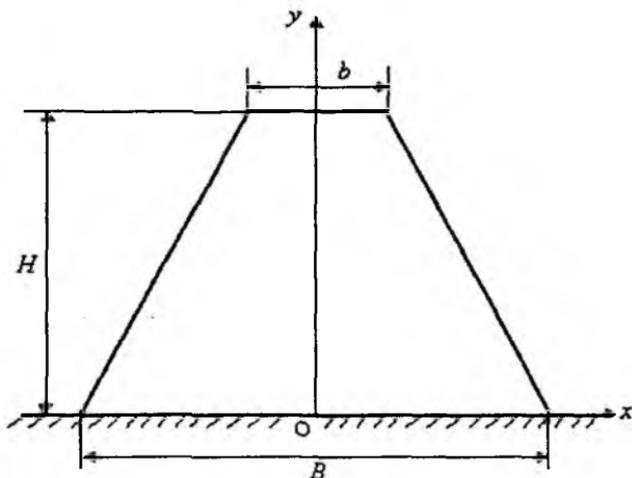
Аркасимон тўғонларни бўйлама ва кўндаланг сейсмик таъсирларга ҳисоблашда қобик моделидан фойдаланилади (3.8-расм). Ҳисоблаш жараёнида юққа қобиклар назариясидан фойдаланиш катта математик кийинчиликларга олиб келади. Шунинг учун аркасимон тўғонлар горизонталь аркалар билан вертикал консоллар тугунларда бириккан улама система сифатида қаралади.



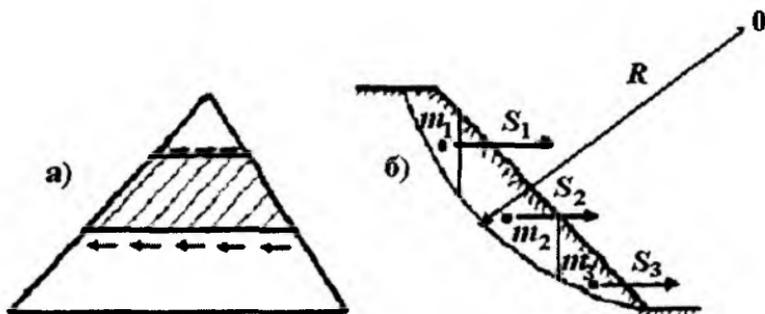
3.8-расм. Аркасимон тўғоннинг ҳисобий схемаси

Грунтдан тикланадиган тўғонларни бўйлама ва вертикал сейсмик таъсирларга ҳисоблашда ҳисобий схемалари деформацияланадиган текис (ясси) қаттиқ жисм шаклида қабул қилинади (3.9-расм). Бундай тўғонларнинг хусусияти шундан иборатки, тўғоннинг материали (ҳар қандай грунт) фақат сиқувчи ва уринма кучланишларга қаршилик кўрсатади, чўзилишга ишламайди. Бундай тўғонлар қияликларининг горизонталь сейсмик кучлар таъсирига нисбатан устуворлиги грунтларнинг ички ишқаланиш кучлари эвазига таъминланади. Шунинг учун бу ҳолда ҳисобий схема силжиш понаси (3.10а-расм) кўринишида олиниб, бу схемага кўра қияликнинг бузилиши юмалоқ цилиндрик сирт бўйича рўй бериши мумкин (3.10б-расм) деб қаралади.

3.1–3.10-расмларда иншоотларнинг турли хиллари учун ўзига яраша турлича ҳисобий схемалар келтирилди. Босимли сув минорасининг (3.1а-расм) ҳисобий схемасини бир массали схема кўринишида олиш мумкин (3.1б-расм). Бунда унинг фақат горизонталь тебранишлари инobatга олинса, унинг эркинлик даражаси бирга тенг бўлади. Агар ҳам горизонталь, ҳам вертикал тебранишлар инobatга олинса, у ҳолда унинг эркинлик даражаси иккига тенг бўлади.



3.9-расм. Грунтли тўғоннинг текис деформацияланувчи жисм кўринишидаги ҳисобий схемаси



3.10-расм. Грунтли тўғоннинг силжувчи пона кўринишидаги ҳисобий схемаси: бутун тўғон учун (а), пастки қиялик устуворлигини баҳолаш учун (б)

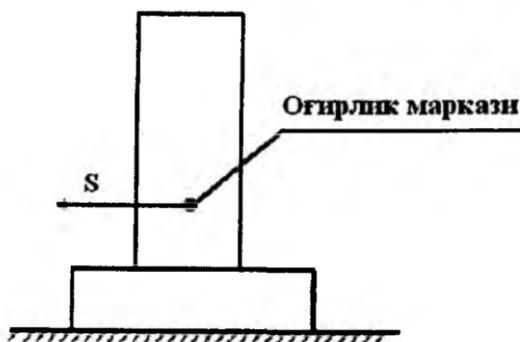
Шундай қилиб, турли кўприклар, қувурли системалар ва рамали конструкциялар учун иншоот узунлиги бўйича текис тарқалган юкларни тўпланган массалар билан алмаштириб, чекланган массали ҳисобий схемаларни қабул қилиш мумкин (3.2 – 3.4-расмлар).

Турли хил тўғонларни ҳам бир неча массали (3.6-расм), консол балкали, пластинали, қобикли ёки ясси системали (3.7 – 3.10-расмлар) ҳисобий схемаларга келтириш мумкин.

Грунтли тўғонларни сейсмик мустаҳкамликка ҳисоблашда текис (ясси) ҳисобий схемалардан (3.9-расм) фойдаланилади. Бунда иншоот текис деформация ҳолатида деб қаралади. Фазовий ҳисоблаш схемаси танланса, ҳисоб анча мураккаблашади. Грунтли тўғонларни сейсмик таъсирларга тақрибий ҳисоблашда кўпинча силжиш понали (клинли) соддалаштирилган схемадан фойдаланилса (3.10а-расм) ҳам бўлади. Бу схемадан фойдаланишда грунтли тўғонда фақат силжиш деформацияси ҳосил бўлади деб фараз қилинади. Пастки қиялик устуворлигига баҳо беришда, радиуси R бўлган юмалок цилиндрлик сирпаниш сиртидан фойдаланилади (3.10б-расм). Кейин силжиш призмаси бўлакларга ажратилади ва ҳар бир бўлакнинг оғирлик марказига сейсмик куч S қўйилади.

3.5. Бикир иншоотларга таъсир этувчи сейсмик кучларни аниқлаш

Бикирлиги катта бўлган массив иншоотларни ҳисоблашда энг содда модель сифатида «ҳайкал модели» ёки Окамото модели қўлланилади. Бу ном, амалда деярли деформацияланмайдиган, қабристонларга ўрнатилган ҳайкалларнинг zilзиладан кейинги ҳолатини ўрганиш натижасида пайдо бўлган (3.11-расм). Бундай иншоотларни zilзилабардошликнинг статик назарияси бўйича ҳисобласа бўлади.



3.11-расм. «Хайкал модели»га таъсир қилувчи сейсмик кучни аниқлаш

Бундай ҳолда, замин асоси горизонталь тебранганида, иншоотнинг барча қисмлари замин тезланиши билан бир хил ҳаракатга келади. Бу

ҳолда иншоотнинг оғирлик марказига қўйилган инерция (сейсмик) кучи қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$S = ma_0 \quad (3.2.)$$

бу ерда m – иншоотнинг массаси; a_0 – иншоот пойдеворига берилган максимал тезланиш.

(3.2) формулага минус ишора қўйилмаганлигининг сабаби, биринчидан, инерция кучининг абсолют қиймати олинади, иккинчидан, бу кучни иншоот учун ноқулай бўлган томонга йўналтириш тўғри бўлади.

$m=Q/g$ эканлигини ҳисобга олсак, (Q – иншоотнинг оғирлиги), иншоотга таъсир этувчи сейсмик куч (3.1), асосан, қуйидаги формула билан аниқланади:

$$S = Q \frac{a_0}{g} = K_c Q$$

бу ерда K_c – сейсмиклик коэффиенти деб аталиб, ҳудуднинг ҳисобий сейсмиклигига қараб аниқланади, яъни 7 баллик зона учун $K_c=0,025$; 8 баллик зона учун $K_c=0,050$; 9 баллик зона учун эса $K_c=0,1$ деб олинади.

Статик назария бўйича топилган сейсмик куч S нинг қиймати бошқа назариялар бўйича топилган сейсмик кучлардан анча кичик чиқади, чунки бунда зилзиланинг қисқа муддатлилиги (импульслиги), резонанс ҳолати ва бошқа динамик эффектлар эътиборга олинмайди. Шунинг учун статик назарияни фақат бикирлиги катта бўлган иншоотларда қўллаш мумкин, холос.

Бир хил конструкция ва бир хил ўлчамларга эга бўлган иккита иншоотдан қайси бирининг хусусий тебраниш даври кичик ва замин тебраниш давридан фарқли бўлса, ўша иншоот зилзилага бардошлироқ бўлади.

Юқорида келтирилган мисол учун япон олими Мононобе ва немис муҳандиси Бриске таклиф этган динамик назарияни қўллаш асосида иншоотга (3.11-расм) таъсир этувчи сейсмик кучни аниқлаймиз.

Бу ҳолда иншоотни биргина тўпланган куч Q қўйилган эластик система деб қараб, унинг замини қуйидаги қонуният бўйича тебранади, деб фараз қиламиз:

$$x = b \cos \frac{2\pi}{T_0} t \quad (3.3)$$

Бунда, тўпланган кучга таъсир этувчи горизонталь инерция кучининг энг катта қиймати қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$S = \beta \frac{a_0}{g} Q \quad (3.4)$$

бу ерда $a_0 = \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 b$ бўлиб, асоснинг тебраниш параметрлари ва иншоотнинг эластиклик хусусиятларига боғлиқ бўлган динамик коэффициент β қуйидагича аниқланади:

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{T^2}{T_0^2}} \quad (3.5)$$

Бу (3.5) формуладаги T – иншоотнинг хусусий тебраниш даври бўлиб, T_0 – заминнинг гармоник тебраниш давридир. Тажрибадан маълумки, бикирлиги катта бўлган иншоотларнинг эркин тебраниш даври T замин тебраниш даври T_0 дан анча кичик бўлади, шунинг учун $T^2/T_0^2 \rightarrow 0$ бўлиб, $\beta=1$ деб олиш мумкин бўлади. Бунда динамик назария натижалари билан статик назария натижалари ўзаро мос тушади.

Мононобе ишлари таҳлилидан шундай хулосага келиш мумкинки, унинг назарияси сейсмик ҳисоблар соҳасида олға қўйилган бир қадам эди, чунки бунда иншоотларнинг деформацияланувчанлиги эътиборга олинган. Бироқ (3.4) формуладан шуниси ҳам англаш мумкинки, сейсмик кучнинг бу қиймати мажбурий тебраниш барқарор бўлган тақдирдагина вужудга келади. Бинобарин, иншоотнинг эркин тебранишини эътиборга олмаслик Мононобе назариясининг камчилиги ҳисобланади. Кузатувларнинг кўрсатишича, аксарият ҳолларда ҳалокатли бузилишлар зилзиланинг дастлабки дақиқаларида юз беради. Бу пайтда иншоотнинг эркин тебраниши сўниб улгурмаган бўлади. Бу хусусда муҳандис Бриске шундай ёзади: “1923 йил 1 сентябрь зилзиласини бошидан кечирганларнинг айтишларига қараганда, барча вайроналар биринчи кучли ер ости зарбаси оқибатида содир бўлган”.

Кўриб ўтилган қонуният (3.3)га кўра зилзиланинг дастлабки дақиқаларида замин тезланиши бирданига максимал қийматга эришади, тезлик эса нолга тенг бўлади.

К.С. Завриев замин тебраниш қонуниятини (3.3) бўйича олиб, бир массали эластик системага таъсир этувчи инерция кучининг максимал қиймати икки марта ошиши мумкинлигини кўрсатди, яъни:

$$S = \beta_1 \frac{a_o}{g} Q \quad (3.6)$$

Бу ерда

$$\beta_1 = \frac{2}{1 - \frac{T^2}{T_o^2}} \quad (3.7)$$

(3.4) ва (3.6) ни таққослашдан маълум бўладики, агар иншоотнинг эркин тебраниши инобатга олинса, динамик коэффициентнинг қиймати икки марта ортади. Биқир иншоотларда $T \rightarrow 0$ бўлганда (3.6) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$S = 2 \frac{a_o}{g} Q \quad (3.8)$$

Бундан кўринадики, эркин тебранишнинг инобатга олинishi сейсмик кучнинг қиймати статик назариядагига нисбатан икки марта ортисига олиб келади.

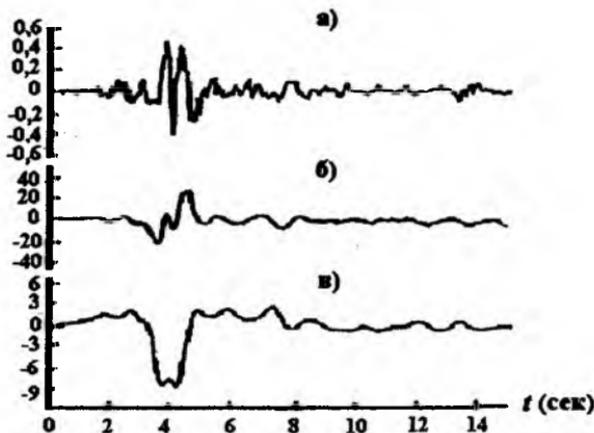
Бу бобда, бундай оддий ҳисоблардан ташқари иншоотларни ҳисоблашнинг спектрал ва акселерограмма усуллари билан ҳам мукамал танишиб чиқамиз.

Мухим аҳамиятга молик бўлган иншоотларни лойиҳалаш жараёнида турли зилзилаларнинг шакл-шамойиллари махсус ўрганиб чиқилади. Бунда зилзилаларнинг иншоотга бўладиган таъсири тасодифий жараён ва реал акселерограммалар шаклида таҳлил этилиб, бу иншоотлар турли мураккабликка эга бўлган ҳисобий схемалар бўйича ҳисобланади.

Агар, 1966 йил Паркфилд (АҚШ) зилзиласида ёзиб олинган кучиш, тезлик ва тезланиш ёзувларини таҳлил қиладиган бўлсак, катта кучга эга бўлган бир-икки “туртки” кўзга яққол ташланади (3.12-расм). Бу турткилар иншоотда энг катта кучланишларни ҳосил қилиб, кейин бу кучланишлар кескин камаяди. Бу ҳол зилзила кучининг зарба кучига яқинлигидан далолат беради.

Конструкциялар акселерограмма бўйича ҳисоблаганда деформацияланувчи иншоотларнинг барча нукталарига тезланиш қийматига (ак-

селерограмма бўйича) пропорционал бўлган (3.12-расмда кўрсатилгандек), вақт бўйича ўзгариб борувчи инерция кучлари таъсир этади, деб қабул қилинади. Кейин, бу кучлар таъсирида иншоотнинг динамик ҳолати вақтнинг турли қийматларида ҳисобланиб, вақтнинг турли дақиқаларида иншоот қисмларида (нуқталарида) ҳосил бўладиган кўчиш, деформация, зўриқиш кучлари ва кучланишларнинг ўзгариб бориши аниқланади.

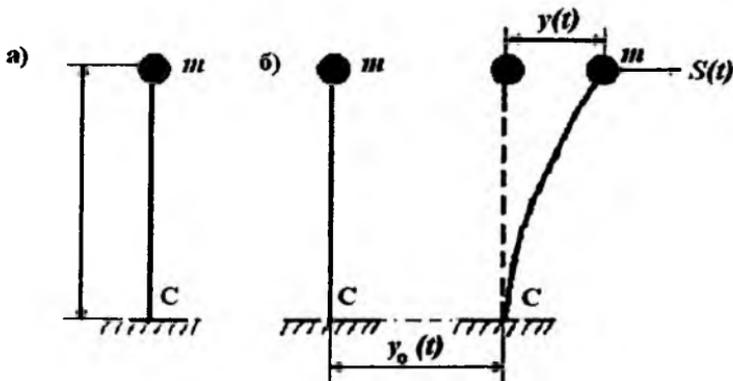


3.12-расм. Зилзила параметрларининг реал ёзувлари (АҚШ, Паркфилд, 1966 йил): а) акселерограмма (тезланиш) g га нисбатан қийматларда берилган; б) велосиграма (тезлик) дюйм/сек да; в) сейсмограмма (кўчиш) дюймда берилган (1 дюйм=2,54 см)

Агар ҳисоб ишлари спектрал усулда бажарилса, унда акселерограмма усулидан фарқли равишда, тебранишнинг ҳар бир шакли учун кўчиш, сейсмик куч, зўриқиш ва кучланишлар вақтнинг функцияси тариқасида аниқланмай, ана шу микдорларнинг максимал қийматлари аниқланади, холос.

3.6. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системани акселерограмма таъсирига ҳисоблаш

Замини $y_0(t)$ қонуният бўйича тебранадиган, эркинлик даражаси бирга тенг бўлган m массали вазнсиз эластик консол системанинг тебранишини текшираимиз (3.13а,б-расм).



3.13-расм. Бир массали эластик системанинг ҳисобий схемаси

Бу ҳолда, m массанинг тўлиқ горизонталь кўчиши қуйидагича аниқланади:

$$\bar{y}(t) = y_0(t) + y(t) \quad (3.9)$$

Бир массали система тебранишининг дифференциал тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$m\ddot{\bar{y}}(t) + \beta\dot{\bar{y}}(t) + r\bar{y}(t) = 0 \quad (3.10)$$

$$m\ddot{y}(t) + \beta\dot{y}(t) + ry(t) = -m\ddot{y}_0(t) \quad (3.11)$$

Бу тенгламани $\ddot{y}_0(t)$ нисбатан ёздагиган бўлсак, у ҳолда

$$\ddot{y}(t) + 2\varepsilon\dot{y}(t) + \omega^2 y(t) = -\ddot{y}_0(t) \quad (3.12)$$

га эга бўламиз.

Бу ерда:

$\ddot{y}_0(t)$ – иншоот заминининг тезланиши (таъсир этувчи акселерограмма);

m – системанинг массаси;

β – қаршилиқ кучининг қовушқоқлик коэффиценти;

$\varepsilon = \beta / 2m = \frac{\delta}{2\pi} \bar{\omega}$ – тебранишнинг сўниш коэффиценти;

δ – тебранишнинг логарифмик декременти.

Бу системанинг хусусий тебраниш частотаси қуйидагича бўлади:

$$\bar{\omega} = \omega \sqrt{1 - \left(\frac{\varepsilon}{\omega}\right)^2} = \frac{\omega}{\sqrt{1 + \left(\frac{\delta}{2\pi}\right)^2}} \quad (3.13)$$

Агарда δ кичик қийматга эга бўлса, у ҳолда $\bar{\omega} \approx \omega$ бўлади.

Бу ерда: ω – сўниш ҳисобга олинмаган ҳолдаги системанинг хусусий тебраниш частотаси бўлиб, $\omega = \sqrt{\frac{r}{m}}$; r – системанинг бикирлик коэффициенти.

Агар бошланғич шартлар бир жинсли, яъни ($y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$) бўлса, у ҳолда (3.12) тенгламанинг ечими куйидагича бўлади:

$$y(t) = -\frac{1}{\bar{\omega}} \int_0^t \ddot{y}_o(\tau) e^{-\frac{\delta}{2\pi} \bar{\omega}(t-\tau)} \sin \bar{\omega}(t-\tau) d\tau \quad (3.14)$$

Агар замин тебранишини, яъни системага таъсир қилаётган тезланишни

$$\ddot{y}_o(t) = \alpha f(t)$$

кўринишда қабул қилеак (бу ерда α – акселерограмма кўринишида берилган ҳақиқий тезланишнинг максимал амплитудаси, $f(t)$ – вақтга нисбатан берилган функция), у ҳолда

$$y(t) = y_{\sigma} \beta(t) \text{ бўлиб,}$$

$y_{\sigma} = \alpha / \omega^2$ – максимал тезланиш α га мос, инерция кучи $S_o = m\alpha$ нинг статик таъсирдан ҳосил бўлган кўчиши.

Агар $\delta_{11} = 1/r = 1/m\omega^2$ лигини эътиборга олсак, у ҳолда

$$y_{\sigma} = S_o \delta_{11} = m\alpha (1/(m\omega^2)) = \alpha / \omega^2 \text{ бўлиб,}$$

динамик коэффициентнинг қиймати эса:

$$\beta(t) = \frac{y(t)}{y_{\sigma}} = -\bar{\omega} \int_0^t f(\tau) e^{-\frac{\delta}{2\pi} \bar{\omega}(t-\tau)} \sin \bar{\omega}(t-\tau) d\tau \quad (3.15)$$

бўлади.

Бундан кўрилатган система учун

$$\beta(t) = \frac{S(t)}{S_o} \text{ келиб чиқади.}$$

Бу ерда: $S(t)$ – заминга $\ddot{y}_o(t)$ тезланиш таъсир қилганда m массада ҳосил бўладиган инерция кучи ёки сейсмик куч; $S_o = m\alpha$ – ўзгармас максимал тезланиш α га мос сейсмик куч.

Юқоридаги ифодадан

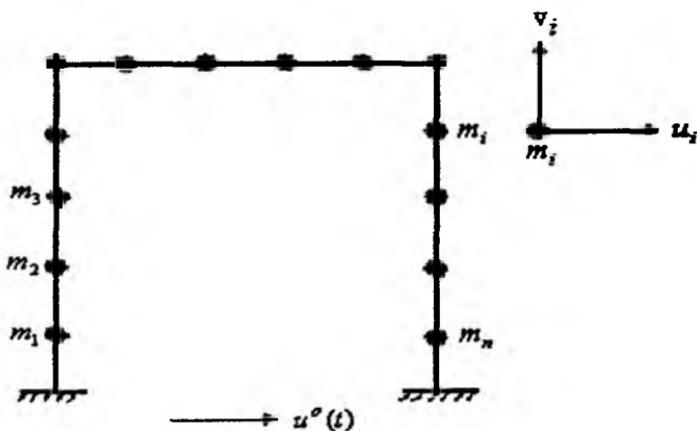
$$S(t) = S_o \beta(t) = m\alpha \beta(t) \quad (3.16)$$

келиб чиқади.

Бу формуладан фойдаланиб, вақт t нинг исталган дақиқасида $\ddot{y}_0(t)$ тезланиш таъсирида m массада вужудга келадиган сейсмик кучнинг қийматини аниқлаш мумкин.

3.7. Қўп массали системаларни хусусий тебраниш шаклларидан фойдаланиб спектрал усул ёрдамида ҳисоблаш

$m_1, m_2, m_3 \dots m_n$ массали текис эластик системани (3.14-расм) ҳисоблашни кўриб чиқамиз. Бу ҳолда ҳар бир масса иккита эркинлик даражаси u_i, v_i ($i=1 \dots n$) га эга бўлиб, системага горизонталь сейсмик кўчиш $u_0(t)$ таъсир қилаяпти деб фараз қилайлик.



3.14-расм. Текис рамали системанинг ҳисобий схемаси

3.14-расмда тасвирланган система ҳаракатининг дифференциал тенгламасини ва бошланғич шартларини матрица шаклида қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} [M]\{\ddot{\bar{u}}\} + 2\varepsilon[M]\{\dot{\bar{u}}\} + [R]\{\bar{u}\} &= 0 \\ \{\bar{u}(0)\} &= \{\bar{u}_0\}, \quad \{\dot{\bar{u}}(0)\} = \{\dot{v}_0\} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Бундаги

$$\{\bar{u}(t)\} = \{u(t)\} + \{u^0(t)\} \quad (3.18)$$

система массаларининг тўлиқ кўчиш векторлари.

Ифодалардаги белгилар: $[]$ – матрицани, $\{u\}$ – векторни, t – эса транспонирлаш амалини англатади, яъни

$$\{\bar{u}\}^T = \{\bar{u}_1, \bar{v}_1, \bar{u}_2, \bar{v}_2, \dots, \bar{u}_n, \bar{v}_n\}; \{u\}^T = \{u_1, v_1, u_2, \dots, u_n, v_n\}; \{u^o\}^T = \{u_1^o, 0, u_2^o, 0, \dots, u_n^o, 0\}$$

Бу ерда: $\{u_0\}$ -берилган кинематик (сейсмик) таъсир; $\{u\}$ – массанинг эластик кўчиш вектори; $\{\bar{u}\}$ – массанинг тўлиқ кўчиш вектори; $[M]$, $[R]$ – системанинг масса ва бикирлик матрицаси.

(3.17) дифференциал тенгламалар системасини ва бошланғич шартларни $\{u\}$ га нисбатан ёзадиган бўлсак, куйидаги кўринишга келади:

$$[M]\{\ddot{u}\} + 2\varepsilon[M]\{\dot{u}\} + [R]\{u\} = -[M]\{\ddot{u}^o\} \quad (3.19)$$

$$\{u(0)\} = \{u_0\}; \quad \{\dot{u}(0)\} = \{v_0\} \quad (3.20)$$

Қаралаётган системани (3.14-расм) спектрал усул ёрдамида сеймик таъсирларга ҳисоблашдан аввал, бу система учун хусусий тебраниш масаласини ечиб олиш зарур бўлади, яъни:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [R]\{u\} = 0 \quad (3.21)$$

Бунинг учун (3.21) нинг ечимни куйидаги кўринишда изланади:

$$\{u\} = \{u^*\} \cos \omega t \quad (3.22)$$

(3.22) ни (3.21) га қўйсак, хусусий қийматларни аниқлаш имконини берадиган куйидаги алгебраик тенгламалар системаси келиб чиқади:

$$([M] - \omega^2 [R])\{u^*\} = 0 \quad (3.23)$$

(3.23) тенгламани махсус математик усуллар ёрдамида ЭХМ да ечиб, системанинг хусусий частоталари $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ ларни ва бу частоталарга мос бўлган системанинг хусусий тебраниш шакллари $\{u^*\}_1, \{u^*\}_2, \dots, \{u^*\}_n$ ни аниқлаймиз.

3.7.1-мисол

Текис раманинг (3.14-расм) хусусий тебраниш частоталари ва шаклларини аниқлаш талаб этилсин. Бу раманинг устун баландлиги $h = 6$ м, ригел узунлиги $\ell = 10$ м, рама материали темирбетон бўлиб, унинг солиштирма оғирлиги $\gamma = 2,4$ тк/м³, эластиклик модули $E = 34000$ кгк/см² бўлсин. Устун кўндаланг кесимининг инерция моментини

$$I_{\text{оғ}} = \frac{(0,4)^4}{12} \text{ м}^4, \text{ ригелникини } I_{\text{риг}} = \frac{(0,7)^3 \cdot (0,4)}{12} \text{ м}^4 \text{ деб олайлик.}$$

Чекли элементлар усули (ЧЭУ) ёрдамида раманинг массалари сони $n = 23$ бўлган кўп массали системага келтираемиз. Ҳар бир мас-сани иккита эркинлик даражасига: горизонталь – u ва вертикал – v кўчишларга эга деб қараймиз.

Қаралаётган масала тебранишнинг хусусий частоталари ва шакллари аниқлаш учун ЧЭУ бўйича тартиби $N=46$ га тенг бўлган бир жинсли (3.23) тенгламалар системасига келтирилади. Масалани ечиб, 5 та қуйи частотларни ва уларга мос шаклларни аниқлаймиз.

3.15-расмда раманинг турли хусусий тебраниш частоталари ва уларга мос хусусий тебраниш шакллари кўрсатилган.

3.1-жадвалда эса система массаларининг турли хусусий тебраниш шаклларига мос бўлган меъёрлаштирилган (нормаллаштирилган) кўчиш амплитудаларининг қийматлари келтирилган.

Иншоот сейсмик ҳисобини амалга ошириш учун (3.19) тенгламанинг ечими қуйидаги кўринишда изланади:

$$\{u\} = \sum_{i=1}^L \{u^*\}_i y_i(t) \quad (3.24)$$

Бу ерда: L – (3.24) ечимда инobatга олинадиган системанинг хусусий тебраниш шакллариининг сони;

$\{u^*\}_i$ – системанинг аниқланган i -сонли хусусий тебраниш шакли; $y_i(t)$ – i -тебраниш шаклига мос изланаётган вақт функцияси.

(3.24) нинг (3.19) га қўйилиши, сейсмик таъсир $u_o(t)$ натижасида пайдо бўладиган системанинг (3.14-расм) мажбурий тебраниш масаласини қуйидаги кўринишдаги дифференциал тенгламалар системасини ечишга олиб келади:

$$m_{ij} \ddot{y}_j(t) + 2\varepsilon_i m_{ij} \dot{y}_j(t) + r_{ij} y_j(t) = -\dot{H}_i(t) \quad (3.25)$$

Бу ҳолда (3.25) тенгламалар системаси учун бошланғич шартлар қуйидагича бўлади:

$$y_i(0) = y_i^o, \quad \dot{y}_i(0) = v_i^o$$

(3.25) тенгламалар системасининг тартиби катта бўлмасдан, у (3.24) да инobatга олинган хусусий тебраниш шакллариининг сонига тенг. Хусусий тебраниш шакллари ўзaro ортогонал бўлганлиги сабабли, тенгламалар системаси (3.25) қуйидаги кўринишдаги иккинчи тартибли алоҳида-алоҳида оддий дифференциал тенгламаларга бўлиниб кетади:

$$\ddot{y}_i(t) + 2\varepsilon_i \dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = -H_i(t) \quad (3.27)$$

Бу ерда $\dot{H}_i(t) = \ddot{u}^o(t) \cdot \eta_i$; $u^o(t)$ – системага таъсир этувчи кинематик (сейсмик) таъсир; η_i – тебранишларнинг шакл коэффициентлари.

Тебранишларнинг шакл коэффициентлари қуйидаги формуладан топилади:

$$\eta_i = \frac{\{u^*\}_i [M]}{\{u^*\}_i^T [M] \{u^*\}_i}$$

Бир жинсли (нолли) бошланғич шартлар ($y_i^0 = 0, v_i^0 = 0$) да (3.27) тенгламанинг ечими қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$y_i(t) = -\frac{1}{\bar{\omega}_i} \int_0^t \ddot{H}_i(\tau) e^{-\varepsilon_i(t-\tau)} \sin \bar{\omega}_i(t-\tau) d\tau \quad (3.28)$$

Вақтнинг исталган дақиқасида массаларнинг сейсмик таъсирлар натижасида ҳосил бўлган i -тебраниш шаклига мос кўчишлари (3.24) ифодадан топилади, яъни:

$$\{u\}_i = \{u^*\}_i y_i(t) \quad (3.29)$$

Сўниш коэффициентини ε_i ва сўнувчи тебраниш частоталари $\bar{\omega}_i$ ни қуйидаги формулалардан топиш мумкин:

$$\varepsilon_i = \frac{\delta}{2\pi} \bar{\omega}_i \approx \frac{\delta}{2\pi} \omega_i \text{ чунки } \bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\sqrt{1 + (\delta/2\pi)^2}} \approx \omega_i$$

Бу ерда: ω_i – сўниш эътиборга олинмаган эластик системанинг хусусий тебраниш частоталари; δ – тебранишнинг логарифмик декременти бўлиб, энергиянинг ютилиш коэффициенти Ψ ва ноэластик қаршилиқ коэффициенти γ билан қуйидаги ифода орқали боғланган:

$$\gamma = \frac{\Psi}{2\pi} = \frac{\delta}{\pi}$$

Амалда $\bar{\omega}_i$ билан ω_i бир-биридан кам фарқ қиладиган катталик бўлгани учун $\bar{\omega}_i \approx \omega_i$ деб қабул қилса бўлади.

Тебранишнинг i -шакли бўйича ҳосил бўладиган сейсмик куч қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\{\bar{S}_i\} = \omega_i^2 [M] \{u^*\}_i$$

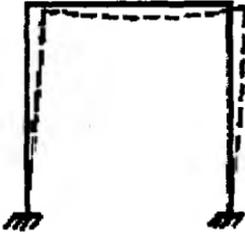
ёки

$$\{S_i\} = \{\bar{S}_i\} y_i(t)$$

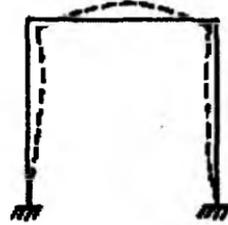
Ҳар бир массада вақтнинг исталган дақиқасида тебранишнинг турли шакллари бўйича вужудга келадиган кўчиш ва сейсмик кучларнинг йиғиндиси қуйидаги кўринишда аниқланади:

$$\{u\} = \sum_{i=1}^L \{u^*\}_i y_i(t), \{S\} = \sum_{i=1}^L \{\bar{S}_i\} y_i(t)$$

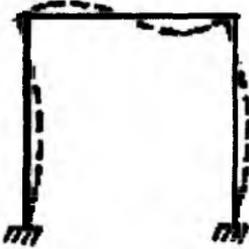
Демак, бу усулдан фойдаланиб, иншоотга зилзила акселерограммаси таъсир этганида иншоот нуқталарида (массаларида) ҳосил бўладиган сейсмик кучларни аниқлаш мумкинлигини кўриб чиқдик.



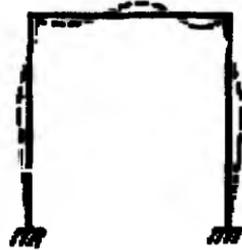
1-тебраниш шакли
 $\omega_1=4,57$ рад/сек, $T_1=0,219$ сек



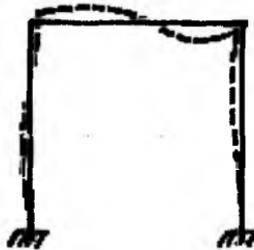
2-тебраниш шакли
 $\omega_2=13,81$ рад/сек, $T_2=0,072$ сек



3-тебраниш шакли
 $\omega_3=38,53$ рад/сек, $T_3=0,026$ сек



4-тебраниш шакли
 $\omega_4=40,60$ рад/сек, $T_4=0,0246$ сек



5-тебраниш шакли
 $\omega_5=52,42$ рад/сек, $T_5=0,0191$ сек

3.15-расм. Рамали системанинг хусусий тебраниш частоталари ва шакллари

Турли хусусий тебраниш шаклларига мос бўлган массалар кўчишларининг меъёрлаштирилган амплитуда қийматлари

Мас- са- лар- нинг №	Массаларнинг кўчишлари									
	1-тебраниш шакли		2-тебраниш шакли		3-тебраниш шакли		4-тебраниш шакли		5-тебраниш шакли	
	u	v	u	v	u	V	U	v	u	v
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,07	0,0	0,046	0,003	0,273	0,005	-0,279	0,004	-0,325	0,031
3	0,246	0,0	0,143	0,006	0,747	0,009	-0,759	0,007	-0,808	0,062
4	0,476	0,001	0,243	0,009	1,0	0,014	-1,0	0,011	-0,900	0,092
5	0,709	0,001	0,268	0,012	0,830	0,018	-0,818	0,015	-0,489	0,121
6	0,899	0,002	0,200	0,015	0,331	0,023	-0,355	0,018	0,061	0,150
7	0,999	0,002	-0,0	0,018	-0,155	0,027	-0,022	0,022	0,113	0,177
8	0,999	-0,028	-0,0	0,302	-0,158	0,307	-0,018	-0,013	0,118	0,644
9	0,999	-0,038	-0,0	0,576	-0,161	0,448	-0,014	-0,032	0,121	0,993
10	0,999	-0,034	-0,0	0,801	-0,163	0,424	-0,009	0,109	0,123	0,999
11	0,999	-0,019	-0,0	0,948	-0,164	0,254	-0,004	0,175	0,125	0,624
12	1,0	0,0	0,0	1,0	-0,164	0,0	0,0	0,201	0,126	0,0
13	0,999	0,019	0,0	0,948	-0,164	-0,254	0,004	0,175	0,125	-0,624
14	0,999	0,034	0,0	0,801	-0,163	-0,424	0,009	0,109	0,124	-1,0
15	0,999	0,038	0,0	0,576	-0,161	-0,448	0,014	0,032	0,121	-0,993
16	0,999	0,028	0,0	0,302	-0,158	-0,307	0,018	-0,013	0,118	-0,644
17	0,999	-0,002	0,0	0,018	-0,155	-0,027	0,022	0,022	0,113	-0,177
18	0,899	-0,002	-0,200	0,015	0,332	-0,023	0,355	0,018	0,061	-0,150
19	0,709	-0,001	-0,268	0,012	0,830	-0,018	0,818	0,015	-0,489	-0,121
20	0,476	-0,001	-0,234	0,009	1,0	-0,014	1,0	0,011	-0,900	-0,092
21	0,246	-0,0	-0,143	0,006	0,747	-0,009	0,759	0,007	-0,808	-0,062
22	0,07	-0,0	-0,046	0,003	0,273	-0,005	0,279	0,004	-0,325	-0,031
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Юкоридаги ҳисоб ишларидан фаркли ўларок, спектрал усул қўлланилганида ҳар бир массада вужудга келадиган кўчиш ва сейсмик кучларни топиш учун юкоридаги интегралларни ҳисоблаш ўрнига, уларнинг фақат максимал қийматларини аниқлаш билан чекланилар эди. Бу қийматлар эса, асосан, икки параметрга – хусусий

частота ω_i (ёки давр T_i) ва сўниш коэффициентлари ϵ_i га боғлиқ бўларди.

Шуни инобатга олиб, y_i ни аниқлашда (3.28) нинг ўрнига унинг қуйидаги максимал қийматларидан фойдаланиш мумкин:

$$y_i = y_i(T_i) = \frac{\eta_i \alpha}{\omega_i^2} \beta(T_i) \quad (3.30)$$

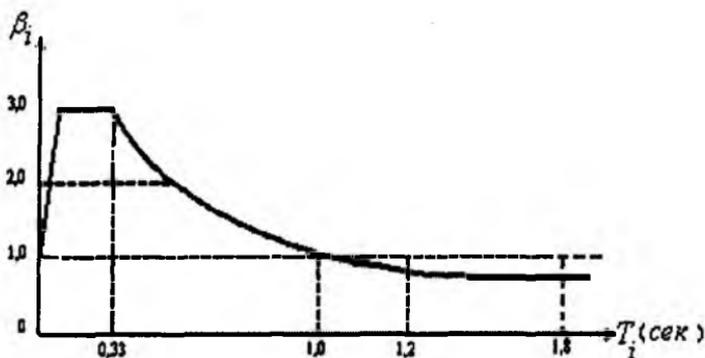
$\beta(T_i)$ – иншоотнинг динамиклик коэффициенти бўлиб, хусусий тебраниш даври T_i га боғлиқ; α – зилзила тезланишининг максимал амплитудаси, яъни $\ddot{u}^0(t) = \alpha \cdot f(t)$; $f(t)$ – вақт бўйича берилган функция.

$\beta(T_i)$ коэффициентни 3.16-расмдаги графикдан ёки қуйидаги формулалардан топиш мумкин:

агар $0 < T_i \leq 0,33$ сек бўлса, $\beta(T_i) = 3$;

$0,33 \leq T_i \leq 1,25$ сек бўлса, $\beta(T_i) = 1/T_i$;

$T_i \geq 1,25$ сек бўлса, $\beta(T_i) = 0,8$ деб олинади.



3.16-расм. Динамик коэффициентнинг графиги

Бу ҳолда хусусий тебранишнинг i -шаклига тўғри келадиган ҳар бир массанинг кўчишлари ва уларга мос сейсмик кучлар қуйидагича аниқланади:

$$\{u\} = \{u^*\}_i y_i, \quad \{S_i\} = \{\bar{S}_i\}_i y_i$$

Спектрал усулда иншоотнинг барча массаларидаги ва барча кесимларидаги кўчишлар ва сейсмик кучлар тебранишларнинг ҳамма шакллари бўйича максимал қийматларга бир вақтда эришади, деб қабул қилинган. Шунинг учун сейсмик таъсир натижасида иншоот-

нинг ҳар бир массасини максимал кўчиши ва ҳар бир массага таъсир қиладиган сейсмик кучларнинг йиғиндиси қуйидаги формулалар ёрдамида аниқланади:

$$\{u\} = \sum_{i=1}^L \{u_i^*\} y_i; \{S\} = \sum_{i=1}^L \{\bar{S}_i\} \rho_i$$

Аммо масалага бу тариқа ёндашув ҳақиқатдан йироқ, чунки зилзила вақтида барча частоталар бир вақтнинг ўзида вужудга келмайди. Уларни баравар ҳисобга олиш ҳисобий параметрларнинг катталашувиغا олиб келади. Шунинг учун иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблашда кўчиш ва сейсмик кучларнинг ўрта квадрат қийматларидан фойдаланилади, яъни:

$$\{u\} = \sqrt{\sum_{i=1}^L \{u_i\}^2}; \{S\} = \sqrt{\sum_{i=1}^L \{S_i\}^2} \quad (3.31)$$

Норматив ҳужжатларда ҳам кўпинча ўрта қийматлар билан ҳисоб ишларини бажариш тавсия қилинади. Бу усул (спектрал усул) билан олинган натижаларни аслида бирламчи натижа деб қараш тўғри бўлади.

3.8. Гидротехника иншоотларига таъсир этувчи сейсмик кучларни аниқлаш усуллари

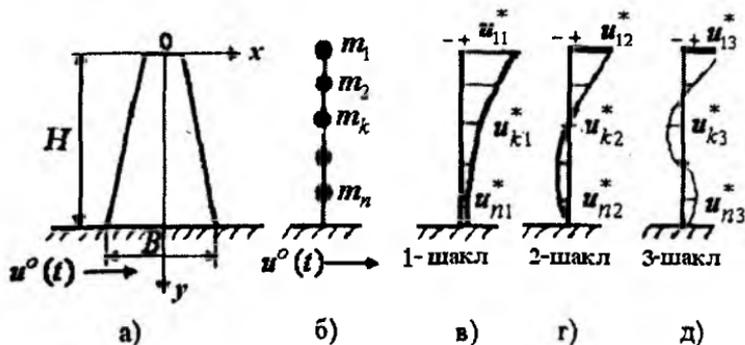
Гидротехника иншоотининг оддий модели сифатида ўзгарувчи кесимли консол балкани қабул қилиб, уни сейсмик таъсирга ҳисоблаш тартибини кўриб чиқамиз (3.17а-расм).

Иншоот горизонталь сейсмик таъсир $u^o(t) = af(t)$ натижасида силжиш тебраниш ҳолатида бўлади, деб фараз қилайлик.

Одатда, I, II, III ва IV тоифага мансуб иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблашда тебранишларнинг дастлабки учта қуйи хусусий тебраниш шакллари билан кифояланилади.

Иншоотларнинг зилзилабардошлиги чекли элементлар усули билан баҳоланганда, иншоот кўп массали, эркинлик даражаси n га тенг бўлган системага (3.17б-расм) келтирилиб, (3.23) тенглама тузилади ва бир неча қуйи хусусий частоталар $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k$ (ёки даврлар T_1, T_2, \dots, T_k), шунингдек, уларга мос хусусий тебраниш шакллари $\{u^*\}_1, \{u^*\}_2, \dots, \{u^*\}_k$ аниқланади. Мазкур мисолда фақат 3 та частота ва шуларга мос учта

шакл келтирилган (3.17в,г,д-расм). Ушбу масалани ечишда ҳар бир массанинг эркинлик даражаси бирга тенг деб қабул қилинган, чунки бу ерда фақат силжиш тебранишлари кўрилаяпти. Агар эгилиш тебранишлари қаралса, у ҳолда ҳар бир массанинг эркинлик даражаси иккига тенг бўлади.



3.17-расм. Ҳзгарувчи кесимли гидротехника иншоотининг ҳисобий схемаси ва ҳусусий тебраниш шакллари

Бу ерда $\{u^*\}_i$ – турли массаларнинг (нуқталарнинг) кўчишларини ифодалайди, яъни:

$$\{u^*\}_i = \{u_{1i}^*, u_{2i}^*, u_{3i}^*, \dots, u_{ki}^*, \dots, u_{mi}^*\}$$

Аниқроқ айтадиган бўлсак, u_{ki} – деганда k нуқта (масса) нинг i -шакл бўйича кўчиши тушунилади.

Иккинчи навбатда тебранишларнинг шакл коэффициентлари аниқланади:

$$\eta_{ki} = \frac{u_{ki}^* \sum_{k=1}^n m_k u_{ki}^*}{\sum_{k=1}^n m_k u_{ki}^{*2}} = \frac{u_{ki}^* \sum_{k=1}^n Q_k u_{ki}^*}{\sum_{k=1}^n Q_k u_{ki}^{*2}} \quad (3.32)$$

Бу ерда: $Q_k = m_k g$ – оғирлик кучи, m_k – иншоотнинг k нуқтасидаги тўпланган массаси, g – эркин тушиш тезланиши.

Учинчи навбатда тебранишнинг i -шакли бўйича иншоотнинг k нуқтасида ҳосил бўладиган кўчиш ва шу нуқтадаги сейсмик кучлар аниқланади, яъни:

$$u_{ki} = \frac{K_c g \beta_i^0}{\omega_i} \eta_{ki} \quad (3.33)$$

$$S_{ki} = K_c \beta_i^0 \eta_{ki} Q_k \quad (3.34)$$

Бу ерда K_c – сейсмиклик коэффициентлари (унинг қийматлари 3.1 бўлимида келтирилган маълумотлар асосида олинади).

Шулар билан бир қаторда, меъёрий хужжат (ҚМҚ) асосида тебранишнинг i -шакли бўйича иншоотнинг k нуқтасида ҳосил бўладиган сейсмик куч қуйидагича аниқланади:

$$S_{ki} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_\psi \cdot Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki} \quad (3.35)$$

Бу ерда α нинг ўрнига A коэффициентлари ишлатилган бўлиб, $A = \alpha / g$ ўлчамсиз тезланиш саналади. ҚМҚ да унинг қийматлари 7,8,9 баллик ҳудудлар учун 0.1, 0.2, 0.4 деб берилган. K_1 – қолдиқ деформациялар, ёриқлар ва бошқаларнинг пайдо бўлишини ҳисобга олувчи коэффициент бўлиб, қиймати 0,25 га тенг. K_2 – иншоотнинг баландлиги H ни ҳисобга оладиган коэффициент бўлиб, қиймати: $H < 60$ м бўлганда $K_2 = 0,8$; $H = 60 - 100$ м бўлганда $K_2 = 0,9$; $H > 100$ м бўлганда $K_2 = 1$ бўлади.

K_ψ – иншоот материалига ва қурилиш ҳудудининг зилзила бағлига боғлиқ коэффициент; грунтли иншоотлар учун ҳудуд бали 7,8 бўлганда $K_\psi = 0,7$; 9 балл бўлганда $K_\psi = 0,65$ га тенг деб олинади. Бетон ва темирбетон иншоотлар учун 7,8 баллда $K_\psi = 1$; 9 баллда $K_\psi = 0,8$. β_i – динамиклик коэффициентлари бўлиб, иншоотнинг хусусий тебраниш даври (T_i) га қараб 3.16-расмдаги графикдан топилади.

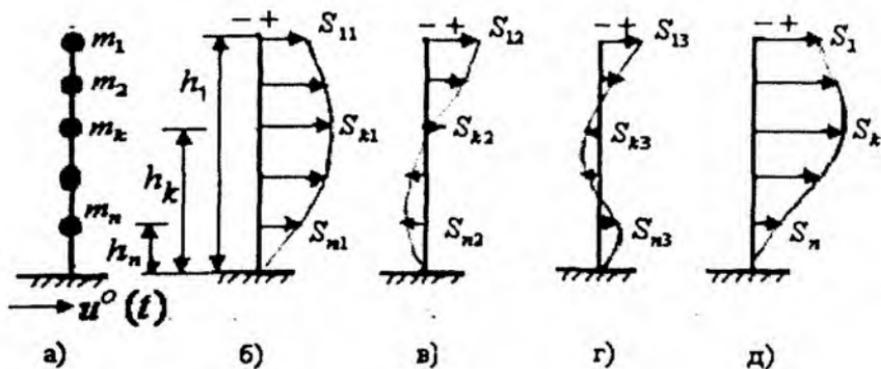
Гидротехника иншоотларини ҳисоблашда β_i нинг ўрнига

$$\beta_i^0 = \beta_i \cdot m^0 \quad (3.36)$$

дан фойдаланиш тавсия этилади. Бу ерда m^0 – иншоотнинг материали ва конструкциясига боғлиқ бўлган коэффициент. Тебранишлар натижасида чоклари очилмайдиган темирбетон ва бетон иншоотларда $m^0 = 1,0$; тебранишлар чоғида блоклар орасида чоклар очилиши мумкин бўлган иншоотларда $m^0 = 0,8$; тупроқ ва тош-тупроқли иншоотларда $m^0 = 0,7$ деб олиш тавсия этилади. Ҳар қандай шароитда ҳам (β_i^0, K_ψ) кўпайтма 0,8 дан кам бўлмаслиги керак.

Ҳисоблаш натижалари асосида (3.34) формула орқали аниқланган сейсмик кучлар 3.18-расмда кўрсатилган.

Шундай қилиб, иншоотнинг ҳар бир массасига таъсир қилаётган, яъни аниқланган (3.18д-расм) ўрта квадрат сейсмик кучлар иншоотга статик равишда қўйилади. Иншоотларнинг зилзилабардошлигини баҳолашда бу кучларга иншоотга таъсир этувчи бошқа кучлар ҳам



3.18-расм. Сейсмик кучларни аниқлаш: а) гидротехника иншоотининг кўп массали модели; б), в), г) – биринчи, иккинчи ва учинчи тебраниш шакллари бўйича иншоотга таъсир этувчи сейсмик куч қийматлари; д) иншоотнинг ҳар бир массасига таъсир этувчи (3.31) сейсмик кучнинг ўрта квадрат қийматлари

кўшилади. Кейин эса иншоотда вужудга келадиган деформация, ички зўриқиш кучлари ва кучланишлар материаллар қаршилиги ёки эластиклик назарияси фанларининг усуллари ёки формуллари орқали аниқланади.

Бу бобда кўриб чиқилган назарий билимлар кейинги бобларда аниқ иншоотларнинг зилзилабардошлигини баҳолашда фойдаланилади.

Турли иншоотлар зилзилабардошлигини баҳолаш

4.1. Сув босими минорасининг ҳисоби

Сув босими минораси, айниқса қишлоқ хўжалигида сув таъминоти системасининг муҳим элементларидан ҳисобланади. Сув сақланадиган идиш (ёмкость) ва уни кўтариб турувчи устун (ствол) унинг асосий конструктив элементи ҳисобланади. Идиш кўпинча металлдан ишланиб, ҳажми 25 м^3 дан 500 м^3 гача бўлади, устун эса пўлат ёки темирбетондан ишланади.

4.1.1-мисол

Пўлат устунли сув босими минорасининг схемасини 4.1-расмда кўрсатилгандек тасвирлаш мумкин. Одатда, пўлат устун яхлит қувурдан ёки фермасимон панжарали конструкция кўринишида ишланади. Устуннинг оғирлиги сувли идиш оғирлигидан анча кичик бўлади, шунинг учун ҳисоб ишларини бажаришда унинг вазни ҳисобга олинмайди.

Иншоотга таъсир қиладиган сейсмик кучларни аниқлашда сув босими минорасининг модели сифатида бир массали чизикли осциллятордан (4.2а-расм) фойдаланса бўлади.

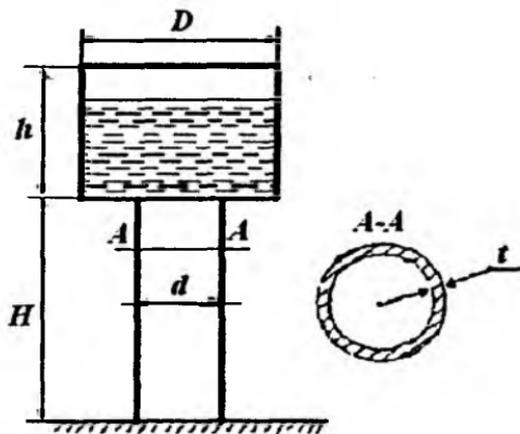
Ҳисоб ишларини бажаришда қурилиш ҳудудини – 8 баллик ҳудуд, замин грунтини – I категорияли деб олайлик.

Агарда миноранинг геометрик параметрларини, яъни устун баландлигини $H=15 \text{ м}$, идишнинг баландлигини $h=5 \text{ м}$, идиш диаметрини $D=5 \text{ м}$, устуннинг диаметрини $d=2,5 \text{ м}$, қалинлигини $t=0,01 \text{ м}$ деб олсак, устун материалининг солиштирма оғирлиги $\gamma_s = 7,8 \text{ тк/м}^3$, сувнинг солиштирма оғирлиги $\gamma_c = 1 \text{ тк/м}^3$ бўлса, у ҳолда идишдаги сувнинг оғирлиги:

$$Q_c = \frac{\pi D^2}{4} h \cdot \gamma_c = \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} \cdot 5 \cdot 1 = 98,1 \text{ тк}$$

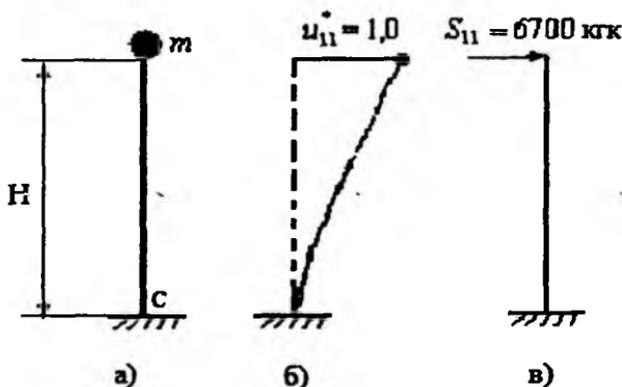
$$\text{сувнинг массаси } m = \frac{Q_B}{g} = \frac{98,1}{9,81} = 10 \text{ тк сек}^2/\text{м}$$

устуннинг оғирлиги $Q_y = \pi d \cdot t \cdot H \cdot \gamma_y = 3,14 \cdot 2,5 \cdot 0,01 \cdot 15 \cdot 7,8 = 9,9 \text{ тк бўлади}$.



4.1-расм. Сув босими миnorасининг схемаси

$Q_c > Q_y$ бўлганлиги сабабли, бир массали моделдан (4.2а-расм) фойдалансак тўғри бўлади.



4.2-расм. Сув босими миnorасининг бир массали модели (а), хусусий тебраниш шакли (б) ва таъсир қилаётган сейсмик куч (в)

Миноранинг (4.1-расм), яъни бир массали системанинг (4.2а-расм) динамик характеристикасини аниқлаймиз.

Устуннинг кўндаланг кесимини инерция моменти
 $I_x \approx 0,05(d^4 - (d - 2 \cdot t)^4) = 0,05(2,5^4 - (2,5 - 2 \cdot 0,01)^4) = 0,062 \text{ м}^4 = 6,2 \cdot 10^6 \text{ см}^4$
 бўлиб, системанинг статик салқилиги

$$\Delta_{ст} = \frac{Q_c H^3}{3EI_x} = \frac{98100 \cdot 1500^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 6,2 \cdot 10^6} = 8,9 \text{ см}$$

бўлади.

Системанинг (4.2а-расм) хусусий тебраниш частотаси

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\Delta_{ст}}} = \sqrt{\frac{981}{8,9}} = 10,5 \text{ рад/сек}$$

ва хусусий тебраниш даври

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \cdot 3,14}{10,5} \approx 0,6 \text{ сек}$$

га тенг бўлиб, $\omega = 10,5$ рад/сек га тўғри келадиган хусусий тебраниш шакли 4.2б-расмдаги кўринишга эга бўлади.

3.16-расмда берилган графикдан топилган $T = 0,6$ секунд даврга тўғри келадиган динамиклик коэффициентини β ни аниқлаймиз. Унинг қиймати I категорияли грунт ва хусусий тебраниш даври $T = 0,6$ сек бўлган система учун $\beta \approx 1,7$ га тенг экан.

Тебраниш шакли (4.2б-расм) дан фойдаланиб, бир массали система учун тебранишларнинг шакл коэффициентларини (3.32) аниқлаймиз $\eta_{II}(\eta_{II}) = 1,0$.

Масса $m = \frac{Q_c}{g}$ га таъсир этувчи сейсмик кучни (3.35) формула орқали аниқлаймиз.

Биз қараётган мисолимиз учун (3.35) формуладаги сейсмик куч коэффициентлари ҚМҚ га кўра қуйидаги қийматларга эга бўлади:

$$A = 0,2; K_1 = 0,25; K_2 = 0,8; K_{\psi} = 1$$

$$S_{II} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_{\psi} \cdot Q_B \cdot A \cdot \beta \cdot \eta_{II} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 98,1 \cdot 0,2 \cdot 1,7 \cdot 1 \approx 6,7 \text{ тК}$$

Сейсмик кучдан ҳосил бўладиган максимал эгувчи момент таянч нуқтаси С га тўғри келади (4.2а-расм):

$$M_{\max} = S_{II} \cdot H = 6700 \cdot 1500 = 1005 \cdot 10^4 \text{ кгк/см}$$

Устун кўндаланг кесимининг қаршилик моменти:

$$W_x = \frac{I_x}{0,5d} = \frac{6,2 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 250} \approx 5 \cdot 10^4 \text{ см}^3$$

Устун кўндаланг кесимидаги максимал (С нуктадаги) кучланиш:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{1005 \cdot 10^4}{5 \cdot 10^4} \approx 201 \text{ кгк/см}^2 \text{ бўлади.}$$

Максимал кучланишнинг топилган қиймати рухсат этилган кучланишдан кичик, яъни $\sigma_{\max} \leq [\sigma] = 1600 \text{ кгк/см}^2$. Бу эса сув босими минорасининг сейсмик мустақамлиги таъминланганлигини кўрсатади.

4.1.2-мисол

Темирбетон устунли сув босими минораси (4.1-расм)нинг ҳисобини кўриб чиқамиз. Миноранинг барча ўлчамларини 2.5.1-мисолда берилгандек қабул қиламиз. Темирбетон устуннинг кесими бундан мустасно бўлиб, унинг диаметрини $d=2,5$ м, деворининг қалинлигини $t=0,25$ м деб оламиз. Худуд сейсмиклиги ва грунт тоифаси ҳам аввалги мисолдагидек. Идишдаги сувнинг оғирлиги $Q_1=Q_c=98,1$ тк, темирбетон устуннинг оғирлиги

$$Q_2 = Q_y = \left(\frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi t^2}{4} \right) \cdot H \cdot \gamma_s = \left(\frac{3,14 \cdot (2,5)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot (0,25)^2}{4} \right) 15 \cdot 2,6 \approx 68,9 \text{ тк}$$

Идишдаги сувнинг оғирлиги билан устун оғирлиги бир-бирига яқин миқдорлар бўлгани учун темирбетонли миноранинг (4.1-расм) моделини икки массали система (4.3-расм) кўринишида танлаймиз.

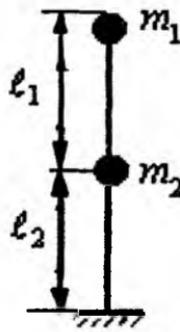
Бунда устун массаси $m_2 = \frac{Q_y}{g} = \frac{68,9}{9,81} = 7,2 \text{ тксек}^2/\text{м}$ ни $l_2=8$ м баландликда,

сув массаси $m_1 = \frac{Q_c}{g} = \frac{98,1}{9,81} = 10 \text{ тксек}^2/\text{м}$ ни $H=15$ м баландликда жойлаш-

тирамиз ($H=l_1+l_2=15$ м, бунда $l_1=7$ м).

Минора устуни кўндаланг кесимининг инерция моментини топамиз $I_x = 0,05(d^4 - d_1^4) = 0,05(2,5^4 - 2^4) = 1,15 \text{ м}^4$

Темирбетоннинг эластиклик модули $E_{\text{тб}}$ ни $E=E_{\text{тб}}=3,14 \cdot 10^6 \text{ тк/м}^2=3,14 \cdot 10^5 \text{ кгк/см}^2$ деб қабул қиламиз.



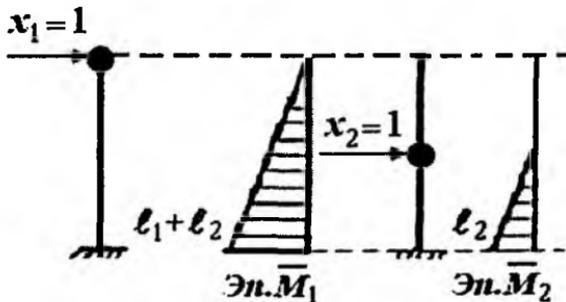
4.3-расм. Сув босими минораснинг икки массали модели

Бирлик куч $x_1=1$ ва $x_2=1$ лар таъсирида ҳосил бўладиган эгувчи момент эпюраларини кураимиз (4.4-расм) ҳамда Мор-Верешчагин усулидан фойдаланиб, шу кучлар ҳосил қиладиган кўчишларни аниқлаймиз:

$$\delta_{11} = \frac{(\ell_1 + \ell_2)^3}{3EI_x} = \frac{(15)^3}{3EI_x} = \frac{1125}{EI_x}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{\ell_2 \cdot \ell_2}{6EI_x} = [2(\ell_1 + \ell_2) + \ell_1] = \frac{8 \cdot 8}{6EI_x} [2(7 + 8) + 7] = \frac{395}{EI_x}$$

$$\delta_{22} = \frac{\ell_2 \ell_2 \ell_2}{3EI_x} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 8}{3EI_x} = \frac{171}{EI_x}$$



4.4-расм. Бирлик куч $x_1=1$ ва $x_2=1$ ҳосил қилган эгувчи моментларнинг эпюралари

Сув босими минорасининг икки массали модели учун хусусий тебранишнинг частотаси ω ни аниқлаш учун характеристик тенглама ту-замиз:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11} \cdot m_1 - \frac{1}{\omega^2} & \delta_{12} \cdot m_2 \\ \delta_{21} \cdot m_1 & \delta_{22} m_2 - \frac{1}{\omega^2} \end{vmatrix} = 0$$

$$D = \begin{vmatrix} \frac{1125 \cdot 10}{EI_x} - \frac{1}{\omega^2} & \frac{395 \cdot 7,2}{EI_x} \\ \frac{395 \cdot 10}{EI_x} & \frac{171 \cdot 7,2}{EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1125 \cdot 10}{EI_x} - \frac{1}{\omega^2} & \frac{2844}{EI_x} \\ \frac{3950}{EI_x} & \frac{1231}{EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \end{vmatrix} = 0$$

Аниқловчини очиб, иншоотнинг хусусий тебраниш частоталари ω ни аниқлайдиган тенгламага эга бўламиз:

$$\left(\frac{11250}{EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \right) \left(\frac{1231}{EI_x} - \frac{1}{\omega^2} \right) - \frac{3950 \cdot 2844}{EI_x \cdot EI_x} = 0$$

$$\left(\frac{1}{\omega^2} \right)^2 - \frac{12481}{EI_x} \frac{1}{\omega^2} + \frac{2614950}{(EI_x)^2} = 0;$$

$$\frac{1}{\omega^2} = z:$$

$$z^2 - \frac{12481}{EI_x} z + \frac{2614950}{(EI_x)^2} = 0$$

$$z_{1,2} = \frac{\frac{12481}{EI_x} \pm \sqrt{\left(\frac{12481}{EI_x} \right)^2 - 4 \cdot \frac{2614950}{(EI_x)^2}}}{2} = \frac{12481 \pm 12054}{2EI_x};$$

$$z_1 = \frac{12267}{EI_x}; \quad z_2 = \frac{213,5}{EI_x}$$

$$\frac{1}{\omega_1^2} = \frac{12267}{EI_x}; \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{EI_x}{12267}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{12267}} \approx 17,16 \text{ рад/сек}$$

$$\frac{1}{\omega_2^2} = \frac{213,5}{EI_x}; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{EI_x}{213,5}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{213,5}} \approx 130,5 \text{ рад/сек}$$

Иншоотнинг хусусий тебраниш даврлари эса:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 3,14}{17,16} = 0,366 \text{ сек}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2 \cdot 3,14}{130} = 0,05 \text{ сек} \quad \text{бўлади.}$$

Хусусий тебранишнинг меъёрланган (нормалаштирилган) i -шаклини аниқлаш учун қуйидаги тенгламани ечамиз:

$$\left[\begin{array}{cc} \frac{11250}{EI_x} - \frac{1}{\omega_i^2} & \frac{2844}{EI_x} \\ \frac{3950}{EI_x} & \frac{1231}{EI_x} - \frac{1}{\omega_i^2} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} u_{i1}^* \\ u_{i2}^* \end{array} \right\} = 0, \quad i = 1, 2$$

Бу умумий ҳолда олинган бир жинсли алгебраик тенгламалар системаси, ўзгармас кўпайтувчилар билан фарқланадиган, чиқиқли боғланган қатор ечимларга эга бўлади. Бу мавҳумликка барҳам бериш учун олинган ечимларни максимал амплитуда бўйича меъёрлаймиз, яъни олинган ечимнинг барча компонентларини максимал амплитудага бўламиз. У ҳолда ечимнинг натижаси бирдан кичик бўлган сонлар туркумидан (сонлар векторидан) иборат бўлади.

Тебранишнинг меъёрланган биринчи шаклини аниқлаш учун қуйидаги система ечилади:

$$\left[\begin{array}{cc} \frac{11250}{EI_x} - \frac{1}{\omega_1^2} & \frac{2844}{EI_x} \\ \frac{3950}{EI_x} & \frac{1231}{EI_x} - \frac{1}{\omega_1^2} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} u_{11}^* \\ u_{12}^* \end{array} \right\} = 0$$

Олинган ечимнинг (векторнинг) биринчи координатаси бўйича меъёрлаш, координаталари ($\omega_1 = 17,16$ рад/сек бўлганда) $u_{11}^* = 1,0$; $u_{12}^* = 0,35$ бўлган вектор $\{1,0; 0,35\}$ ни беради.

Қуйидаги система ечилиб, тебранишнинг иккинчи шакли учун юқоридаги каби ечимга эга бўламиз:

$$\left[\begin{array}{cc} \frac{11250}{EI_x} - \frac{1}{\omega_2^2} & \frac{2844}{EI_x} \\ \frac{3950}{EI_x} & \frac{1231}{EI_x} - \frac{1}{\omega_2^2} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} u_{21}^* \\ u_{22}^* \end{array} \right\} = 0$$

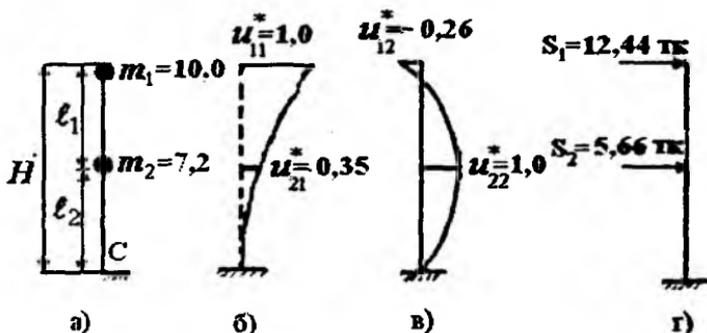
Олинган ечимни $u_{22}^* = 1,0$ бўйича меъёрлаймиз ($\omega_2 = 130$ рад/сек бўлганда), у ҳолда координаталар $u_{21}^* = -0,26$, $u_{22}^* = 1,0$ га, яъни $\{-0,26; 1,0\}$ тенг бўлган вектор ҳосил бўлади.

Шундай қилиб, $\begin{Bmatrix} u_{11}^* \\ u_{12}^* \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,0 \\ 0,35 \end{Bmatrix}$ вектор сув босими минорасининг

икки массали модели учун хусусий тебранишининг биринчи шак-

лини, $\begin{Bmatrix} u_{21}^* \\ u_{22}^* \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0,26 \\ 1,0 \end{Bmatrix}$ вектор эса иккинчи шаклини ифода этади

(4.5б,в-расм).



4.5-расм. Сув босими минорасининг икки массали модели (а), хусусий тебраниш шакллари (б, в), таъсир қилаётган сейсмик кучлар (г)

Ўлчамсиз параметрлар u_{ki}^* (4.5б,в-расм) нинг қийматларидан фойдаланиб, (3.32) формула ёрдамида тебранишларнинг шакл коэффициентлари η_{ki} ни аниқлаймиз:

$$\eta_{11} = \frac{u_{11}^* (m_1 u_{11}^* + m_2 u_{21}^*)}{m_1 u_{11}^{*2} + m_2 u_{21}^{*2}} = \frac{1,0 \cdot (10,0 \cdot 1,0 + 7,2 \cdot 0,35)}{10,0 \cdot 1,0^2 + 7,2 \cdot 0,35^2} = \frac{12,52}{10,88} = 1,15$$

$$\eta_{21} = \frac{u_{21}^* (m_1 u_{11}^* + m_2 u_{21}^*)}{m_1 u_{11}^{*2} + m_2 u_{21}^{*2}} = \frac{0,35 \cdot (10,0 \cdot 1,0 + 7,2 \cdot 0,35)}{10,0 \cdot 1,0^2 + 7,2 \cdot 0,35^2} = \frac{4,38}{10,88} = 0,40$$

$$\eta_{12} = \frac{u_{12}^* (m_1 u_{12}^* + m_2 u_{22}^*)}{m_1 u_{12}^{*2} + m_2 u_{22}^{*2}} = \frac{-0,26 \cdot (10,0 \cdot (-0,26) + 7,2 \cdot 1,0)}{10,0 \cdot (-0,26)^2 + 7,2 \cdot 1,0^2} = \frac{1,19}{7,88} = -0,15$$

$$\eta_{22} = \frac{u_{22}^* (m_1 u_{12}^* + m_2 u_{22}^*)}{m_1 u_{12}^{*2} + m_2 u_{22}^{*2}} = \frac{1,0 \cdot (10,0 \cdot (-0,26) + 7,2 \cdot 1,0)}{10,0 \cdot (-0,26)^2 + 7,2 \cdot 1,0^2} = \frac{4,6}{7,88} = 0,58$$

3.16-расмдаги графикдан фойдаланиб аниқланган тебраниш даврлари $T_1=0,366$ сек ва $T_2=0,05$ сек га мос равишда биринчи тоифали грунт учун динамиклик коэффициентлар $\beta_1=2,73$ ва $\beta_2=3$ ни аниқлаймиз.

Сейсмик кучни топиш формуласи (3.35) дан фойдаланиб тебранишнинг турли шакллари бўйича ҳар бир массада вужудга келадиган сейсмик кучларнинг қийматларини аниқлаймиз, яъни:

$$S_{ki} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_\psi \cdot Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki}$$

Бу формуладаги A , K_1 , K_2 , K_ψ коэффициентларнинг қийматлари аввалги мисолда берилган ва улар қуйидаги қийматларга тенг:

$$A = 0,2; K_1 = 0,25; K_2 = 0,8; K_\psi = 1, \beta_1(T_1) = 2,73; \beta_2(T_2) = 3,0$$

Барча аниқланган қийматларни юқоридаги формулага қўйиб, ҳар бир тебраниш шаклида ҳар бир массага таъсир қиладиган сейсмик куч қийматларини аниқлаймиз:

$$S_{11} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 98,1 \cdot 0,2 \cdot 2,73 \cdot 1,15 = 12,32 \text{ тк}$$

$$S_{21} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 68,9 \cdot 0,2 \cdot 2,73 \cdot 0,4 = 3,0 \text{ тк}$$

$$S_{12} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 98,1 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot (-0,15) = -1,76 \text{ тк}$$

$$S_{22} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 68,9 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot 0,58 = 4,8 \text{ тк}$$

m_1 ва m_2 массага тўғри келувчи сейсмик кучнинг ўрта квадрат қийматларини аниқлаймиз:

$$S_1 = \sqrt{S_{11}^2 + S_{12}^2} = \sqrt{12,32^2 + (-1,76)^2} = 12,44 \text{ тк}$$

$$S_2 = \sqrt{S_{21}^2 + S_{22}^2} = \sqrt{3,0^2 + 4,8^2} = 5,66 \text{ тк}$$

Иншоот билан заминнинг туташув нуқтаси (С) да ҳосил бўладиган максимал эгувчи момент қуйидаги қийматга тенг бўлади:

$$M_{\max} = S_1 \cdot H + S_2 \ell_2 = 12,44 \cdot 15 + 5,66 \cdot 8 = 231,88 \text{ тсм} = 23188000 \text{ кгкм}$$

Иншоот билан заминнинг туташган жойидаги энг катта кучланиш-ни қуйидаги формула орқали аниқлаш мумкин:

$$\sigma_{\frac{\max}{\min}} = -\frac{N}{F} \pm \frac{M_{\max}}{W_x}$$

Бу ердаги F, W_x – минора устуни қўндаланг кесимининг юзи ва қаршилик моменти.

$$F = \frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 1,77 \text{ м}^2$$

$$W_x = \frac{I_x}{\frac{d}{2}} = \frac{2I_x}{d} = \frac{2 \cdot 1,15}{2,5} = 0,92 \text{ м}^3$$

$$\sigma_{\frac{\max}{\min}} = -\frac{167}{1,77} \pm \frac{231,88}{0,92} = -94,4 \pm 252 = \left\{ \begin{array}{l} 157,6 \text{ ткг/м}^2 \\ -346,4 \text{ ткг/м}^2 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 15,8 \text{ кгк/см}^2 \\ -34,6 \text{ кгк/см}^2 \end{array} \right\}$$

Ҳисоб натижалари шуни кўрсатадики, кўриб ўтилган (хавфли) кесим (С нуқта)даги чўзилиш кучланиши унча катта эмас, бинобарин, бетон устун арматурасиз ҳам етарли мустаҳкамликка эга.

Шундай қилиб, сув босими минорасининг зилзилабардошлиги 8 баллик зилзила учун таъминланган, чунки минора устунда вужудга келадиган чўзилиш кучланишининг энг катта қиймати $\sigma_{\max} = \sigma_{\text{чўз}} = 15,8 \text{ кгк/см}^2$ бўлиб, рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = 20 \div 40 \text{ кгк/см}^2$ дан камдир.

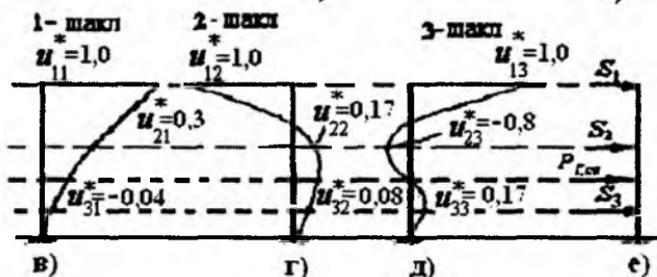
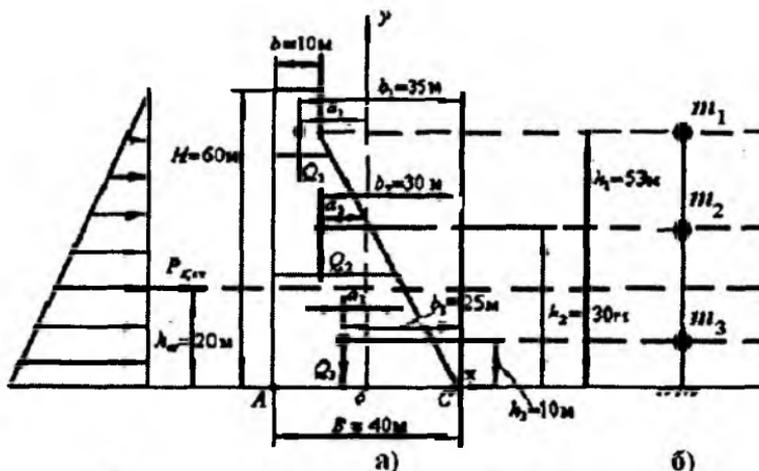
4.2. Гравитацион тўғонларнинг ҳисоби

Мисол тариқасида Андижон шаҳри яқинида қурилиши мўлжалланган гравитацион тўғоннинг ҳисоби билан танишиб чиқамиз. Тўғоннинг ўлчамлари 4.6а-расмда келтирилган. Асос грунтининг тоифаси – биринчи. Ишлатиладиган бетон синфи – 20. Андижон шаҳри 8 баллик сейсмик зонага киради. Иншоотнинг муҳимлик даражасини эътиборга олиб, уни 9 баллга ҳисоблашимиз керак.

Тўғоннинг кўндаланг кесимини уч қисмга (бўлакка) бўлиб, унинг ҳисобий схемасини уч массали система кўринишида қабул қиламиз (4.6б-расм). Қисмларнинг юзалари мос равишда: $F_1 = 250 \text{ м}^2$, $F_2 = 525 \text{ м}^2$, $F_3 = 760 \text{ м}^2$ ни ташкил этади.

Ҳар бир қисмнинг оғирлиги (тўғон узунлиги бўйлаб бир погон метрнинг оғирлиги) $Q_n = \gamma_6 F_n \cdot 1$, орқали аниқланади. Бу ерда γ_6 – бетоннинг солиштирма оғирлиги бўлиб, қиймати $2,6 \text{ ткг/м}^3$ га тенг.

Демак, тегишли қисмларнинг оғирлиги мос равишда: $Q_1 = 650 \text{ тк}$, $Q_2 = 1360 \text{ тк}$, $Q_3 = 1820 \text{ тк}$ бўлади. Ҳар бир қисм массаси $\left(m_n = \frac{Q_n}{g} \right)$ га кўра: $m_1 = 66,0 \text{ тксек}^2/\text{м}$, $m_2 = 138,6 \text{ тксек}^2/\text{м}$, $m_3 = 185,5 \text{ тксек}^2/\text{м}$ ни ташкил этади.



4.6-расм. Гравитацион тўғоннинг схемаси (а), уч массали модели (б), хусусий тебраниш шакллари (в,г,д) ва унга таъсир қилаётган кучлар (е)

Гравитацион тўғоннинг хусусий тебраниш даврлари ҚМҚ тавсия этган формула бўйича тақрибий аниқланади, яъни:

$$T_i = \frac{2\pi H}{\sqrt{\frac{a_i}{E_\delta g \gamma_\delta}}} \quad (4.1)$$

Бу ерда: $E_\delta = 2,5 \cdot 10^5 \text{ кгк/см}^2$ – бетоннинг эластиклик модули, $H=6000 \text{ см}$ – тўғоннинг баландлиги, a_i – коэффициент бўлиб, қийматлари $a_1=1,25$; $a_2=2,8$; $a_3=4,5$ деб олинади.

Тўғоннинг хусусий тебраниш даврларини (4.1) формула орқали топамиз.

$$T_1 = \frac{\frac{2\pi H}{a_1}}{\sqrt{\frac{E_{\delta} g}{\gamma_{\delta}}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6000}{\sqrt{\frac{1,25}{2,5 \cdot 10^5 \cdot 981}}} = 0,098 \text{сек}, \quad T_2 = \frac{\frac{2\pi H}{a_2}}{\sqrt{\frac{E_{\delta} g}{\gamma_{\delta}}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6000}{\sqrt{\frac{2,8}{2,5 \cdot 10^5 \cdot 981}}} = 0,044 \text{сек.}$$

$$T_3 = \frac{\frac{2\pi H}{a_3}}{\sqrt{\frac{E_{\delta} g}{\gamma_{\delta}}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6000}{\sqrt{\frac{4,5}{2,5 \cdot 10^5 \cdot 981}}} = 0,027 \text{сек}$$

Топилган даврлар асосида биринчи тоифали грунтлар учун 3.16-расмдаги графикдан ушбу иншоот учун динамик коэффициентнинг қуйидаги қийматларини аниқлаймиз: $\beta_1(T_1)=3$, $\beta_2(T_2)=3$, $\beta_3(T_3)=3$.

Хусусий тебраниш шакллари (4.6в,г,д-расм) орқали (3.32) формула ёрдамида тебранишларнинг шакл коэффициентлари η_{ki} ни аниқлаймиз (ҚМҚ да, одатда, тебраниш шакллари x_{ki} ҳарфи билан белгиланади, яъни $x_{ki} = u_{ki}^*$, бу ерда k – массанинг номери, i – тебраниш шаклининг номери).

Одатда, иншоотларнинг тебраниш даврлари ва шакллари танлаб олинган ҳисоб схемаси асосида мураккаб тенгламаларнинг ечимлари орқали аниқланади (2-боб ва 3.6-бўлимга қаранг). Биз кўраётган мисолимизда тўғоннинг тебраниш даврларини (4.1) тақрибий формула орқали топиб, хусусий тебраниш шаклларини эса шундай кўриниш ва қийматларга эга бўлади деб қабул қиляпмиз (4.6в,г,д-расмлар).

Тебранишнинг биринчи шакли учун 4.6в-расмдан ($u_{11}^* = 1,0$; $u_{21}^* = 0,3$; $u_{31}^* = 0,04$) қийматларни олиб,

$$\eta_{k1} = \frac{u_{k1}^* (m_1 u_{11}^* + m_2 u_{21}^* + m_3 u_{31}^*)}{m_1 u_{11}^{*2} + m_2 u_{21}^{*2} + m_3 u_{31}^{*2}}$$

ҳисобласак, у ҳолда

$$m_1 u_{11}^* + m_2 u_{21}^* + m_3 u_{31}^* = 66,0 \cdot 1,0 + 138,6 \cdot 0,3 + 185,5 \cdot 0,04 = 115,0$$

$$m_1 u_{11}^{*2} + m_2 u_{21}^{*2} + m_3 u_{31}^{*2} = 66,0 \cdot 1,0^2 + 138,6 \cdot 0,3^2 + 185,5 \cdot 0,04^2 = 78,8$$

$$\eta_{11} = \frac{u_{11}^* \cdot 115,0}{78,8} = \frac{1,0 \cdot 115,0}{78,8} = 1,46$$

$$\eta_{21} = \frac{u_{21}^* \cdot 115,0}{78,8} = \frac{0,3 \cdot 115,0}{78,8} = 0,44$$

$$\eta_{31} = \frac{u_{31}^* \cdot 115,0}{78,8} = \frac{0,04 \cdot 115,0}{78,8} = 0,058$$

бўлади.

Тебранишнинг иккинчи шакли учун 4.6-расмдан ($u_{12}^* = -1,0$; $u_{22}^* = 0,17$; $u_{32}^* = 0,08$) қийматларни олиб,

$$\eta_{k2} = \frac{u_{k2}^* (m_1 u_{12}^* + m_2 u_{22}^* + m_3 u_{32}^*)}{m_1 u_{12}^{*2} + m_2 u_{22}^{*2} + m_3 u_{32}^{*2}}$$

ҳисобласак, у ҳолда

$$m_1 u_{12}^* + m_2 u_{22}^* + m_3 u_{32}^* = 66,0 \cdot (-1,0) + 138,6 \cdot 0,17 + 185,5 \cdot 0,08 = -27,6$$

$$m_1 u_{12}^{*2} + m_2 u_{22}^{*2} + m_3 u_{32}^{*2} = 66,0 \cdot (-1,0)^2 + 138,6 \cdot 0,17^2 + 185,5 \cdot 0,08^2 = 71,2$$

$$\eta_{12} = \frac{u_{12}^* \cdot (-27,6)}{71,2} = \frac{-1,0 \cdot (-27,6)}{71,2} = 0,39$$

$$\eta_{22} = \frac{u_{22}^* \cdot (-27,6)}{71,2} = \frac{0,17 \cdot (-27,6)}{71,2} = -0,066$$

$$\eta_{32} = \frac{u_{32}^* \cdot (-27,6)}{71,2} = \frac{0,08 \cdot (-27,6)}{71,2} = -0,031$$

бўлади.

Тебранишнинг учинчи шакли учун 4.6-расмдан ($u_{13}^* = 1,0$; $u_{23}^* = -0,08$; $u_{33}^* = 0,17$) қийматларни олиб,

$$\eta_{k3} = \frac{u_{k3}^* (m_1 u_{13}^* + m_2 u_{23}^* + m_3 u_{33}^*)}{m_1 u_{13}^{*2} + m_2 u_{23}^{*2} + m_3 u_{33}^{*2}}$$

ҳисобласак, у ҳолда

$$m_1 u_{13}^* + m_2 u_{23}^* + m_3 u_{33}^* = 66,0 \cdot 1,0 + 138,6 \cdot (-0,08) + 185,5 \cdot 0,17 = 86,43$$

$$m_1 u_{13}^{*2} + m_2 u_{23}^{*2} + m_3 u_{33}^{*2} = 66,0 \cdot 1,0^2 + 138,6 \cdot (-0,08)^2 + 185,5 \cdot 0,17^2 = 72,25$$

$$\eta_{13} = \frac{u_{13}^* \cdot 86,43}{72,25} = \frac{0,1 \cdot 86,43}{72,25} = 1,20$$

$$\eta_{23} = \frac{u_{23} \cdot 86,43}{72,25} = \frac{-0,08 \cdot 86,43}{72,25} = -0,096$$

$$\eta_{33} = \frac{u_{33} \cdot 86,43}{72,25} = \frac{0,17 \cdot 86,43}{72,25} = 0,20$$

бўлади.

m_1 , m_2 ва m_3 массаларга (4.6б-расм) таъсир этувчи сейсмик кучларни (3.35) формула ёрдамида тебраниш шакллари бўйича аниқлаймиз.

Бунинг учун ҚМҚ бўйича (3.35) формулага кирадиган коэффициентларни аниқлаб оламиз, яъни баландлиги $H=60$ м гача бўлган иншоотлар учун $K_2=0,8$; бетон иншоотлар учун $K_\psi=0,8$; 9 баллик зона учун $A=0,4$; $K_1=0,25$ бўлади.

Тебранишнинг биринчи шакли (4.6в-расм) бўйича иншоотга таъсир қиладиган сейсмик кучларнинг қийматлари:

$$S_{11} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 650 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot 1,46 = 182,2 \text{ тк}$$

$$S_{21} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1360 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot 0,44 = 114,9 \text{ тк}$$

$$S_{31} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1820 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot 0,057 = 20,3 \text{ тк}$$

Тебранишнинг иккинчи шакли (4.6г-расм) бўйича иншоотга таъсир қиладиган сейсмик кучларнинг қийматлари:

$$S_{12} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 650 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot 0,39 = 48,7 \text{ тк}$$

$$S_{22} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1360 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot (-0,066) = -17,2 \text{ тк}$$

$$S_{32} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1820 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot (-0,031) = -10,8 \text{ тк}$$

Тебранишнинг учинчи шакли (4.6д-расм) бўйича иншоотга таъсир қиладиган сейсмик кучларнинг қийматлари:

$$S_{13} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 650 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot 1,20 = 149,8 \text{ тк}$$

$$S_{23} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1360 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot (-0,096) = -25,1 \text{ тк}$$

$$S_{33} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1820 \cdot 0,4 \cdot 3 \cdot 0,20 = 69,9 \text{ тк}$$

Ҳар бир массага таъсир этувчи сейсмик кучларнинг ўрта квадрат қийматларини аниқлаймиз:

$$S_1 = \sqrt{S_{11}^2 + S_{12}^2 + S_{13}^2} = \sqrt{(182,2)^2 + (48,7)^2 + (149,8)^2} = 240,8 \text{ тк}$$

$$S_2 = \sqrt{S_{21}^2 + S_{22}^2 + S_{23}^2} = \sqrt{(114,9)^2 + (-17,2)^2 + (-25,1)^2} = 118,9 \text{ тк}$$

$$S_3 = \sqrt{S_{31}^2 + S_{32}^2 + S_{33}^2} = \sqrt{(20,3)^2 + (-10,8)^2 + (69,9)^2} = 73,6 \text{ тк}$$

Гравитацион тўғонларни ҳисоблашда сейсмик кучлардан ташқари, сувнинг гидростатик ва гидродинамик босимларидан (кўшилган массадан) вужудга келувчи горизонталь кучларни ҳам ҳисобга олиш зарур. Бу горизонталь кучларнинг қиймати сув ҳавзасининг чуқурлигига боғлиқ бўлади. Гидродинамик босимдан ҳосил бўладиган горизонталь кучнинг қиймати сейсмик куч қиймати S_i ни K_{II} коэффициентга кўпайтириш орқали ($S_i \cdot K_{II}$) топилади. Бу ерда $K_{II} = (1,1 \div 1,3)$ бўлади.

Шунинг учун, иншоот мустаҳкамлигига баҳо беришда ҳисобий схемага (4.6е-расм) сейсмик, гидростатик ва гидродинамик босимлардан ҳосил бўладиган кучларни ҳам таъсир эттиришимиз керак бўлади.

Гидростатик босимдан тўғоннинг бир погон метрига таъсир қиладиган горизонталь кучнинг қиймати қуйидаги формуладан аниқланади:

$$P_{г.ст} = \frac{1 \cdot \gamma_s H^2}{2} = \frac{1 \cdot 1 \cdot (60)^2}{2} = 1800 \text{ тк}$$

Бу ерда $\gamma_s = 1 \text{ тк/м}^3$ – сувнинг солиштирма оғирлиги.

Тўғон ҳолатини унга таъсир қилаётган барча кучлар таъсири натижасида баҳолаш учун, аввало, унинг энг хавфли нуқталарида ҳосил бўлиши мумкин бўлган хавфли кучланишларни аниқлаш керак бўлади. Бундай хавфли ҳолат A ва C нуқталар бўлиши мумкин, чунки бу нуқталар тўғон билан замин туташган чегарада жойлашган бўлиб, уларда бир вақтнинг ўзида эгилиш билан сиқилиш, яъни мураккаб қарашлик вужудга келади. Бу ҳолда A ва C нуқталардаги (σ_A, σ_C) кучланишлар қуйидаги формула ёрдамида топилади:

$$\sigma_{A,C} = \sigma_{\min} = -\frac{N}{F} \pm \frac{M_x}{W_x} \quad (4.2)$$

Бу ерда N – тўғон оғирлигидан ҳосил бўлган ички сиқувчи куч:

$$N = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 650 + 1360 + 1820 = 3830 \text{ тк.}$$

M_x – пойдевор маркази (0 нуқта) га нисбатан горизонталь ва вертикал кучлардан олинган эгувчи момент бўлиб, у қуйидаги тартибда аниқланади ($a_1 = 20 \text{ м}$, $a_2 = 15 \text{ м}$, $a_3 = 4 \text{ м}$):

$$\begin{aligned} M_x &= K_{II} (S_1 h_1 + S_2 h_2 + S_3 h_3) + P_{г.ст} \cdot h_{г.ст} - Q_1 a_1 - Q_2 a_2 - Q_3 a_3 = \\ &= 1,25 \cdot (240,8 \cdot 53 + 118,9 \cdot 30 + 73,6 \cdot 10) + 1800 \cdot 20 - 650 \cdot 15 - \end{aligned}$$

$$-1360 \cdot 10 - 1820 \cdot 4 = 26701,8 \text{ ткм}$$

Бу мисол учун тўғон кўндаланг кесимининг таг юзаси $F_{II} = B \times l = 40 \times 1 = 40 \text{ м}^2$ бўлиб, кўндаланг кесим тагининг қаршилик моменти эса

$$W_x = I \cdot B^2 / 6 = \frac{1 \cdot 40^2}{6} = 267 \text{ м}^3$$

га тенг бўлади.

Демак, тўғоннинг A ва C нуқталарида (4.6а-расм) унга таъсир қилаётган барча кучлардан вужудга келадиган кучланишлар қуйидаги микдорларга тенг бўлади:

$$\sigma_A = -\frac{N}{F} + \frac{M_x}{W_x} = -\frac{3830}{40} + \frac{26701,8}{268} = 4,25 \text{ тс/м}^2 = 0,425 \text{ кгк/см}^2 \text{ (чўзилиш)}$$

$$\sigma_C = -\frac{N}{F} - \frac{M_x}{W_x} = -\frac{3830}{40} - \frac{26701,8}{268} = -195,8 \text{ тс/м}^2 = -19,6 \text{ кгк/см}^2 \text{ (сиқилиш)}$$

Ҳисоб натижаларига кўра, тўғоннинг A нуқтасида вужудга келадиган кучланишнинг энг катта қиймати бетон учун чўзилишда рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = \div 40 \text{ кгк/см}^2$ дан кам чиқди. Бу эса иншоотнинг энг хавфли нуқтасида ҳам тўғоннинг мустаҳкамлиги таъминланганлигини билдиради.

Агар, сейсмик кучлар ҳисобга олинмаганда, M_x момент қуйидаги формуладан аниқланар эди:

$$M_x = P_{\text{Г.СТ}} \cdot h_{\text{СТ}} - Q_1 a_1 - Q_2 a_2 - Q_3 a_3 = 1800 \cdot 20 - 650 \cdot 15 - 1370 \cdot 10 - 1820 \cdot 4 = 5370 \text{ ткм}$$

Бу ҳолда A ва C нуқталардаги кучланишлар қуйидаги қийматларга эга бўлади:

$$\sigma_A = -\frac{N}{F} + \frac{M_x}{W} = -\frac{3830}{40} + \frac{5370}{267} = -75,6 \text{ тс/м}^2 = -7,6 \text{ кгк/см}^2 \text{ (сиқилиш)}$$

$$\sigma_C = -\frac{N}{F} - \frac{M_x}{W} = -\frac{3830}{40} - \frac{5370}{267} = -115,9 \text{ тс/м}^2 = -11,6 \text{ кгк/см}^2 \text{ (сиқилиш)}$$

Ҳисоб натижалари шуни кўрсатадики, сейсмик кучлар таъсири ҳисобга олинганда тўғонда ҳосил бўладиган максимал кучланишларнинг қиймати деярли 2 баробар ошади. Тўғоннинг контакт зонасида эса унча катта бўлмаган бўлса ҳам (яъни $0,425 \text{ кгк/см}^2$ бўлган), чўзилиш кучланиши пайдо бўлади. Демак, бу кўриб чиққан тўғонимизнинг мустаҳкамлиги етарли экан.

Энди, сейсмик кучлар таъсирида тўғоннинг C нуктасига нисбатан ағдарилишга бўлган устуворлигини текшираемиз.

Сейсмик кучларни ҳисобга олган ҳолда ағдарувчи момент куйидагича аниқланади:

$$M_{\text{авд}}^{\text{сейс.}} = K_{\text{II}}(S_1 h_1 + S_2 h_2 + S_3 h_3) + P_{\text{СТ}} \cdot h_4 = \\ = 1,25(240,8 \cdot 53 + 118,9 \cdot 30 + 73,6 \cdot 10) + 1800 \cdot 20 = 57331,75 \text{ ткм};$$

ушлаб қолувчи момент эса:

$$M_{\text{уш}} = Q_1 b_1 + Q_2 b_2 + Q_3 b_3 = 650 \cdot 35 + 1360 \cdot 30 + 1820 \cdot 25 = 109050 \text{ ткм}.$$

Сейсмик кучлар таъсирини ҳисобга олиб, тўғоннинг устуворлик коэффицентини аниқласак

$$K_{\text{уст}} = \frac{M_{\text{авд}}^{\text{сейс.}}}{M_{\text{уш}}^{\text{C}}} = \frac{109050}{57331,75} \approx 1,9$$

бўлади.

Демак, тўғоннинг устуворлиги ҳам таъминланган экан.

Агар тўғоннинг C нуктасига нисбатан ағдарилишга бўлган устуворлик коэффицентини сейсмик кучларни ҳисобга олмасдан аниқлайдиган бўлсак, у ҳолда ағдарувчи момент

$$M_{\text{авд}} = P_{\text{Г.СТ}} \cdot h_4 = 1800 \cdot 20 = 36000 \text{ ткм бўлиб,}$$

устуворлик коэффицентини $K_{\text{уст}} = \frac{M_{\text{авд}}}{M_{\text{уш}}} = \frac{109050}{36000} \approx 3$ га тенг бўлади.

Бундан кўринадики, сейсмик кучлар таъсири устуворлик коэффицентининг қийматини ҳам 2 баробарга яқин пасайтиради.

Агар тўғоннинг зилзилабардошлиги ва устуворлиги етарли бўлмаса, у ҳолда тўғон иншоотининг тагини катталаштириш ва унинг ҳолатини ўзгартириш керак, токи хавфли нукталардаги чўзилиш кучланишлари камайиб, иншоот туби замин билан тўла биргаликда ишласин.

4.3. Грунтли тўғонларнинг ҳисоби

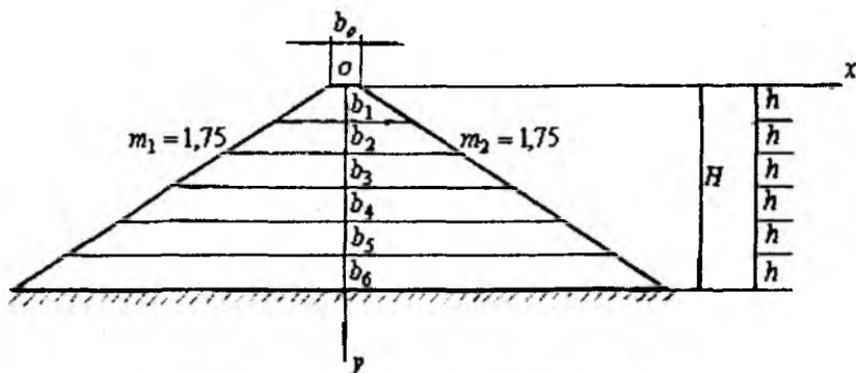
Мисол тариқасида сейсмиклиги 7 балл бўлган ҳудудда қуриладиган, баландлиги $H=70$ м бўлган грунтли тўғоннинг ҳисоби билан танишиб чиқамиз (4.7-расм). Тўғоннинг юқори қисмини кенглиги $b_o=10$ м, қияликлари $m_1=m_2=1,75$. Иншоот тоифаси II синф. Замин

грунги тоифаси ҳам II бўлсин. Тўғон материали (грунт)нинг характеристикаларини куйидагича деб қарасак, яъни: ўртача солишгирма оғирлик $\gamma=1,9$ тк/м³, ўртача силжиш модули $G=3000$ кгк/см², Пуассон коэффиценти $\mu=0,25$; боғланиш (сцепления) коэффиценти $C=0,8$ кгк/см² ва ички ишқаланиш бурчаги $\varphi=30^\circ$.

Одатда, грунтли тўғонлар учун ҳисоб ишлари тўғоннинг 1 погон метр қалинликдаги қисми учун бажарилади, чунки бундай тўғонлар текис деформацияланиш ҳолатида ишлайди.

Ҳисоб жараёнини бажариш учун тўғоннинг кўндаланг профилини тенг 6 та бўлакка (отсекка) бўлиб (бундан кўп ёки кам қисмларга ҳам бўлиш мумкин), 6 массали ҳисобий схемани қабул қиламиз.

Бу ҳолда, ҳар бир бўлакнинг (отсекнинг) баландлиги $h = \frac{H}{6} = 11,67$ м бўлади.



4.7-расм. Грунтли тўғоннинг схемаси

Ҳар бир бўлак оғирлиги куйидагича топилади, яъни

$$Q_k = F_k \cdot 1 \cdot \gamma$$

Бу ерда: F_k – ҳар бир бўлак юзаси ($k=1,2,\dots,6$); γ – тўғон материалнинг солишгирма оғирлиги; 1 – тўғоннинг бир погон метр қалинлигини билдиради.

Ҳар бир бўлак юзаси F_k трапециянинг юзи сифатида куйидаги формула орқали аниқланади:

$$F_k = \frac{b_{k-1} + b_k}{2} h$$

Бунда: $h=11,67$ м; $b_0=10$ м; $b_1=50,83$ м; $b_2=91,67$ м; $b_3=132,5$ м; $b_4=173,34$ м; $b_5=214,7$ м; $b_6=255,0$ м бўлиб,

$$F_1 = \frac{10+50,83}{2} \cdot 11,67 = 354,8\text{м}^2; \quad F_2 = \frac{50,83+91,67}{2} \cdot 11,67 = 831,3\text{м}^2;$$

$$F_3 = \frac{91,67+132,5}{2} \cdot 11,67 = 1307,7\text{м}^2; \quad F_4 = \frac{132,5+173,34}{2} \cdot 11,67 = 1784,1\text{м}^2;$$

$$F_5 = \frac{173,34+214,17}{2} \cdot 11,67 = 2261,1\text{м}^2; \quad F_6 = \frac{214,17+255,0}{2} \cdot 11,67 = 2737,6\text{м}^2$$

бўлади.

Ҳар бир бўлакнинг оғирлиги эса:

$$Q_1 = 674,1 \text{ тк}, \quad Q_2 = 1579,5 \text{ тк}, \quad Q_3 = 2484,6 \text{ тк},$$

$$Q_4 = 3389,8 \text{ тк}, \quad Q_5 = 4296,1 \text{ тк}, \quad Q_6 = 5201,4 \text{ тк}$$

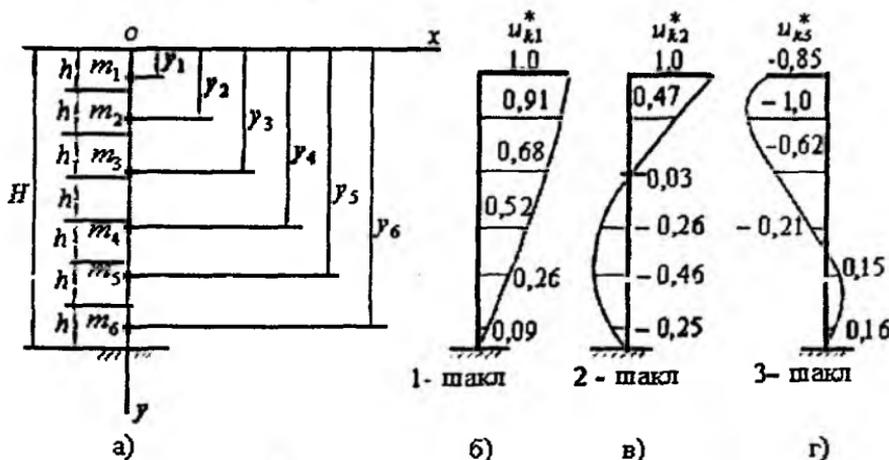
га тенг бўлади.

Ҳар бир бўлак оғирлик марказининг координатлари қуйидаги формула орқали аниқланиб,

$$y_k = h(k-1) + \frac{0,5hb_{k-1} + 0,33(b_k - b_{k-1})h}{b_{k-1} + 0,5(b_k - b_{k-1})}, \quad (k=1,2,\dots,6)$$

улар қуйидаги қийматларга эга бўлади (4.8а-расм):

$$y_1 = 7,1 \text{ м}, \quad y_2 = 18,0 \text{ м}, \quad y_3 = 29,5 \text{ м}, \quad y_4 = 41,1 \text{ м}, \quad y_5 = 52,7 \text{ м}, \quad y_6 = 64,3 \text{ м}$$



4.8-расм. Грунтги тўғоннинг олтига массали модели (а) ва хусусий тебраниш шакллари (б,в,г)

Агар грунтли тўғонни тақрибий ҳисоблашда силжиш понаси схе-
маси қўлланилса, у ҳолда тебранишнинг параметрлари силжиш де-
формациясига боғлиқ бўлади. Бу ҳолда тўғоннинг хусусий тебраниш
даврларини (агар $b_0 > 4\text{м}$ бўлса, b_0 – тўғоннинг юқори қисми кенлиги)
қуйидаги формула орқали аниқлаш мумкин:

$$T_i = \frac{2\pi H}{a_i V_s} \quad (4.3)$$

Бу ерда: H – тўғон баландлиги, a_i – хусусий тебраниш шаклла-
ри (формалари) номерига боғлиқ бўлган коэффициент бўлиб, унинг
қийматлари: $a_1=2,4$; $a_2=5,52$; $a_3=8,6$ деб олинади. V_s – кўндаланг
тўлқиннинг тарқалиш тезлиги. Унинг қиймати грунтнинг механик
хоссаларига боғлиқ бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$V_s = \sqrt{\frac{G \cdot g}{\gamma}} = \sqrt{\frac{3000 \cdot 981}{0,0019}} = 39356,7 \text{ см/сек} = 393,6 \text{ м/сек}$$

Одатда, иншоотларнинг хусусий тебраниш даврлари ва шаклла-
ри танлаб олинган ҳисобий схема асосида мураккаб тенгламаларнинг
ечимлари орқали аниқланади (2-боб ва 3.6-бўлимга қаранг). Биз кўраёт-
ган мисолимизда тўғоннинг тебраниш даврларини тақрибий форму-
ла (4.3) орқали топиб, тебраниш шаклларини эса шундай кўриниш ва
қийматларга эга бўлади, деб қабул қилаёلمиз (4.8б, в, г-расмлар).

Демак, (4.3) га асосан тўғоннинг хусусий тебраниш даври:

$$T_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 70}{2,4 \cdot 393,6} = 0,463 \text{ сек}$$

$$T_2 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 70}{5,52 \cdot 393,6} = 0,202 \text{ сек}$$

$$T_3 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 70}{8,65 \cdot 393,6} = 0,13 \text{ сек}$$

бўлади.

Шунга асосан, иккинчи категорияли (тоифали) грунтларда
3.16-расмдаги графикдан ушбу иншоот учун динамик коэффициент-
ни (биринчи шакл учун) аниқласак:

$$\beta_1(T_1) = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,463} = 2,15 \text{ бўлиб, бошқа шакллар учун эса}$$

$$\beta_2(T_2) = 3, \quad \beta_3(T_3) = 3 \text{ га тенг бўлади.}$$

Бўлак		1	2	3	4	5	6
Оғирлиги, тк	Q_k	674,1	1579,5	2484,6	3389,8	4296,1	5201,4
Массаси, тксек ² /м	m_k	68,7	161,0	253,3	345,5	437,9	530,2
Меъёрашга тирилган хусусий тебраниш шаклининг амплитудаси	u_{k1}^*	1,0	0,91	0,68	0,52	0,26	0,09
	u_{k2}^*	1,0	0,47	0,03	-0,26	-0,46	-0,25
	u_{k3}^*	-0,85	-1,0	-0,62	-0,21	0,15	0,16
Тебранишларнинг шакл коэффициентлари	η_{k1}	1,63	1,48	1,10	0,84	0,42	0,15
	η_{k2}	-1,07	-0,50	-0,03	0,28	0,49	0,27
	η_{k3}	-0,73	-0,86	-0,53	-0,18	0,13	0,14
Ҳар бир шаклда ҳар бир массага тўғри келувчи сейсмик кучлар, тк	S_{k1}	37,2	79,15	92,54	96,41	61,10	30,11
	S_{k2}	-34,08	-37,31	-3,52	44,85	99,46	66,35
	S_{k3}	-23,25	-64,18	-62,22	-28,83	26,38	34,40
Ҳар бир массага таъсир қиладиган ўрта квадрат сейсмик кучлар, тк	S_k	55,55	108,51	111,56	110,17	119,67	80,57
Ҳар бир массага таъсир қиладиган гидро-статик кучлар, тк	P_k	68,1	204,3	340,5	476,7	612,9	749,0

Тебраниш шакллари (4.8б,в,г-расмлар) дан фойдаланиб, (3.32) формула ёрдамида тебранишларнинг шакл коэффициентлари η_{ki} ни аниқлаймиз, яъни:

$$\eta_{ki} = \frac{u_{ki}^* \sum_{k=1}^6 m_k u_{ki}^*}{\sum_{k=1}^6 m_k u_{ki}^{*2}}$$

η_{ki} ни ҳисоблаш натижалари 4.1-жадвалда берилган.

Ҳар бир бўлакка тўғри келадиган сейсмик куч S_M ни (3.35) формула орқали аниқлаймиз, яъни:

$$S_M = K_1 \cdot K_2 K_\psi \cdot Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot \eta_M$$

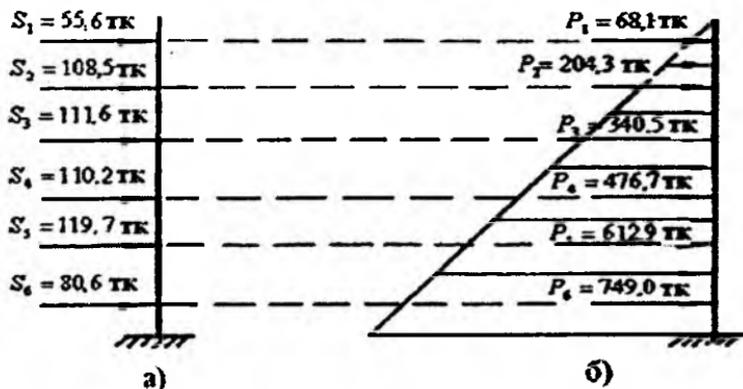
Формула таркибидаги коэффициентларнинг қийматлари: $A=0,1$ (7 баллик зона учун), $K_2=0,9$ (тўғон баландлиги $H=60 \div 100$ м бўлгани

учун), $K_{\psi}=0,7$ (7 баллик зона учун), $K_I=0,25$ деб қабул қилиниб, S_{ki} нинг ҳисоблаш натижалари 4.1-жадвалда берилган.

Ҳар бир бўлакка ёки массага таъсир этувчи ўрта квадрат сейсмик кучлар қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$S_k = \sqrt{S_{k1}^2 + S_{k2}^2 + S_{k3}^2},$$

4.1-жадвалда топилган кучларнинг таъсир схемасини 4.9-расмда келтирилгандек тасвирлаш мумкин.



4.9-расм. Тўғонга таъсир қиляётган кучларнинг схематик тасвири

Ҳар бир бўлакка сейсмик кучлардан ташқари, юқори бьеф томонидан сувнинг гидростатик босими таъсир этади (4.9б-расм) ва бу кучларнинг қийматлари қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$P_k = \gamma_c \cdot \frac{h(k-1) + h \cdot k}{2} \cdot h, \quad (k=1, 2, \dots, 6).$$

Бу ерда $\gamma_c = 1 \text{ тк/м}^3$ – сувнинг солиштирма оғирлиги.

P_k нинг топилган қийматлари ҳам 4.1-жадвалда келтирилган.

Боғланган грунтлар учун тўғон бўлаги сирпаниш текислиги бўйича чегаравий – рухсат этилган уринма кучланиш τ_k^{p3} Кулон қонунига мувофиқ қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\tau_k^{p3} = \frac{\sum_{n=1}^{n=k} Q_n}{F_k} \cdot \text{tg}\varphi + C \quad (4.4)$$

Бу ерда: $\sum_{n=1}^{n=k} Q_n$ – қаралаётган сирпаниш текислигидан юқорида жойлашган грунт бўлагининг оғирлиги; F_k – сирпаниш текислиги юзаси

бўлиб, бўлак асоси узунлиги b_k нинг 1 га кўпайтмасига тенг; φ – табиий қиялик бурчаги ёки грунтнинг ички ишқаланиш бурчаги; C – грунтнинг боғланиш (сцепление) коэффициенти.

4.2-жадвал

Бўлак №	1	2	3	4	5	6
Сирпаниш майдони $F_k = b_k \cdot l, \text{ м}^2$	50,83	91,67	132,5	173,3	214,2	255,0
$\sum_{n=1}^{n=k} (S_n + P_n), \text{ тК}$	123,65	436,5	888,5	1475,4	2208,0	3037,6
$\sum_{n=1}^{n=k} Q_n, \text{ тК}$	674,1	2253,6	4738,2	8128,0	12424,1	17625,5
$\sum_{n=1}^{n=k} Q_n \cdot \text{tg}\varphi, \text{ тК}$	389,2	1300,3	2733,9	4689,8	7168,7	10169,9
$\frac{\sum_{n=1}^{n=k} Q_n \text{tg}\varphi}{F_k}, \text{ тК/м}^2$	7,66	14,18	20,63	27,06	33,46	39,88
$\frac{\sum_{n=1}^{n=k} Q_n \text{tg}\varphi}{F_k} + C, \text{ тК/м}^2$	15,66	22,18	28,63	35,06	41,46	47,88
$\frac{\sum_{n=1}^{n=k} (S_n + P_n)}{F_k}, \text{ тК/м}^2$	2,43	4,76	6,70	8,51	10,31	11,91
K_s	6,4	4,6	4,2	4,1	4,0	4,0

Тўғоннинг сирпаниш текислигидан юқорида жойлашган қисмида вужудга келадиган уринма кучланиш қуйидагича аниқланади:

$$\tau_k = \frac{\sum_{n=1}^{n=k} (S_n + P_n)}{F_k}$$

Шуларга асосан, тўғондаги грунтнинг силжишдаги мустаҳкамлик шарти қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{\sum_{n=1}^{n=k} (S_n + P_n)}{F_k} \leq \frac{\sum_{n=1}^{n=k} Q_n}{F_k} \operatorname{tg} \varphi + C \quad (4.5)$$

Демак, грунтли тўғонлар алоҳида бўлақларининг мустаҳкам-лигига силжишдаги чегаравий ҳолат бўйича баҳо бериш учун мустаҳкамликнинг захира коэффиценти тушунчасини қуйидагича киритиш мумкин, яъни:

$$K_k = \frac{\frac{\sum_{n=1}^{n=k} Q_n}{F_k} \operatorname{tg} \varphi + C}{\frac{\sum_{n=1}^{n=k} (S_n + P_n)}{F_k}} \quad (4.6)$$

Барча изланаётган миқдорларнинг қийматларини юқорида келтирилган формулалар ёрдамида топиб, аниқланган миқдорларни 4.2-жадвалга киритамиз.

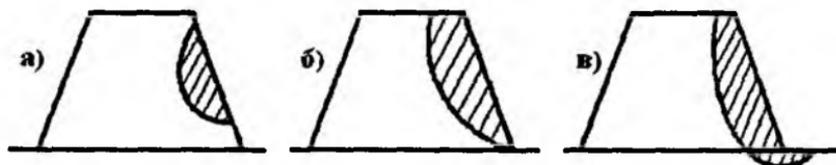
Олинган натижалардан кўринадики, тўғоннинг силжишга бўлган мустаҳкамлиги етарли (ҳар бир бўлақ учун $K_k > 1$) даражада бўлиб, мустаҳкамлиги тўла таъминланган.

4.4. Грунтли тўғон қияликларини устуворликка ҳисоблаш

Грунтли тўғонлар бузилишининг бир тури – бу хусусий оғирлик, фильтрацион босим ва сейсмик таъсирлар натижасида уларнинг қияликларини ўпирилиши (силжиши) ҳисобланади. Бу ҳодиса кўпроқ депрессия эгрилигининг жойлашишига, яъни тўғоннинг “нам” ва “курук” қисмлари орасидаги чегаранинг жойлашишига боғлиқ бўлади. Қияликларнинг ўпирилиш сирти таъсир қилувчи омилларга қараб ҳар хил кўринишда бўлиши мумкин. Уларнинг кўп учрайдиган шакллари 4.10а,б,в-расмларда келтирилган.

Баъзан сирпаниш призмаси заминни ҳам қўпориб кетиши мумкин (4.10в-расм). Қияликлар устуворлигини ҳисоблашнинг бир неча усуллари мавжуд. Булар орасида юмалоқ-цилиндрик сирпаниш сирт усули кенгроқ тарқалган. Бу усулда ўпирилиш призмасининг сирпаниши

айланиш маркази O га нисбатан радиуси R бўлган юмалоқ-цилиндрик сирпаниш сирти бўйлаб содир бўлади, деб қаралади (4.11а-расм).



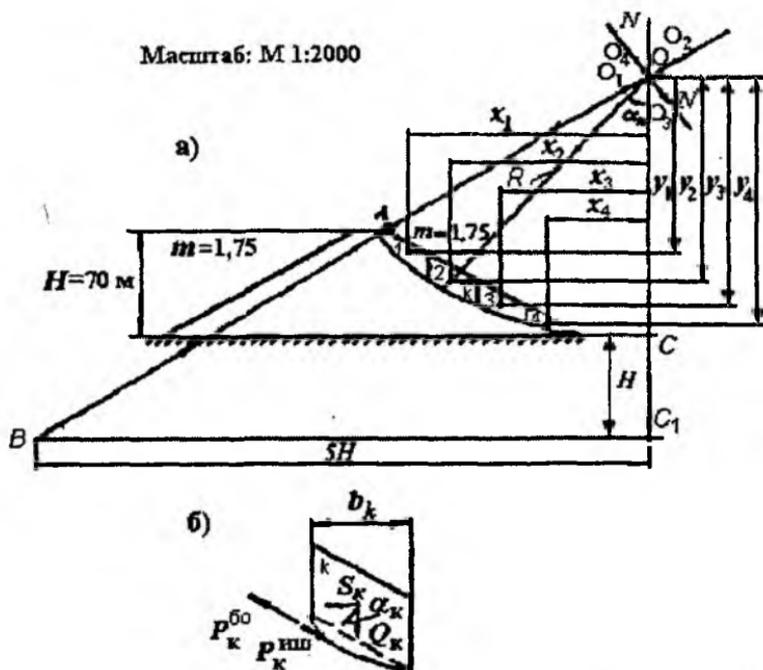
4.10-расм. Грунтли тўғон қияликларининг ўпирилиш схемалари

Айланиш марказининг ҳолати “синов ва хато” (“проб и ошибок”) усули бўйича аниқланади, яъни қияликнинг устуворлиги O нуқтанинг турли ҳолатлари бўйича текшириб кўрилади ва шулар ичидан энг хавфлиси танлаб олинади. Қияликнинг устуворлиги устуворлик коэффициенти K_{yc} га қараб белгиланади. Устуворлик коэффициенти O нуқтага нисбатан олинган ушлаб турувчи моментларнинг умумий йиғиндисини шу нуқтага нисбатан олинган силжитувчи моментларнинг умумий йиғиндисини нисбатига тенг, яъни:

$$K_{yc} = \frac{\sum M_k^{yuv}}{\sum M_k^{cu}} \quad (4.7)$$

Сирпаниш призмаси чегарасида грунт хоссалари ўзгаришини ҳисобга олиш учун призма вертикал текисликлар орқали бўлақларга ажратилади (4.11а-расм) ва уларга таъсир этувчи кучлар белгиланади. Бўлақларга таъсир этувчи кучлар схемаси 4.11б-расмда берилган. Одатда, бўлақлар қанча кўп бўлса, ҳисобнинг аниқлиги шунча юқори бўлади.

Устуворлик коэффициенти K_{yc} нинг минимал қийматини, яъни O нуқтанинг ҳолатини аниқлаш қуйидаги тартибда амалга оширилади: тўғон тубидаги (асосидаги) ихтиёрий C нуқтадан узунлиги тўғон баландлиги H га тенг вертикал чизик ўтказилиб, C_1 нуқта белгиланади. Шу C_1 нуқтадан тўғон асосига параллель чизик ўтказилади ва бу чизикда C_1 нуқтадан $5H$ масофада ётадиган B нуқта белгиланади. B нуқтадан чиқиб, қиялик қиррасидаги A нуқта орқали ўтувчи BA нур ўтказилади. Шу нур бўйлаб тўғон қиррасидан юқорирокда, айланиш марказлари сифатида O, O_1, O_2, \dots, O_4 нуқталар олинади. Шу нуқталарга нисбатан $\min K_{yc}$ нинг ўзгариш эпюраси курилади (4.11а-расм).



4.11-расм. Юмалок-цилиндрик сирпаниш сирт усули бўйича грунтли тўғон қиялик устуворлигини аниқлаш схемаси

K_{yc} нинг қиймати минимал бўлган нуқтадан (масалан, O нуқтадан) NN нормал ўтказилади (яъни, BO нурга перпендикуляр чизик) ва бу NN нормалда ҳам O_1, O_2, \dots, O_4 нуқталар белгиланади, кейин, яна K_{yc} нинг ўзгариш эпюраси қурилади. Топилган устуворлик коэффициентлари K_{yc} ичида қиймати энг кичик бўлган коэффициентга, яъни $\min K_{yc}$ га қараб қиялик устуворлигига баҳо берилади.

Бу ҳисоб ишларини бажариш учун барча чизма ва ўлчамлар аниқ масштаб бўйича чизилган бўлиши керак.

4.11б-расмда “ k ” рақамли бўлак ва унга таъсир этувчи барча кучлар катталаштириб кўрсатилган бўлиб, уларни аниқлаш формулалари қуйида келтирилган:

бўлакнинг хусусий оғирлиги –

$$Q_k = \gamma \cdot \omega_k,$$

сирпаниш майдонида ҳосил бўладиган ишқаланиш кучи –

$$P_k^{нш} = Q_k \cdot \cos \alpha_k \cdot tg \varphi,$$

сирпаниш майдонида ҳосил бўладиган боғланиш кучи –

$$P_k^{бо} = C \cdot F_k,$$

бўлакнинг сирпаниш юзаси –

$$F_k = \frac{b_k \cdot l}{\cos \alpha_k}.$$

Бу ерда: γ – грунтнинг ҳажмий оғирлиги; ω_k – бўлак юзаси; φ – табиий қиялик бурчаги (ички ишқаланиш бурчаги); α_k – радиус билан вертикал ўқ орасидаги бурчак; C – грунтнинг боғланиш коэффициентини; l эса қаралаётган бўлакнинг бирлик қалинликка эғалигини англатади.

Демак, бу ҳолда бўлакка таъсир қиладиган сейсмик куч S_k нинг қиймати маълум бўлса, шу тартибда юмалоқ-цилиндрик сирпаниш сирт усули орқали гурунтли тўғон қиялигининг устуворлик коэффициенти K_{yc} баҳоланади. Лекин, сейсмик кучнинг қийматини аниқлаш ҳам маълум даражада ўзига яраша муаммо туғдиради.

Шунинг учун, сейсмик куч S_k қийматини ҚМК кўрсатмалари бўйича аниқлаймиз, яъни у ерда бўлакнинг оғирлик марказига қўйилган ўлчамсиз сейсмик тезланиш a_k ни қуйидаги формула орқали аниқлаб,

$$a_k = AK_1 K_2 \sqrt{\sum_{i=1}^n [K_{\psi} \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki}]^2} \quad (4.8)$$

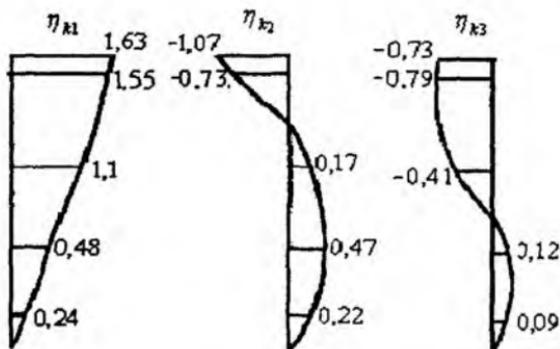
сейсмик куч S_k қийматини қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин бўлади:

$$S_k = Q_k \cdot a_k \quad (4.9.)$$

Кейинги ҳисоб-китоб ишларини бажариш учун, 4.1-жадвалда олинган натижаларни эътиборга олиб, тебранишларнинг шакл коэффициентлари – $\eta_{k1}, \eta_{k2}, \eta_{k3}$ 4.12-расмда кўрсатилган қийматларга эга бўлади деб қабул қиламиз.

(Бу бажараётган ҳисоб ишларимизда юқорида қаралаётган тўғонимиз 6 та бўлакка эмас, фақат 4 та бўлакка бўлинганлигини эсда тутишимиз керак).

Агар 4.11б-расмга эътибор берадиган бўлсак, силжитувчи моментларнинг умумий йиғиндиси $\sum M_k^{cu}$ оғирлик кучи Q_k ва сейсмик куч S_k дан ҳосил бўлади; ушлаб турувчи моментларнинг умумий йиғиндиси эса $\sum M_k^{yш}$ ишқаланиш кучи $P_k^{нш}$ ва боғланиш кучи $P_k^{бо}$ таъсирида вужудга келади.



4.12-расм. Тебранишларнинг шакл коэффициентлари

Шунга кўра, (4.7) ифодани кенгайган кўринишда куйидагича ёзиш мумкин:

$$K_{yc} = \frac{\sum M_k^{ym}}{\sum M_k^{cm}} = \frac{\sum (P_k^{ym} + P_k^{co})R}{\sum (Q_k x_k + S_k y_k)} \quad (4.10)$$

Бу ерда x_k, y_k – “ k ” бўлак оғирлик марказининг координаталари.

Устуворлик коэффициенти K_{yc} ни жадвал кўринишида ҳисоблаш анча қулай. Шунинг учун ана шундай жадваллардан бири (4.3-жадвал) келтирилган бўлиб, бу жадвалнинг ҳар бир қаторига фақат битта амални бажариш орқали олинган натижалар олиб бориб қўйилади (демак, “ n -қаторига ёзамиз” дегани олинган натижаларни 4.3-жадвалнинг n -қаторига олиб бориб ёзилишини англатади).

Мисол тариқасида, 4.2-бўлимда кўриб ўтилган грунтли тўғоннинг пастки қиялик устуворлигини тўғоннинг 3 та хусусий тебраниш шакллари (4.8б,в,г-расм) инобатга олган ҳолда баҳолаш билан танишиб чиқамиз. Тўғоннинг геометрик ўлчамлари ва материалнинг физик-механик параметрлари куйидагилардан иборат деб оламиз, яъни:

$$H=70 \text{ м}; m=1,75; \gamma=1,9 \text{ тк/м}^3; \varphi=30^\circ; C=0,68 \text{ кгк/см}^2=6,8 \text{ тк/м}^2$$

Бу ҳолда, сейсмик кучни аниқлайдиган формула (4.8) таркибига қирадиган коэффициентлар куйидагича бўлади:

$$A=0,1; K_1=0,25; K_2=0,9; K_\psi=0,7; \beta(T_1)=2,15; \beta(T_2)=\beta(T_3)=3$$

Мазкур мисолда юмалоқ-цилиндрик сирпаниш сиртининг радиуси $R=200$ м ва унинг айланиш маркази O юқорида баён этилган усул ёрдамида аниқланган (4.11а- расм).

Ҳисоб ишларини қулайлаштириш учун барча натижаларни кетма-кет 4.3-жадвалга киргизиб борамиз.

Ҳисоб ҳажмини қискартириш мақсадида ўпирилиш призмасини фақат 4 та бўлакка ($k=1,2,3,4$) бўламиз.

Бунда ҳар бир бўлак оғирлик марказларининг координатлари (x_k, y_k) ва юзаси (ω_k) чизма масштабига кўра қуйидагича бўлади:

$$x_1 = 145\text{м}, x_2 = 121\text{м}; x_3 = 93\text{м}; x_4 = 62\text{м};$$

$$y_1 = 125\text{м}; y_2 = 145\text{м}; y_3 = 162\text{м}; y_4 = 175\text{м};$$

$$\omega_1 = 360\text{ м}^2, \omega_2 = 560\text{ м}^2, \omega_3 = 600\text{ м}^2, \omega_4 = 300\text{ м}^2.$$

Бу натижаларни 1 ва 2-қаторларга ёзамиз.

Бўлак юзаси ω_k ни грунтнинг солиштирма оғирлиги $\gamma = 1,9\text{ тк/м}^3$ га кўпайтириб, ҳар бир бўлак оғирлиги $Q_k = \gamma\omega_k$ ни топиб, 3-қаторга ёзамиз.

α_k ни $\cos \alpha_k = \frac{y_k}{R}$ формула орқали топиб, 4-қаторга ёзамиз.

Ҳар бир бўлакнинг сегмент шаклидаги сирпаниш сирти унинг тўғри чизикли хордаси билан алмаштирилади. Бўлак оғирлигини хордага тик бўлган ўққа проекцияси (4.11-расм) $Q_k \cos \alpha_k$ ни топиб, 5-қаторга ёзамиз.

Ҳар бир бўлакнинг сирпаниш сиртидаги ишқаланиш кучи $P_k^{III} = Q_k \cos \alpha_k \operatorname{tg} \varphi$ ни топиб (бу ерда $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 30^\circ = 0,577$), 6-қаторга ёзамиз.

Ҳар бир бўлакнинг (хорда бўйича) сирпаниш юзаси $F_k = \frac{b_k \cdot l}{\cos \alpha_k}$ ни топиб (бу ерда $b = 31,875\text{ м}$ – бўлак кенглиги бўлиб, ҳамма бўлаklar тенг қилиб олинганлиги учун бир хил қийматга эга), 7-қаторга ёзамиз.

Сирпаниш майдонида бўладиган боғланиш кучи $P_k^{60} = CF_k$ ни топиб, 8-қаторга ёзамиз.

Ишқаланиш кучи F_k^{III} ва боғланиш кучи F_k^{60} бир чизик бўйича йўналган, шунинг учун уларни қўшиб, бўлакка таъсир этувчи, ушлаб турувчи кучлар йиғиндиси $P_k^{yuu} = P_k^{III} + P_k^{60}$ ни топиб, 9-қаторга ёзамиз.

Бу кучларнинг (айланиш маркази O га нисбатан) елкаси R га тенг. Демак, умумий ушлаб турувчи кучларнинг умумий моменти $M_k^{yuu} = (P_k^{III} + P_k^{60}) \cdot R$ ни топиб, 10-қаторга ёзамиз.

10-қаторда 4 та бўлак учун топилган ушлаб турувчи куч моментларини бир-бирига қўшиб, ушлаб турувчи моментларнинг умумий йиғиндисини топамиз, бизнинг ҳолда, бу $\sum M_k^{yu} = 533600$ ткм га тенг бўлади.

Тебранишларнинг шакл коэффициент $\eta_{k1}, \eta_{k2}, \eta_{k3}$ ларининг қийматларини 4.12-расмдан аниқлаб, уларни 11–13-қаторларга ёзамиз.

Бу қийматларни (11–13-қаторларни) $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ миқдорларга кўпайтириб, 14–16-қаторларга ёзамиз.

14–16-қаторлардаги сонларни K_v га кўпайтириб, квадратга оширамиз ва чиққан натижани 17–19-қаторларга ёзамиз.

Ўлчовсиз тезланиш a_k нинг қийматларини (4.8) формула ёрдамида топиб, 20-қаторга ёзамиз.

20-қатордаги қийматларни бўлак огирлиги Q_k га кўпайтириб, бўлақларга таъсир қилувчи сейсмик куч S_k нинг қийматларини (4.9) формула ёрдамида топиб, олинган натижаларни 21-қаторга ёзамиз.

Силжитувчи (сейсмик) куч S_k ҳосил қиладиган момент $M'_k = S_k y_k$ нинг қийматини аниқлаб, олинган натижаларни 22-қаторга ёзамиз.

Силжитувчи (огирлик) Q_k куч ҳосил қиладиган момент $M''_k = Q_k x_k$ ни аниқлаб, олинган натижаларни 23-қаторга ёзамиз.

Бу моментларни қўшиб, ҳар бир бўлак учун силжитувчи умумий моментнинг $M_k^{cu} = M'_k + M''_k$ қийматларини аниқлаймиз ва олинган натижаларни 24-қаторга ёзамиз.

24-қаторда ҳар бир бўлак учун топилган силжитувчи куч моментларини бир-бирига қўшиб, силжитувчи моментларининг умумий йиғиндисини аниқлаймиз, яъни унинг қиймати $\sum M_k^{cu} = 388726,6$ ткм га тенг бўлади.

Тўғоннинг пастки қиялик устуворлигини иншоотнинг 3 та хусусий тебраниш шаклларинобатга олиб ҳисобланган натижалар 4.3-жадвалда келтирилган.

4.3-жадвалда ҳисобланган қийматлар асосида тўғоннинг пастки қиялигининг устуворлик коэффициентини (4.10) аниқлаймиз:

$$K_{yc} = \frac{\sum M_k^{yu}}{\sum M_k^{cu}} = \frac{533600}{388726} = 1,37$$

Бу топилган натижа қиялик устуворлигининг тўла таъминланганлигини кўрсатади.

Гар- тиб №	Бўлакнинг номери - "k"	1	2	3	4
1	Бўлакнинг оғирлик маркази координатаси (м): x_k y_k	145 125	121 145	93 162	62 175
2	Бўлакнинг кўндаланг кесими юзаси ω_k , (м ²)	360	560	600	300
3	Бўлакнинг оғирлиги $Q_k = \gamma\omega_k$, тК	684	1064	1140	570
4	$\cos \alpha_k = \frac{y_k}{R}$	0,625	0,725	0,81	0,875
5	$Q_k \cos \alpha_k$, тК	428	771	923	499
6	Сирпаниш сиртида ҳосил бўладиган ишқаланиш кучи $P_k^{иш} = Q_k \cos \alpha_k \operatorname{tg} \varphi$, тК $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 30^\circ = 0,577$	247	445	533	288
7	Бўлакнинг сирпаниш юзаси $F_k = \frac{b_k \cdot l}{\cos \alpha_k}$, м ² $b_k = 31,875$, м	51	44	39	36
8	Сирпаниш майдонида ҳосил бўладиган боғланиш кучи $P_k^{сш} = CF_k$, тК	347	299	265	244
9	Ушлаб турувчи кучлар йиғиндиси $P_k^{уш} = P_k^{иш} + P_k^{сш}$, тК	594	744	798	532
10	Ушлаб турувчи кучларнинг умумий моменти $M_k^{уш} = P_k^{уш} R$, тКм	118800	148800	159600	106400
Ушлаб турувчи моментларнинг умумий йиғиндиси $\sum M_k^{уш} = 533600$ тКм					
11	η_{k1}	1,55	1,1	0,48	0,24
12	η_{k2}	-0,73	0,17	0,47	0,22
13	η_{k3}	-0,79	-0,41	0,12	0,09
14	$\eta_{k1} \cdot \beta_1$	3,33	2,37	1,03	0,52

15	$\eta_{k2} \cdot \beta_2$	-2,20	0,51	1,41	0,66
16	$\eta_{k3} \cdot \beta_3$	-2,37	-1,23	0,36	0,27
17	$(\eta_{k1} \beta_1 K_{\psi})^2$	5,43	2,75	0,52	0,13
18	$(\eta_{k2} \beta_2 K_{\psi})^2$	2,37	0,13	0,97	0,21
19	$(\eta_{k3} \beta_3 K_{\psi})^2$	2,75	0,74	0,06	0,036
20	$a_k = \frac{A \cdot K_1 \cdot K_2 \sqrt{(\eta_{k1} \beta_1 K_{\psi})^2} + (\eta_{k2} \beta_2 K_{\psi})^2 + (\eta_{k3} \beta_3 K_{\psi})^2}{\dots}$	0,073	0,043	0,028	0,014
21	Сейсмик куч $S_k = Q_k \cdot a_k$, ткм	49,93	45,75	31,92	7,98
22	Силжитувчи (сейсмик) куч моменти $M'_k = S_k y_k$, ткм	6241,3	6633,8	5171,0	1396,5
23	Силжитувчи (оғирлик) куч моменти $M''_k = Q_k x_k$, ткм	99180,0	128744,0	106020,0	35340,0
24	Силжитувчи умумий момент $M_k^{cu} = M'_k + M''_k$, ткм	105421,3	135377,8	1111910,0	36736,5
Силжитувчи моментларнинг умумий йиғиндиси $\sum M_k^{cu} = 388726,6$ ткм					

Шундай ҳисобларни бошқа айланиш марказлари O_1, O_2, O_3, O_4 учун ҳам такрорлаб, ҳар бир ҳолат учун қияликнинг устуворлик коэффициенти K_{yc} ларни аниқлаймиз. Шу топилган қияликнинг устуворлик коэффициентлари K_{yc} ичида энг кичкинаси, яъни $\min K_{yc}$ биз кидираётган коэффициент бўлади.

Бизнинг юқорида бажарган ишларимизда тўғон хусусий тебранишининг 5 та шаклини инobatга олиб, устуворлик коэффициенти K_{yc} ни баҳоладик.

Энди, хусусий тебранишнинг фақат биринчи тебраниш шаклини инobatга олиб, K_{yc} ни баҳолаш қандай натижаларга олиб келишини кўриб чиқамиз.

Бу ҳолда, ҳисоб ишларини тўғон хусусий тебранишининг фақат биринчи шакли бўйича (4.86-расм) тўғридан-тўғри бажариш учун (4.9) формула ўрнига (3.35) формулани, яъни

$$S_k = K_1 K_2 K_\psi A \beta_k Q_k \eta_{k1}$$

ишлатамиз, чунки булар бир-бирига мос ифодалардир.

Бу ҳолат учун ҳисоб натижалари 4.4-жадвалда келтирилган.

4.4-жадвал

**Тўғон пастки қиялигининг устуворлик коэффициентини тебраниш-
нинг биринчи шакли бўйича ҳисоблаш**

№	Бўлакнинг номери - "к"	1	2	3	4
1	Бўлакнинг огирлик маркази координаталари (м): x_k , y_k	145	121	93	62
		125	145	162	175
2	Бўлакнинг огирлиги Q_k , тк	684	1064	1140	570
3	Тебранишларнинг шакл коэф- фициентлари (биринчи шакл учун) η_{k1}	1,55	1,1	0,48	0,24
4	Силжитувчи (сейсмик) куч $S_k = K_1 K_2 K_\psi A \beta_k Q_k \eta_{k1}$, тк	35,9	39,7	18,6	4,6
5	Силжитувчи (сейсмик) куч моменти $M'_k = S_k y_k$, ткм	4487,5	5756,5	3013,2	805,0
6	Силжитувчи (огирлик) куч моменти $M''_k = Q_k x_k$, ткм	99180,0	128744,0	106020,0	35340,0
7	Силжитувчи умумий момент $M_k^{cu} = M'_k + M''_k$, ткм	103667,5	134500,5	109033,2	36145
Силжитувчи моментларнинг умумий йиғиндиси $\sum M_k^{cu} = 383346,2$ ткм					

Бу ҳолда устуворлик коэффициентининг қиймати

$$K_{yc} = \frac{\sum M_k^{yu}}{\sum M_k^{cu}} = \frac{533600}{383346,2} = 1,39 \text{ га тенг чикади.}$$

Демак, кўриб ўтган мисолимизда грунтли тўғон қиялиги устувор-
лик коэффициенти K_{yc} ни фақат битта хусусий тебраниш шаклини
инобатга олиб, сейсмик кучлар таъсирига ҳисобладик. Олинган на-
тижадан кўринадики, бу ҳолда ҳисоб аниқлиги етарли бўлиб, ҳисоб
ишларини бажариш анча содда ва қулайдир.

Шунинг учун, оддий ҳисоб ишларида $K_{\text{с}}$ ни тўғоннинг битта хусусий тебраниш шаклини инобатга олиб, шундай баҳолаш мумкин экан. Лекин биз бажарган ҳисоб ишларида тўғон ва сувнинг ўзаро таъсири, грунтнинг юк таъсирида ўз хоссаларини ўзгартириши сингари қатор муҳим омиллар инобатга олинмади. Шу билан бирга, грунтларнинг чегаравий кучланиш ҳолатини тўла ҳисобга оладиган амалий ҳисоблаш усуллари ҳозирги кунда охиригача ривожланмаган. Бундай усулларнинг баъзилари билан кейинги бобда танишиш имкониятига эга бўламиз.

**Грунтли материаллардан қурилган
тўғонларнинг мустаҳкамлиги ва
зилзилабардошлиги**

**5.1. Грунтли иншоотлар қурилишида қўлланиладиган
материалларнинг асосий хоссалари**

Тўртинчи бобда баён этилган грунтли тўғонларга таъсир этувчи сейсмик кучларни аниқлашнинг спектрал усули бошқа хил материаллардан қурилган иншоотлар учун қўлланиладиган усуллардан кам фарк килади.

Грунтли тўғонларнинг зилзилабардошлигига баҳо беришда ҳисоблаш назарияси ва услубиётидаги номукаммалликлар туфайли, иншоотнинг реал ишлаш шароити ва унинг материаллини хоссалари тўла ҳисобга олинмайди.

Бугунги кунда республикамизда 60 дан ортиқ ишлаб турган грунтли тўғонлар мавжуд. Бундан ташқари, юқори сейсмик ҳудудлар учун янги ноёб тўғонлар лойиҳалаштирилмоқда ва қурилмоқда. Бундай объектларнинг сейсмик мустаҳкамлигига ҳар доим катта талаблар қўйилади, чунки уларнинг бузилиши улкан ҳалокатларга олиб келиши мумкин.

Маълумки, бошқа материаллардан қурилган иншоотлардан фарқли ўлароқ, грунтли тўғонларнинг танасини ташкил этувчи грунт фойдаланиш жараёнида ўзининг физик-механик хоссаларини сезиларли даражада ўзгартиради. Бундай ҳолат табиий физик-механик жараёнлар таъсирида ҳам, даврий намланиш ва қуриш жараёнларида ҳам содир бўлиши мумкин. Содир бўлаётган жараёнлар тўғоннинг кучланиш-деформацияланиш ҳолати (КДХ)ни сезиларли даражада ўзгартиради. Бу эса, ўз навбатида иншоот зилзилабардошлиги пасайишига олиб келади.

Олиб борилаётган тадқиқотлар ва грунтли тўғонлар куриш тажрибаси ҳисоблаш усулини яратишда иншоотнинг ўта мураккаб иш шароитини: турли кучлар таъсирида, жумладан, гидростатик босим, сейсмик ва бошка кучлар таъсирида, нафақат конструкцияда, балки унинг материалида ҳам вужудга келадиган реал деформацияларни ва кучланиш ҳолатларини ҳисобга олиш лозимлигини тақозо этади.

Тўғонларнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолати турли таъсирларнинг мажмуаси сифатида шаклланади, буларнинг бари грунтнинг турли хоссаларини махсус ўрганишни талаб этади. Олинган натижаларни тенгламалар шаклида умумлаштириш ва уларни грунтли иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигини баҳолашда асос сифатида фойдаланиш мумкин бўлган кўринишга келтириш лозим бўлади.

Турли омилларни ҳисобга олган ҳолда, грунтли иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги муаммосини фақат чекли фарқлар усули – ЧФУ (метод конечных разностей – МКР) ёки чекли элементлар усули – ЧЭУ (метод конечных элементов – МКЭ) орқалигина тўла ва аниқ ҳал этиш мумкин.

Тўртинчи бобда кўриб ўтилган масалаларда иншоотлар зилзилабардошлигига баҳо беришда энг оддий мустаҳкамлик шартларидан фойдаланилди. Аслида, иншоотлар мустаҳкамлиги (зилзилабардошлиги) масалалари деформацияланувчи қаттиқ жисм механикаси ва мустаҳкамлик назариясининг мустақил ва старли даражада мураккаб масалаларидан саналади. Шу боис, грунтли иншоотларнинг мустаҳкамлигига бериладиган баҳони чегаравий кучланиш ҳолати назариясига асосан берилса, анча ҳаққоний натижа олиш мумкин бўлади.

Ишонарли баҳолашлар, одатда, материаллар ҳақидаги реал маълумотларни, ҳар бир иншоотнинг конкрет конструктив хусусиятларини, курилиш ҳудудида содир бўладиган сейсмик жараёнларни, шунингдек, статик ва динамик таъсирлар натижасида иншоот конструкцияси ва материалида рўй берадиган физик жараёнларни ҳар тарафлама инobatга олишга асосланади.

Шу боис муҳандислик амалиётида грунтнинг юк кўтариш қобилиятига путур етказмайдиган максимал юкни (кучланишни) аниклаш муҳим аҳамиятга эга. Бунинг учун турли вазиятларда иншоот материалининг асосий хоссаларини билиш талаб этилади.

Грунтли тўғонлар қурилишида асосий материал сифатида турли хил кўринишдаги, ҳар хил хусусиятли грунтлар ишлатилади. Булар (қоятошлардан ташқари) ҳар хил грунт зарралари, сув ва ҳаводан иборат уч компонентли дисперсион (турли майдаликдаги зарралардан ташкил топган) системалардан иборат бўлади.

Бундай материалларда намлик (уларнинг таркибидаги сувнинг миқдори) муҳим кўрсаткичлардан ҳисобланиб, грунтнинг физик-механик хоссалари кўп жиҳатдан шу намликнинг миқдорига боғлиқ. Табиатда мутлақ қуруқ грунт учрамайди. Намлик икки хил бўлади: атмосфера намлигига боғлиқ бўлган табиий намлик ва оқар сувлардан ҳосил бўлган намлик. Сувга тўйинган грунтнинг ғовақлари сув билан тўлиб, уч фазали система икки фазали системага (грунт скелети + сувга) айланиб, грунтли массани ташкил қилади. Намликнинг таъсири заррачаларнинг ўлчамлари кичиклашган сари, яъни дисперслик даражаси ортган сари сезиларли бўла боради. Умуман, дисперслик даражасига қараб грунт заррачалари йириклиги 200 ± 20 мм бўлган қайроқтошли (галечные) ва чақик тошли (щебенистые), йириклиги 20 ± 2 мм бўлган шағалли (гравелистые), $2 \pm 0,05$ мм йирикликдаги қумтошли (песчаные), $0,05 \pm 0,005$ мм йирикликдаги чангсимон (пылеватые), $0,005 \pm 0,0001$ мм йирикликдаги соғ тупроқли турларга бўлинади. Диаметри $0,0001$ мм дан кичик бўлган заррачалар коллоид турдаги гурунтларга киради.

Тўғонлар қурилишида сифат кўрсаткичлари турлича бўлган маълум фракциялардан ташкил топган маҳаллий грунтлар қўлланилади. Ҳар хил грунтлар учун бундай кўрсаткичлар 5.1-жадвалда келтирилган.

5.1-жадвал

Турли гуруҳлардаги грунт заррачаларининг сифат кўрсаткичлари

Грунт хоссалари	Гуруҳлар			
	Шағалли	Қумли	Чангсимон	Тупроқли
Сув ўтказувчанлик	Жуда юқори	Юқори	Паст	Йўқ
Бўртиш	Йўқ	Йўқ	Жуда кам	Жуда юқори
Ички ёрилиш	Жуда юқори	Юқори	Паст	Йўқ
Боғланиш (сцепление)	Йўқ	Йўқ	Жуда кам	Жуда юқори

Таркибидаги фракцияларнинг микдорига қараб грунтлар тупрокларга, ҳар хил кумоқ тупрокларга, оғир, енгил ва чангсимон кумтупрокларга (супес) ҳамда майда ва йирик кумларга бўлинади. Ўзбекистоннинг тоғ ёнбағирларида ва текис зоналарда лёс (соғ тупрок) кенг тарқалган бўлиб, таркибида чангсимон фракцияларнинг кўплиги билан ажралиб туради. Уларда кумтош ва гил заррачалари 16–20 фоздан ортмайди. Гидротехника иншоотлари учун грунтларнинг сувга чидамлилиги муҳим кўрсаткичлардан бири ҳисобланади ва грунтлар шу кўрсаткич бўйича 5 та синфга бўлинади:

1-синф – қоятошлар, сиқилиш мустаҳкамлиги 500 кгк/см^2 бўлган, сувга чидамли (гранит, габбро ва бошқалар) ва сувга чидамсиз (оҳақтош, доломит) грунтлар;

2-синф – ярим қоятош гуруҳлар, сиқилиш мустаҳкамлиги 500–50 кгк/см^2 бўлган, сувга чидамли (кумтошлар) ва сувга чидамсиз (гипс, тош туз, галлит ва бошқалар) грунтлар;

3-синф – сочилувчан грунтлар – биринчи ва иккинчи синфга мансуб сувга чидамли ва чидамсиз кумлар;

4-синф – лойли грунтлар – кам сиқилувчан (сланец, мергел) ва сиқилувчан (гил, кумтупрок, соғ тупрок);

5-синф – сиқилувчан грунтлар (торф, лойқа).

Тўртинчи синфга оид грунтлар сувга чидамлилиги бўйича эмас, сиқилувчанлиги бўйича ажратилади. Мазкур синф грунтлари сувга чидамлилиги турлича бўлган туз кристаллари билан таъминланганлиги туфайли шартли боғланувчанлик хусусиятига эга.

Гидротехника иншоотлари қурилиши учун 4-синф грунтлари катта аҳамиятга эга, чунки улар асосан шу грунтлардан қурилади. 3-синф грунтлари кам қўлланилади.

Зилзилабардошлик нуктаи назаридан грунтларнинг физик-кимёвий жиҳатдан муҳим хусусиятлари – бу лойқаланувчанлик (пльвунность) ва тиксотроплик (қуйқаланиш)дир.

Грунтларнинг лойқаланувчанлиги (пльвунность) – уларнинг оғир суоқлик хоссасини намоён этиш хусусияти бўлиб, чуқурлар ва катлованларни ўйганда пайдо бўлади. Бу ходиса ташқи таъсирларга боғлиқ бўлмай, грунтнинг табиий ҳолатидан келиб чиқади.

Грунтларнинг тиксотроплик хусусияти, турли хил механик таъсирлар (сиқитиш, тебраниш) натижасида пайдо бўлиб, грунтнинг

лойка ҳолатга ўтиши билан боғлиқ бўлган ҳодисадир. Бунда грунт ўзининг мустаҳкамлигини бутунлай йўқотади ва механик таъсирлар тўхташи билан ўзининг дастлабки ҳолатига қайтади. Тиксотропик, яъни қуйқаланиш ҳодисаси баъзан унча катта бўлмаган механик таъсирлар оқибатида ҳам вужудга келиши мумкин. Айниқса, бундай ҳолат зилзила натижасида жуда кўп содир бўлади ва кўпинча аянчли оқибатларга олиб келади.

Тошкентдаги Полвонов канали қурилишида, дамба устидан трактор юриб ўтганда, катта ҳажмдаги грунт оқиб кетган. Бу дамба қурилиши сувга тупроқ тўкиш йўли билан олиб борилган. Тупроқ сувга тўйинганидан, трактор ҳаракати натижасида грунтга берилган тебраниш тиксотроп ҳодисасининг содир бўлиши учун етарли бўлган.

1931 йилда Янги Зеландияда рўй берган зилзила натижасида жуда катта грунт кўчиши рўй берган. 1952 йилда Калифорниянинг Кери-Каунти шаҳрида ва 1959 йилда Жанубий Монтанада рўй берган зилзилалар катта миқдордаги грунтнинг қуйқаланиб кўчишини содир этиб, кўп фалокатларга олиб келган. Худди шундай ҳолатлар 1960 йилда Чилида рўй берган зилзила ва кўплаб қайтарилган афтершоклар ва 1964 йилда Япониянинг Нииагата шаҳрида юз берган зилзилалар натижасида ҳам рўй берган. Бунда катта миқдордаги грунтнинг қуйқаланиб кўчишидан жуда катта офатлар содир бўлган.

Грунтларнинг тиксотропик хусусиятлари жуда хавфли ва мураккаб ҳодиса бўлиб, ҳозирги пайтда яхши ўрганилмаган. Таркибида 1,5–2 фоиз соғ тупроқ ва лойли фракциялар мавжуд бўлган грунтлар тиксотропик хусусиятига эга бўлиши маълум. Лойли грунтлар миқдори кўпайган сари грунтлардаги тиксотропик хусусияти ҳам орта боради. Бу хусусият фақат механик таъсирлар чоғида суюлтириш учун лозим бўлган минимал миқдордаги сув мавжуд бўлган грунтлардагина пайдо бўлади. Грунт таркибида сув қанча кўп бўлса, тиксотропик ҳодисаси шунча кенг содир бўлади.

Грунтга механик таъсир кўрсатилиши билан у суюлади, аммо дастлабки ҳолатига қайтиш жараёни анча чўзилади. Шуниси қизиқки, бунда грунтнинг механик кўрсаткичлари анча ўсади.

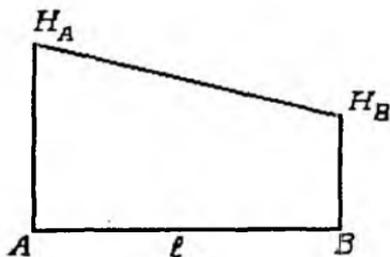
Грунтларнинг физик-механик хоссалари орасида, зилзилабардошлик нуктаи назаридан энг муҳими сув ўтказмаслик ва

мустақкамлик хусусияти ҳисобланади. Грунтларнинг деформацияланишидек муҳим хусусияти сейсмик жиҳатдан унча аҳамиятли эмас, чунки грунтларнинг деформацияланиш жараёни (зилзила таъсирига нисбатан) анча узоқ вақт мобайнида рўй беради. Бунинг сабаби, грунтларда реалогик хусусият (кучланиш ўзгармаганда деформациянинг ёки деформация ўзгармаганда кучланишнинг вақт бўйича ўзгаришлари) секин-асталик билан номоён бўлиб боради.

Грунтларнинг сув ўтказмаслиги деганда, таъсир этувчи босим остида ўзидан гравитацион сувларни (яъни, оғирлик кучи таъсирида ҳаракатланувчи сувларни) ўтказиш хусусияти тушунилади. Таъсир этувчи босим деб, А ва В нукталардаги (5.1-расм) H_A ва H_B босимларнинг фаркига айтилади. Таъсир этувчи босимнинг А ва В нукталари орасидаги масофага нисбати $i = \frac{H_A - H_B}{\ell}$ гидравлик нишаблик деб аталади. Бунда грунтдаги сувнинг сизиб ўтиш тезлиги гидравлик нишабликка пропорционал бўлиб, куйидаги Дарси муносабати орқали аниқланади:

$$V_{\phi} = ki \quad (5.1)$$

Бу ерда: V_{ϕ} – сувнинг сизиш (филтрацияланиш) тезлиги; i – гидравлик нишаблик; k – филтрация (сизиш) коэффиценти бўлиб, $i=1$ бўлганда филтрацияланиш тезлигини англатади. Шунинг учун ҳам у тезлик ўлчов бирлигига эга бўлиб, унинг қиймати грунтнинг хоссаларига боғлиқдир. Аммо у сизиш оқимини ифодаламай, грунтнинг физик-механик хоссаларини ифодалайди.



5.1-расм. Филтрация патижасида босимнинг ўзгариши

Филтрацион оқимнинг ҳаракати оддий шароитларда ламинар тартибда кечади ва грунт бағрида грунтнинг “тормозловчи” кучлари деб

аталувчи турли гидравлик қаршилиқларга дуч келади. Бу ҳолда грунт заррачаларига кучи тормозловчи кучларга тенг бўлган сув босими таъсир этади. Бу босим сизиш (филтрацион) босими деб аталади. Сизиш босимининг маълум бир қийматларида грунтнинг майда зарралари грунт массивидаги йирикрок ғоваклар орқали ҳаракатланади. Бу эса грунт структурасида емирилиш ҳодисасининг рўй беришига олиб келади. Бу ҳодиса суффозия ҳодисаси деб аталади. Айрим ҳолларда грунтда лойқа ҳолатга ўтиш ва грунтда филтрацион (сизиш) ювилиш ҳодисаси содир бўлиши мумкин. Буни баъзан грунтнинг филтрацион ҳовураки (выпори) деб аташади. Грунтларнинг суффозия ва филтрацион ювилишга бўлган устуворлиги филтрациянинг критик градиенти $k_{кр}$ ва филтрациянинг критик тезлиги $V_{фкр}$ орқали баҳоланади.

Сувга тўйинган грунт сиқилганда ғоваклардаги сувлар қабул қиладиган ва сувларнинг сизишига (филтрациясига) сарф бўладиган ташқи босимнинг бир қисми нейтрал ёки ғовак босим деб аталади. Босимнинг грунт скелети қабул қиладиган ва зичлаштирадиган қисми самарали (эффektiv) босим ёки самарали кучланиш дейилади. Аммо, шунга эътибор бериш зарурки, нейтрал босим мутлако нейтрал бўлмасдан, у ғоваклардаги сув босимидир.

Бу нейтрал босим таъсирида сув грунт ғовакларидан сиқиб чиқарилади ва сув ғоваклар бўйлаб ҳаракат қилиб, грунтни емирадиган гидродинамик босимни ҳосил қиладди.

Гидродинамик босим катта бўлса, унинг кўпроқ қисми ғовак сувларига берилиб, у грунт ғовакларидан сувни сиқиб чиқаришга сарфланади. Бу ҳолда сувнинг ҳаракати энг кам қаршилиқ кўрсатувчи қисқа йўлдан боради ва бу йўл мустаҳкамлиги бузилиши мумкин бўлган грунтнинг сирпаниш чизиғига мос келади. Бундан кўринадики, ғовак босими грунт скелетига нисбатан нейтрал хусусиятга эга бўлмасдан, емирувчи куч ҳисобланади.

Бирор грунт учун филтрация тезлиги, рухсат этилган тезликдан катта бўлса, суффозия ва филтрацион босим натижасида катта диаметрли йўналтирилган ғоваклар системасини ҳосил қилиш мумкин. Филтрацион оқим мана шу ғоваклар бўйлаб ҳаракатланганда, оқимнинг бу ҳаракати ламинар режимдан гирдобли (турболент) режимга ўтиши мумкин, бу ҳолат грунтнинг емирилиш жараёнини кескин тезлаштиради.

Грунт мустаҳкамлиги деганда, ташқи кучлар таъсирида грунтнинг емирилмаслик хусусияти тушунилади. Бу ҳар қандай материалга хос таъриф, аммо грунт бу таърифга мос келмайдиган ўзига хос баъзи хусусиятларга эга. Бундай хусусиятлар кўпроқ сочилувчан ва заиф боғланган грунтларга тааллуқлидир. Чунки қоятошли грунтларнинг мустаҳкамлиги ва уларни аниқлаш усуллари эластиклик ва пластиклик назариясининг “мўрт” материалларга хос мустаҳкамлик шартларидан деярли фарқ қилмайди.

Сочилувчан ва заиф боғланган грунтлар умуман чўзилишга ишламайди: сиқилиш кучланишлари эса учта йўналиш бўйича сиқувчи куч қўйилган нуқтадан анча узоқда жойлашган грунт массиви ичидаги нуқталарда содир бўлиши мумкин.

Грунт емирилишининг асосий кўринишларидан бири – уларнинг бир қисми бошқа қисмига нисбатан силжишидир. Бундай силжиш деформациялари эса уринма кучланишлар – τ нинг қиймати грунт қаршилигининг чегаравий қийматидан ортганда рўй беради. Уринма кучланишнинг бу қиймати Кулон қонуни ёрдамида аниқланади, яъни:

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + C \quad (5.2)$$

Бу ерда: τ – грунтнинг силжишга бўлган чегаравий қаршилиги; P – сиқувчи босим кучи; φ – грунтнинг ички ишқаланиш бурчаги; C – грунтнинг боғланиш коэффициенти. Боғланмаган грунтлар учун C нинг қиймати ($C=0$) нолга тенг бўлади. Ҳар хил грунтлар учун φ ва C нинг тахминий қийматлари 5.2-жадвалда келтирилган.

5.2-жадвал

Қумли ва тупроқли грунтлар учун φ ва C нинг тахминий қийматлари

№	Грунтларнинг турлари	φ (град)	C (кгк/см ²)
1	Йирик қумли грунтлар	43-38	0,01-0,02
2	Ўртача қумли грунтлар	35-40	0,01-0,03
3	Майда қумли грунтлар	28-38	0,02-0,06
4	Қумли-чангсимон грунтлар	26-36	0,02-0,08
5	Қумтупроқ	21-30	0,03-0,15
6	Суглинка	17-26	0,12-0,39
7	Гил	7-21	0,29-0,81

Грунтнинг силжишга бўлган қаршилиги вибратион таъсирлар натижасида кескин камаяди. Бунинг сабаби вибратсия жараёнида сиқувчи босимнинг даврий равишда камайиши ва зарралар орасидаги боғланишнинг бузилишидир. Ташқаридан караганда бу ҳодиса тиксотропик ҳодисага ўхшаган бўлиб, ундан қурилиш ишларини бажаришда кенг фойдаланилади, масалан, свай қозикларни қоқишда.

5.2. Грунтли гидротехника иншоотларининг зилзилалар таъсиридан кейинги ҳолатлари

Грунтли иншоотларнинг шикастланиши деганда, уларнинг шакли, яъни геометриясининг шундай ўзгаришлари тушуниладики, бунда материал яхлитлигига путур етиб, иншоотдан кейинчалик нормал фойдаланиш имконияти қолмайди. Грунтли тўғонларда деформацияланиш жараёни амалда ҳамма вақт ҳам давом этади ва бу жараён иншоотнинг баландлигига, грунтларнинг турига ҳамда бунёд этишдаги бажарилган иш сифатига (материални зичлаштириш даражасига) боғлиқ бўлади. Иншоотнинг деформацияланиш жараёнига тўғоннинг конструкцияси ҳам маълум даражада таъсир этади, масалан, тўғондаги фильтрацияга қарши ишлатиладиган конструктив ечимларнинг турлари ва уларнинг иншоот ичида жойлашуви тўғон деформациясига таъсир этмай қолмайди.

Айниқса, тўғон материали етарли даражада зичлаштирилмаса, у ҳолда тўғоннинг деформацияси катта бўлади. Тўғоннинг ишлаш ҳолати бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижаси кўрсатишича, деформациянинг мутлақ қиймати қуйидаги уч омилга: тўғоннинг баландлигига, қурилиш жараёнида грунтларни зичлаштириб бориш даражасига ҳамда иншоотдан фойдаланиш вақтига (муддатига) боғлиқ. Агар тўғон материали қурилиш жараёнида сунъий равишда зичлаштириб борилмаса, иншоотдаги статик деформациялар 2–3 марта юқори бўлади. Мутлақ қийматига кўра, бундай деформациялар 1 ва ундан ортиқ метрни ташкил этиши мумкин. Таҷрибалар кўрсатишича, баландлиги 100 м бўлган тош-тупроқли сунъий зичлаштирилмаган тўғон чўққисининг деформацияси (деформациянинг иккита ташкил этувчиси бўйича ҳам) 30 йилдан кейин 1 м дан ошиши мумкин.

Қатор грунтли тўғонларда (айниқса босимли томонига экран қўйилган тўғонларда) статик деформациялар аниқ фазовий кўринишда бўлади: максимал деформациялар иншоотнинг марказий қисмида ҳосил бўлиб, тўғон бўртига томон сўниб боради.

Сейсмик таъсирлар тўғонларда содир бўладиган деформацияларни тезлаштиради, яъни бир неча ўн йиллар давомида ҳосил бўладиган деформациялар бир неча лаҳзада содир бўлади. Бундан ташқари, қумли грунтлардан қурилган тўғонларда етарли интенсивликдаги динамик кучлар, бир лаҳзада максимал статик деформациядан ортиқроқ деформацияни ҳосил қилиши мумкин. Бунинг сабаби шундаки, катта динамик кучлар таъсирида грунт заррачалари ўз ўринларини ўзгартиради, натижада улар эгаллаган ҳажм кичраяди.

Грунтли тўғонлар учун қуйидаги шикастланишлар энг кўп хавф туғдиради: сезиларли чўкишлар, иншоот бўлагининг силжиши, қияликларнинг ўпирилиши, узун ва чуқур ёриқлар. Тўғон чўққисининг катта миқдорда чўкиши сувнинг чўққи орқали тошиб ўтишига ва грунтларнинг ювилишига, тўғоннинг қисман ёки тўлиқ емирилишига, сув босими фронтининг тўғонни ёриб ўтишига олиб келиши мумкин.

Фильтрацияга қарши элементлар яхлитлигининг бузилиши (экран, ядро, диафрагмаларда ёриқларнинг пайдо бўлиши, бундай элементларнинг алоҳида қисмларини ўзаро силжиши) шикастланишларнинг жиддий турлари сирасига қиради.

Грунтли тўғон танасида тўпланган фильтрация йўлларининг очилиши иншоотнинг жиддий шикасланишига сабаб бўлиши мумкин. Бундай ҳолатда зилзила таъсирида вужудга келган ёриқлардан сувнинг оқиб ўтиши ички емирилиш (суффозия) ҳолатини вужудга келтиради. Японияда қурилган бир қанча ирригацион дамбаларнинг бузилиш характери айнан ана шу механизмга хос бўлган. Бундай ҳолларда иншоот бирданига бузилмай, зилзиладан маълум вақт (бир неча соат ёки кун) ўтгандан кейин содир бўлади. Шикастланишнинг кўринишларидан бири – боғланмаган грунтларнинг суюлишидир. Зилзила таъсирида қумларнинг билкиллаб суюлиб кетиши оқибатида қатор тўғонларнинг жиддий шикастлангани маълум. Бундай суюлиш ҳолати иншоотнинг танасида ҳам, заминда ҳам рўй бериши мумкин.

Келтирилган статистик маълумотлар кўрсатишига, 1875 йилдан 1975 йилга қадар 400 га яқин грунтли тўғон, дамба ва тепаликлар 4–6 ва ундан юқори балли зилзилаларни бошидан кечирган. Бунинг натижасида баъзи тўғонлар жиддий шикастланган. Грунтли иншоотларнинг зилзила таъсирида энг кўп деформацияланиши, шикастланиши ва авариялари Японияда содир бўлган. Бунинг сабаби, биринчидан, бу давлатда ернинг тез-тез қаттиқ қимирлаб туриши бўлса, иккинчидан, қурилган тўғонларнинг сони кўплигидир. 1966 йилдаги маълумотларга қараганда, бу мамлакатда 1226 та тўғон мавжуд бўлиб, буларнинг 90 фоизининг баландлиги 15 м дан зиёд бўлган.

1906 – 1975 йиллар давомида грунтли гидроиншоотлар устида олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, ММ шкаласи бўйича 6–10 баллик зилзилани бошидан ўтказган 69 тўғон, дамба ва тепаликлардан 41 фоизи умуман шикастланмаган, 25 фоизи енгил ва 17 фоизи ўртача шикастланган. Қолган 17 фоизи, шу жумладан, Сан-Андреас (баландлиги $H=29$ м, АҚШ), Шеффилд (баландлиги $H=9,6$ м, АҚШ) ва бошқа унча баланд бўлмаган тўғон ва дамбалар жиддий зарар кўрган ва бузилган.

Лос-Анжелос шаҳри яқинида содир бўлиб, 12 секунд давом этган, кучли зилзила ($M=6,6$; $\Delta=22,5$ км) оқибатида Қуйи Сан-Фернандо ($H=43,3$ м) тупроқли тўғони жиддий шикастланган. Зилзила чоғида юқориги қиялик (305 м узунликда) бетон қоплама билан биргаликда ўпирилган, пастки қияликнинг юқори қисми ҳам силжиган.

1974 йил иккита сейсмик туртки ($M=6,5$) таъсирида Покистондаги баландлиги $H=154$ м бўлган Торбела тўғонининг ҳар хил қатталиқдаги ёриқлари бўлган қатлам устига ётқизилган энергетик қувурнинг 60 м лик қисми шикастланган. Бунинг натижасида тўғон материали, бетон ва қояларнинг синиклари оқиб кетган. Сув омборини бўшатиш пайтида (сатҳни 23 кун мобайнида 100 м га пасайтириш вақтида) пастки бьефнинг қояси ювилиб кетган.

Собик СССР ҳудудида жойлашган тупроқли тўғонларнинг аксарияти кучли зилзилаларга яхши бардош берганлиги тўғрисида маълумотлар бор. Масалан, (баландлиги $H=45$ м, тош-шағал грунтдан қурилган) Иркутск тўғони 9 баллик Бойқол зилзиласида шикастланмаган.

Бўзсув-1 тўғони (баландлиги $H=27,5$ м, бетон экранли, соғ тупроқдан қурилган) 1946 йилда содир бўлган 7 баллик зилзила натижасида деярли зарарланмаган, фақат 28 см га чўккан, холос.

1970 йилдаги Доғистон зилзиласида Сўлак дарёсида қурилган (баландлиги $H=37$ м, марказий қисми тупроқдан иборат бўлган, тошшағал грунтли) Чирюрт тўғони жиддий шикастланган. Зилзила натижасида бутун тўғон узунлиги бўйлаб ёриқлар пайдо бўлган. Тўғон грунтининг юқори қатлами юмшаган. Аммо тўғон емирилмаган ва таъмирлаш ишлари бажарилгандан сўнг фойдаланишга топширилган.

Ҳар хил кучга эга бўлган сейсмик таъсирлар натижасида грунтли тўғонларда турли кўринишдаги деформациялар ва шикастланишлар содир бўлиши мумкин.

Тўғонларнинг баъзи шикастлари кўпинча заминнинг геологик хусусиятларига боғлиқ бўлади: масалан, заиф лой қатламининг мавжудлиги ҳам иншоотнинг ишдан чиқишига олиб келиши мумкин.

Келтирилган маълумотларда зилзилалар таъсирида грунтли тўғонларда вужудга келадиган характерли деформация ва шикастланишларнинг сони эмас, балки шу деформация ва шикастланишлар келиб чиқиш сабабларининг муҳандислик таҳлили катта амалий аҳамиятга эга.

Бундай таҳлилий маълумотлар грунтли тўғонларнинг сейсмик мустақамлигини ошириш, мукамал конструктив тадбирлар мажмуасини белгилаш учун ва уларнинг самарадорлигини ошириш учун катта имкониятларни яратади.

Жаҳон амалиётидаги статистик маълумотлар таҳлиliga асосланиб, грунтли материаллардан қурилган гидроиншоотлар сейсмик деформацияларининг, шикастланишларининг ва аварияларининг куйидаги асосий кўринишлари ва сабабларини кўрсатиб ўтиш мумкин:

1. Иншоот материали ва замин грунтларининг зичлашуви, шунингдек, сейсмик таъсирлар натижасида қияликларнинг силжишидан ҳосил бўлган горизонталь ва вертикал кўчишлар тўғоннинг ҳар хил даражадаги чўкишларини ҳосил қилган. Бу ҳолда тўғоннинг умумий чўкиши иншоот баландлигининг 10 фоизигача бўлган улушини ташкил қилган. Масалан, Мурояма (Япония) тўғонининг чўкиши 0,65 фоизини, Оно (Япония) да 0,8 фоизини, Хобген (АҚШ) да 5,6 фоизини

ташқил этган. Ноқулай шароитларда тўғоннинг сейсмик чўкишлари (осадки) жуда катта бўлиши ҳам мумкин (масалан, Япониянинг Хосороги тўғонининг чўкиши тўғон баландлигининг 40 фоизини ташқил қилган).

2. Сейсмик кучлар таъсирида тўғоннинг маълум қисмида горизонталь қолдиқ силжишлар ҳосил бўлиб, иншоотнинг пландаги ўқи қийшайишига олиб келган. Бундай силжиш ва оғишлар бир неча сантиметрдан бир неча метргачани ташқил қилган. Масалан, Сан-Андреас (АҚШ) тўғони қиррасининг силжиши 2 м га, Хосороги (Япония) тўғонининг силжиши эса асос кенглигига тенг бўлган.

3. Сейсмик деформациялар натижасида тўғоннинг юқори ва пастки қияликлари кўчиши тўғонда турли даражадаги бўйлама ва кўндаланг ёриқларни ҳосил қилган. Кенглиги 40 см гача, чуқурлиги 10–20 м гача ва узунлиги бир неча юз метргача бўлган бўйлама ёриқлар 20 дан ортиқ тўғонларда (Сан-Андреас – АҚШ, Хебген – АҚШ, Мурояма – Япония, Глобочица – Югославия, Чирюрт – собиқ СССР ва бошқаларда) учраган. Бундай ёриқларнинг пайдо бўлиши тўғонлар учун катта хавф туғдиради.

4. Тўғоннинг ҳар хил қисмлари (ядро, экран, таянч призмалари, ўтиш зоналари ва бошқалар) турли жинсли материаллардан қурилганлиги учун, сейсмик таъсирлар натижасида, улар орасида контакт бўйича қатламланиш, шунингдек, грунт материаллари ва бирик бетон ядро ёки диафрагма контакти бўйича чўкишлар ва ёриқлар пайдо бўлган. Оно (Япония) тўғонида таянч призма ва марказий ядро оралиғида чуқурлиги 21 м бўлган ёриқ пайдо бўлган, Хебген (АҚШ) тўғонида грунт 1,5 м га чўккан, ядронинг икки томонида эса бўйлама ёриқлар очилган, ядродаги ёриқнинг чуқурлиги 15 см ни ташқил этган ва ҳ.к.

5. Зилзилалар мобайнида тўғон қияликларида қолдиқ деформациялар ва кўчишлар (кўчки, материалнинг сочилиши, силжиши, ўпирилиши ва ҳ.к.) пайдо бўлган. Қияликларнинг қуйи қисмини ўпирилиши Мурояма (Япония) ва АҚШ нинг Буена Виста тўғонида кузатишган, Частворф (АҚШ) тўғонида юқори қияликка қўйилган мослама ўпирилган, Коготи (Чили) тўғони қияликларидан тошлар думалаб тушган ва ҳ.к. Сирпаниш сиртлари бўйлаб қияликларнинг катта бўлаклар

ри силжиган ва ўпирилган (АҚШ даги Шеффилд ва Сан-Фернандо тўғонлари). Тўғоннинг нам тортган юқори қияликларининг намланмаган пастки қияликларга нисбатан сейсмик мустаҳкамлиги анча заифлиги аниқланган. Бунинг сабаби юқори қияликка зилзила жараёнида қўшимча равишда гидродинамик босим таъсир қилади ва унга таъсир қилаётган инерция кучлари фақат грунт массасидан ҳосил бўлмасдан, говакларни тўлдириб турган сув массасидан ҳам ҳосил бўлиши билан изоҳланади. Бундан ташқари, грунтнинг намланганлиги туфайли, юқори қияликда силжишга бўлган қаршилик ҳам камаяди. Япон олимларининг кузатувларига қараганда зилзилалар таъсирида 31 та грунтли тўғонларнинг 17 тасида юқори қиялик, 6 тасида ҳам юқори, ҳам пастки, 8 тасида фақат пастки қиялик ўпирилган.

Шунинг учун, зилзилавий ҳудудларда қуриладиган грунтли тўғонларни лойиҳалаштиришда устки қияликлар зилзилабардошлигини таъминлашга алоҳида эътибор бериш зарур.

5.3. Грунтли тўғонларни чекли элементлар усули ёрдамида ҳисоблаш асослари

Мазкур монографиянинг 4-бобида кўриб ўтилган ҳисоблаш усуллари оддий ва тақрибий бўлиб, содда конструкцияларга таъсир қиладиган сейсмик кучларнинг фақат тақрибий қийматларини аниқлаш имкониятини беради, холос.

Тўғонларнинг чўкиши, ёрилиши, қатламланиши ва ўпирилиши сингари ҳодисаларга баҳо бериш учун, энг аввало, унинг кучланиш-деформацияланиш ва динамик ҳолатларини аниқлаш талаб қилинади. Бу масалаларни ҳал қилишда ҳам иншоотнинг конструктив жиҳатларини, ҳам материалнинг бир жинсли эмаслигини ҳисобга оладиган ва ҳозирги кун талабига тўлиқ жавоб берадиган самарали усуллардан фойдаланиш тўғри бўлади.

Бу талабларга тўлиқ жавоб берадиган усул – бу чекли элементлар усулидир (ЧЭУ). Мазкур усул номининг ўзи унинг моҳиятидан дарак бериб турибди, яъни бу усулни қўллашда иншоот тузилишига кўра содда бўлган алоҳида элементларга бўлиб чиқилади ва улардаги кучланиш-деформацияланиш ҳолати иншоотнинг ўша қисмига доир бар-

ча хусусият ва ҳолатини ўзида тўлиқ акс эттиради. Элементларнинг кўшилиши (бирикиши) мувозанат шартлари ва кўчишларнинг узлуксизлик шартларини таъминлаш йўли билан амалга оширилади. Ҳар бир элементнинг ҳолати умумлашган координаталарнинг чекли сони билан ифодаланади.

Бундай ёндашув стерженлар, плиталар, қобиклар, бир жинсли бўлмаган массивлар ва бошқалардан ташкил топган реал конструкциялар материалларининг бир жинсизлик хусусиятларини инobatга олган ҳолда кучланиш-деформацияланиш ҳолатларини баҳолаш усулларини яратиш имконини беради.

Чекли элементлар усулини қўллашда, эластиклик назариясидаги каби, масалаларни ечишда ишлатиладиган тенгламаларни уч гуруҳга ажратиш мумкин. Яъни: 1) системаларнинг мувозанат ҳолатини ифодаловчи статик (динамик) ёки вариацион тенгламалар; 2) деформация ва кўчишларни ўзаро боғловчи геометрик тенгламалар; 3) кучланиш ва деформацияларни ўзаро боғловчи физик тенгламалар.

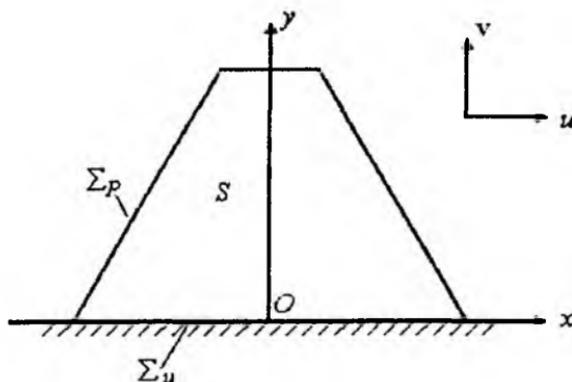
Чекли элементлар усули стерженли системалар учун, материаллар қаршилигида қабул қилинган фаразлар доирасида етарли даражада аниқ усул саналади. Чунки ҳар қандай ташқи таъсирлар натижасида вужудга келадиган кучланиш-деформацияланиш ҳолатини “аниқ” ҳисоблаш имконини яратади. Пластина, плита ва қобикларда масала бироз бошқача тус олади, буларда узлуксизлик шартлари фақат тугунларда амал қилади, шу муносабат билан чекли элементлар усули вариацион маъно касб этади.

Чекли элементлар усули стерженли системалар ҳолатини аниқ ифодалагани билан, гарчи ўз структурасини сакласа-да, узлуксиз (континуал) муҳитлар учун тақрибий тус олади. Бундай ҳолда соҳа оддий геометрик шакллардан ташкил топган алоҳида чекли элементларга ажратилади, ҳисоб ишларига учбурчак ва тўртбурчак шаклли элементларнинг киритилиши ишни анча қулайлаштиради. Элементларга ажратиш ва бу элементларни бир-бири билан ўзаро бирлаштириш баъзи ҳолларда тугунларда амалга оширилади, чунки бунда мувозанат ва кўчишларнинг узлуксизлик шартлари тўлиқ ба-жарилади.

Системанинг оддий шаклларга ажратилиши, умуман конструкци-янинг алоҳида қисмларга ажралганини англамайди. Амалда чекли

элемент алоҳида турдаги эластик элемент бўлиб, ҳисоблаш моделида деформацияларнинг узвийлигини саклаш мақсадида, элементларнинг деформацияланиш шаклига маълум чекламалар қўйилади. Ҳисоб натижаларининг аниқлик даражаси чекли элементларнинг сонини кўпайтириш орқали амалга оширилади. Бу ҳолда нукталар (тугунлар) сони ортиши билан кўчишларнинг узлуксизлик шартлари аниқроқ қаноатлантирилади.

Шундай қилиб, яхлит муҳит (иншоот), ўзаро тугун боғламалари орқали боғланган, учбурчак ёки тўртбурчак шаклли дискрет элементлар йиғиндиси билан алмаштирилади. Бу ҳолат тугун нукталарига қўйилган кучлар билан, шу кучлар таъсирида вужудга келадиган кўчишлар орасида боғланиш ўрнатиш имконини беради. Ҳар бир элемент чегарасида кўчишлар чизикли (ёки чизиксиз) деб қаралади, бунинг натижасида барча кўчишлар, деформациялар ва элементдаги кучланишларни тугун кўчишлари орқали ҳисоблаш имкони туғилади. Барча кучлар (хусусий оғирлик, инерцион, гидростатик, гидродинамик ва бошқа кучлар) тугунларга келтирилади ва яхлит (тарқалган массали) жисмнинг тебранишлар ҳисоби, чекли элемент тугунларига қўйилган дискрет массали системаларнинг тебранишлари ҳисобига келтирилади.



5.2-расм. Текис деформацияланиш ҳолатида ишловчи, бирлик қалинликка эга бўлган тўғон модели

Чекли элементлар усули вариацион усул ҳисобланади, шунинг учун грунтли иншоотлар зилзилабардошлигига оид қатор масалаларни вариацион йўл билан ҳал қилишни кўриб чиқамиз.

Одатда, тўғоннинг узунлиги колган икки ўлчамига нисбатан анча катта бўлади, шунинг учун бу ҳолатни текис кучланиш ҳолатидаги эластик яхлит жисм сифатида қараса бўлади. Бу ечилаётган масалани анча соддалаштиради. Шунинг учун тўғон моделини кесим юзаси S га ва қалинлиги бирга тенг бўлган яхлит жисм деб қараш мумкин (5.2-расм). Бу ҳолда S юзада жойлашган ҳар бир нуктанинг горизонталь кўчишини “ u ” ва вертикал кўчишини “ v ” деб олинади.

Бу модель асосида тўғоннинг ҳар бир нуктасидаги кучланиш-деформацияланиш ҳолатини (КДХ) аниқлаш учун куйидаги вариацион тенгламани ечиш талаб этилади:

$$-\int_S [\sigma_x \delta \varepsilon_x + 2\tau_{xy} \delta \gamma_{xy} + \sigma_y \delta \varepsilon_y] ds - \rho \int_S [\ddot{u} \delta u + \ddot{v} \delta v] ds + \int_S f_y \delta v ds + \int_{\Sigma_p} [P_x \delta u + P_y \delta v] d\Sigma = 0 \quad (5.3)$$

$$x, y \in \Sigma_u : u = 0, v = 0 \quad (5.4)$$

Бу (5.3) тенгламадаги интеграллардан биринчиси – ички кучларнинг, иккинчиси – инерция кучларининг, учинчиси – масса кучларининг, тўртинчиси эса Σ_p майдончага қўйилган ташқи куч (гидростатик, гидродинамик ва бошқа) ларнинг виртуал ишларини ифодалайди.

Бу ерда: $\delta u, \delta v$ – кўчиш компоненталарининг вариациялари;

$\delta \varepsilon_x, \delta \varepsilon_y, \delta \gamma_{xy}$ – деформация компоненталарининг вариациялари;

f_y – « y » ўқи йўналиши бўйича таъсир этувчи масса кучи;

P_x, P_y – Σ_p майдончага x ва y ўқлари йўналиши бўйича таъсир этувчи ташқи куч компоненталари;

ρ – материал зичлиги.

Деформация компоненталари Коши формуласи орқали аниқланади:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (5.5)$$

Кучланиш билан деформация компоненталари орасидаги боғланиш умумлашган Гук қонуни ёрдамида ифодаланади:

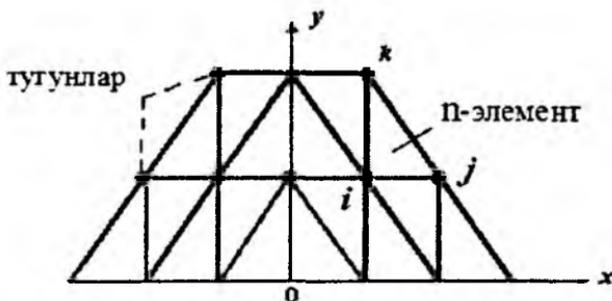
$$\begin{aligned} \sigma_x &= \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y) + 2G\varepsilon_x, \\ \sigma_y &= \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y) + 2G\varepsilon_y, \\ \tau_{xy} &= G\gamma_{xy} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Бу ерда: σ_x, σ_y – нормал, τ_{xy} – уринма кучланишлар.
 λ, G – Ляме коэффициентлари бўлиб, қуйидаги формулалар орқали аниқланади:

$$\lambda = \frac{E \cdot \mu}{(1 - 2\mu)(1 + \mu)}, \quad G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

E, μ – материалнинг эластиклик модули ва Пуассон коэффициенти.
 (Эслатма: Деформация ва кучланишларни белгилашда қуйидаги белгилашлар ҳам учраши мумкин: $\epsilon_{11}, \epsilon_{12}, \epsilon_{22}, \sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{22}$ ёки $\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yy}, \sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{yy}$. Бу ҳолда, $\epsilon_{11} = \epsilon_{xx} = \epsilon_x, \epsilon_{12} = \epsilon_{xy} = \gamma_{xy}, \epsilon_{22} = \epsilon_{yy} = \epsilon_y, \sigma_{11} = \sigma_{xx} = \sigma_x, \sigma_{12} = \sigma_{xy} = \tau_{xy}, \sigma_{22} = \sigma_{yy} = \sigma_y$ деб тушинилиши керак).

Ушбу (5.3) – (5.6) вариацион масалани чекли элементлар усули ёрдамида ечиш мумкин. Бунинг учун деформацияланувчи қаттиқ жисмнинг S юзаси учбурчак шаклидаги чекли элементларга бўлиб чиқилади (5.3-расм), яъни дискретизация қилинади.



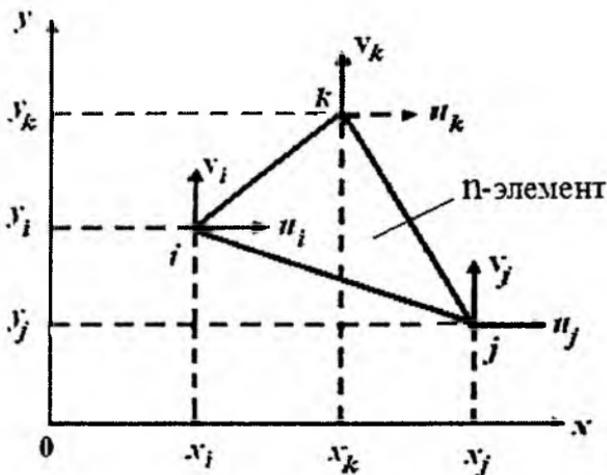
5.3-расм. Тўғон моделини учбурчакли чекли элементларга бўлиб чиқиш (дискретизация қилиш)

n -элемент ичидаги кўчиш компоненталари (u, v) ларнинг ўзгариши (5.4-расм) тугундаги кўчишлар ва элемент координаталари орқали чизиқли аппроксимация ёрдамида аниқланади.

Қўйилган юкларнинг турларига қараб, вариацион тенглама (5.3) ни чекли элементлар усули ёрдамида қуйидаги тенгламалар системаларини ечишга келтириш мумкин:

а) иншоотга фақат статик кучлар қўйилган бўлса, қуйидаги кўринишдаги алгебраик тенгламалар системасини ечишга тўғри келади:

$$[K] \{u\} = \{f\} \quad (5.7)$$



5.4-расм. Учбурчакли чекли элемент тугунларидаги кўчиш компоненталари ва координаталарини белгилаш

б) иншоотнинг хусусий тебранишларини текширишда (ҳеч қандай куч қўйилмаган ҳол) қуйидаги кўринишдаги бир жинсли алгебраик тенгламалар системасининг хос сон ва хос векторини аниқлашга тўғри келади:

$$([K] - \omega^2 [M])\{u\} = 0 \quad (5.8)$$

в) иншоотга динамик (сейсмик) кучлар таъсир қилганда, бу иншоотнинг мажбурий тебранишлари (бошланғич шартлари $u(0) = u_0$, $\dot{u}(0) = \dot{u}_0$ бўлган ҳолда) текширилиб, иккинчи тартибли оддий дифференциал тенгламалар системасини ечишга тўғри келади:

$$\begin{aligned} [M]\{\ddot{u}\} - [K]\{u(t)\} &= \{P(t)\} \\ u(0) &= u_0, \quad \dot{u}(0) = \dot{u}_0 \end{aligned} \quad (5.9)$$

Бу тенгламаларда қуйидаги белгилашлар қабул қилинган:

$[K]$, $[M]$ – иншоотнинг бикирлик ва масса матрицалари, ω – иншоотнинг изланаётган хусусий частотаси, $\{u\}$ – иншоотнинг изланаётган тугун кўчишларининг вектор компоненталари.

Бу (5.7), (5.8), (5.9) тенгамалар системасини ечиш махсус ЭҲМ дастурлари ёрдамида бажарилади. Кафедра ходимлари томонида бу тенгламаларни ечиш учун махсус дастурлар ишлаб чиқилган ва

уларга Ўзбекистон Республикаси Патент идорасининг муаллифлик гувоҳномалари олинган.

(5.7), (5.8), (5.9) тенгламаларни ечиш натижасида иншоотнинг барча тугунлардаги (5.3-расм), кўчишлар u , v нинг қийматлари аниқланади, кейин ҳар бир чекли элемент ичидаги (ихтиёрий нукталардаги) кўчишлар u , v деформациялар $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ ва кучланишлар $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ аниқланади.

Демак, иншоотга таъсир қилаётган ташқи кучларга қараб юқорида кўрсатиб ўтилган ҳисоб ишларини бажарадиган бўлсак, у ҳолда тўғоннинг S юзасидаги (5.2-расм) ҳар бир нуктада ҳосил бўладиган кучланиш-деформацияланиш ҳолати ҳақида тўлиқ маълумотга эга бўламиз. Масалан, статик кучлар таъсирида тўғоннинг чўкиши тенгламалар системаси (5.7) нинг ечимлари орқали аниқланади. Тўғоннинг ҳар битта нуктасида ҳосил бўладиган деформация ва кучланишларни аниқлаш учун (5.7) тенгламалар системасининг ечимларини (5.5) ва (5.6)га қўйилади.

Зарурият туғилганда тўғоннинг исталган нуктасида ҳосил бўладиган бошқа кучланишларни қуйидаги формулалар ёрдамида аниқлаш мумкин:

– максимал уринма кучланишни

$$\tau_{\max} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (5.10)$$

– бош нормал кучланишларни

$$\sigma_{1,2} = \sigma_{\max/\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (5.11)$$

– нормал кучланиш ва деформациянинг интенсивлигини

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_y))^2 + (-\sigma_x + \nu(\sigma_x + \sigma_y))^2 + 6\tau_{xy}^2}$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{2(1+\nu)} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \frac{3}{2}\gamma_{xy}^2} \quad (5.12)$$

Бу натижаларни тегишли мустаҳкамлик назарияларининг формулаларига олиб бориб қўйиб, тўғоннинг ҳар битта нуктасидаги мустаҳкамликка (зилзилабардошликка) ёки тўғон нишабликларининг устуворлигига баҳо бериш мумкин бўлади.

ЧЭУ дан фойдаланиб, тўғон ҳисобини текис ёки фазовий ҳисоблаш схемалари бўйича бажариш мумкин. Олиб борилган тадқиқотлар кўрсатишича, агар тўғоннинг узунлиги унинг баландлигидан 4 ёки ундан зиёд марта ортик бўлса, ҳисобни биз курган модель асосида, яъни текис схема бўйича бажариш амалиётини қаноатлантирадиган натижаларни олиш учун етарли имконият беради.

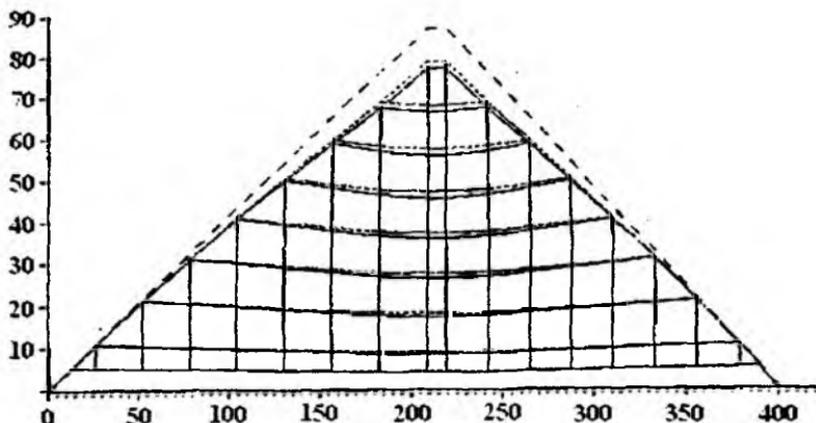
ЧЭУ ни қўллаш тўғон материалининг бир жинсли эмаслигини ҳисобга олиш (яъни бир элементдан бошқа элементга ўтганда физик-механик параметрларнинг ўзгаришини ҳисобга олиш) имкониятини беради. Бу, айниқса, ҳар хил материаллардан курилган бир нечта зонадан иборат бўлган грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини баҳолашда янада аҳамиятлироқдир.

Тошкент ирригация ва мелиорация институти (ТИМИ) “Назарий ва курилиш механикаси” кафедраси ходимлари томонидан грунтли иншоотларни ҳисоблашнинг комплекс услуги яратилган, тўғонларни ЭХМ да ҳисоблашга доир турли дастурлар ишлаб чиқилган ва булар учун Ўзбекистон Республикаси Патент идорасининг қатор муаллифлик гувоҳномалари олинган. Бу дастурлардан фойдаланиб республикамиздаги ва Марказий Осиёдаги бир қанча тўғонлар учун ҳисоб ишлари бажарилган.

Мисол тариқасида, 5.5-расмда Сўх тўғонини ўзининг хусусий оғирлиги таъсирида чўкиши (тўғоннинг турли нукталарини кўчишлари, яъни кўчиш майдони) баҳоланган. 5.6-расмда Тўполанг ва Хиссарак тўғонларида ўзининг хусусий оғирлиги таъсирида ҳосил бўладиган нормал кучланиш интенсивлиги σ_i нинг тақсимланиш изолиниялари¹ кўрсатилган (тўғоннинг барча участкалари бир хил материалдан курилган ҳолат учун). 5.7-расмда худди шу тўғонлар учун ўзининг хусусий оғирлиги таъсирида ҳосил бўладиган нормал кучланиш интенсивлиги σ_i нинг тақсимланиш изолиниялари тўғоннинг турли участкалари ҳар хил эластик грунтлардан курилган ҳолат учун кўрсатилган.

Барча ҳисоб ишларини бажаришда иншоотнинг реал геометрияси ва унинг ҳар хил зоналаридаги материалларнинг турли механик параметрларга эгаллиги ҳисобга олинган.

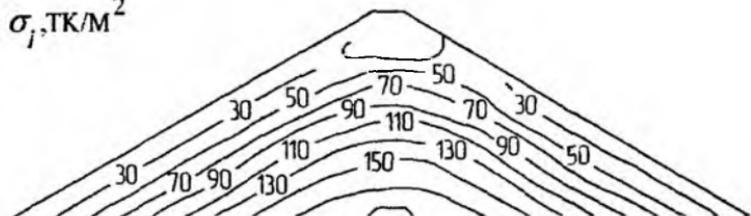
¹ Изолиния деганда бир хил қийматларга эга бўлган барча нукталарни бирлаштирувчи эгри чизик тушунилади.



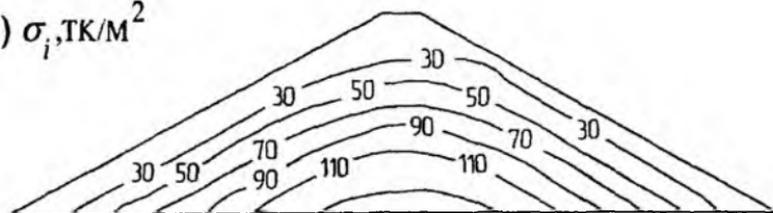
5.5-расм. Сўх тўғонининг хусусий оғирлиги таъсирида чўкиши:

----- — тўғоннинг чўкишдан олдинги ҳолати; ----- — тўғон бир хил материалдан қурилган ҳолатда бўладиган чўкиши; _____ — тўғоннинг ҳар хил участкалари турли хусусиятларга эга бўлган грунтлардан қурилган ҳолатда бўладиган чўкиши (бу чўкишлар схематик равишда кўрсатилган)

а) $\sigma_i, \text{ТК/М}^2$

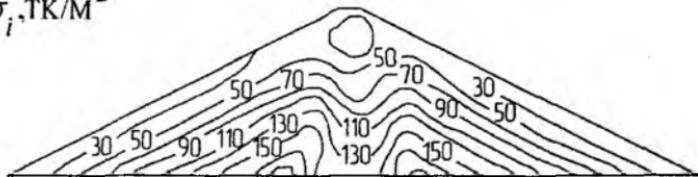


б) $\sigma_i, \text{ТК/М}^2$

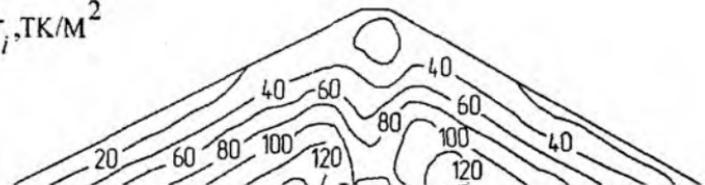


5.6-расм. Барча участкалари бир хил эластик грунтлардан қурилган Тўполанг (а) ва Хиссарак (б) тўғонларида хусусий оғирлиги таъсирида ҳосил бўладиган нормал кучланиш интенсивлиги σ_i нинг тақсимланиш изолиниялари

а) $\sigma_i, \text{ТК/М}^2$



б) $\sigma_i, \text{ТК/М}^2$



5.7-расм. Участкалари ҳар хил эластик грунтлардан қурилган Тўноланг (а) ва Хиссарак (б) тўғонларида ўзининг хусусий оғирлиги таъсирида ҳосил бўладиган нормал кучланиш интенсивлиги σ_i нинг тақсимланиш изолиниялари

5.4. Материалларнинг эластик-пластик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғонларнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатларини баҳолаш

Мазкур бўлимда янги яратилган услуб ёрдамида грунтли тўғонларда статик кучлар таъсирида ҳосил бўладиган кучланишни, деформацияни эластик-пластик қонуният бўйича содир бўлишини ҳисобга олган ҳолда кўриб чиқилади. Қаралаётган масалани моделлаштиришда, иншоот бир жинсиз (яъни ҳар хил материаллардан қурилган), $S=S_1+S_2+S_3$ юзани эгаллаган (5.7-расм) ва текис деформацияланиш ҳолатида деб олинади. Иншоотнинг тепа қисми ва пастки ён қиялиги кучланишдан холи, қуйи қисми бикир маҳкамланган ва иншоот масса кучлари ва сувнинг гидростатик босими остида деб қаралади. Шу билан бирга иншоотнинг тузилишга кўра бир жинсизлиги, унинг реал геометрияси, материалнинг эластик ва эластик-пластик деформацияланиши ҳисобга олинади.

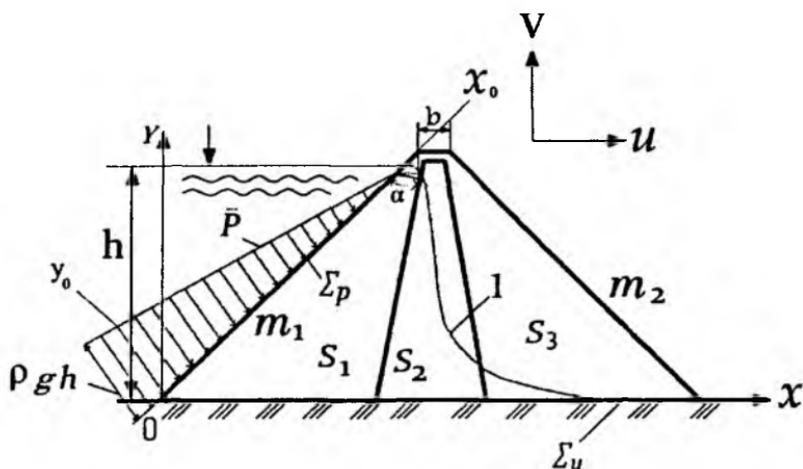
Масалани математик моделини тузишда Даламбер принципига асосланган Лагранжнинг вариацион тенгламаси (5.3) дан, кинематик

чегаравий шарт (5.4) дан, Коши формуласи (5.5) дан, Гук қонуни (5.6) дан ва кичик эластик-пластик деформация қонуниятларидан фойдаланилади.

Ҳисоб ишларини бажаришда сув омборининг ҳар хил даражада (яъни h баландликда) сувга тўлдирилганлиги ҳам кўриб ўтилади, шунга мос равишда сувнинг тўғонга бўлган гидростатик босими \bar{P} куйидаги формула орқали аниқланади:

$$\bar{P} = \rho_0 g(h - y) \quad (5.13)$$

Бу ерда: ρ_0 – сувнинг зичлиги; g – эркин тушиш тезланиши; $(h-y)$ – тўғоннинг юқори қиялигидаги ихтиёрий нуқтасининг чуқурлиги.



5.8-расм. Сув босими таъсири остидаги тўғоннинг модели: 1 – депрессия эгри чизиги; S_1, S_2, S_3 – тўғоннинг ҳар хил материаллардан қурилган участкаларининг юзалари; Σ_p – босим таъсир қилаётган юза; Σ_u – тўғоннинг асос билан бикир маҳкамланган юзаси

Масалани ечишда турли ташқи таъсирлар остида бўлган иншоотнинг ҳар бир нуқтасида вужудга келадиган кўчиш компоненталари (u, v) , деформациялар $(\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy})$ ҳамда кучланишларни $(\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$ аниқлаш талаб қилинади.

Қаралаётган масалани чекли элементлар усули билан ечишда бикирлик матрицаси $[K]$ нинг элементлари грунтнинг эластик-пластик деформацияланишини ҳисобга олган ҳолда тузилади. Бунинг учун (5.6) Гук қонундаги эластиклик параметр E , ν, μ лар ўзгарувчан

E^* , ν^* , μ^* лар билан алмаштирилади ва улар куйидаги формулалардан фойдаланиб аниқланади:

$$E^* = \frac{\sigma_i^*}{\varepsilon_i} \left[1 + \frac{1-2\nu}{3E} \frac{\sigma_i^*}{\varepsilon_i} \right]^{-1}; \quad \mu^* = \frac{\sigma_i^*}{3 \cdot \varepsilon_i} \quad (5.14)$$

$$\nu^* = \left[\frac{1}{2} - \frac{1-2\nu}{3E} \frac{\sigma_i^*}{\varepsilon_i} \right] \left[1 + \frac{1-2\nu}{3E} \frac{\sigma_i^*}{\varepsilon_i} \right]^{-1} \quad (5.15)$$

“Эластикликнинг ўзгарувчан параметрлари” орасидаги боғланиш эластик доимийлар E , μ , ν каби боғланган бўлади, яъни:

$$\mu = \mu^* = \frac{E^*}{2(1+\nu^*)} \quad (5.16)$$

Бу ерда: μ – силжишдаги эластиклик модули бўлиб, $\mu=G$; (5.14) ва (5.15) формулалардаги σ_i^* , ε_i – кучланиш ва деформацияларнинг интенсивлиги бўлиб, улар (5.12) формулалар ёрдамида аниқланади.

(Эслатма: σ_i^* , E , μ , ν лар устидаги юлдузчалар бу параметрларда материалнинг пластиклик хусусиятлари эътиборга олинганлигини билдиради).

Ҳисоб ишларини бажаришда $[K]$ нинг элементлари тўғоннинг ҳар бир нуқтасидаги материалнинг ўзгарган физик-механик параметрлари (5.14), (5.15) формулалар ёрдамида, эришилган деформацияланиш ҳолати ε_i га ва шунга мос кучланиш σ_i^* га боғлиқ ҳолда аниқланилади.

Бунда ечилаётган вариацион масала (5.3), иншоотни чекли-элементлар усули ёрдамида дискретизация қилинганидан сўнг, (5.7) тенгламадан фарқли равишда ўзгарувчи коэффициентли куйидаги алгебраик тенгламалар системасига келади:

$$[K(\sigma, \varepsilon)] \{u\} = \{P\} \quad (5.17)$$

Бу ерда: $\{u\}$ – изланаётган тугун кўчишларининг вектори, $\{P\}$ – ташқи (яъни масса кучлари ва сувнинг гидростатик босими ҳосил қилган) куч вектори, $[K(\sigma, \varepsilon)]$ – иншоот материалининг физик-механик параметрларига ва эришилган кучланиш-деформацияланиш ҳолатига боғлиқ бўлган бикирлик матрицаси.

Ҳосил қилинган алгебраик тенгламалар системаси (5.17) Гаусс усулида ечилади.

Юқорида эътироф этилган иншоотдаги хусусиятларни ҳисобга олган ҳолда, уларда пайдо бўладиган кучланиш-деформацияланиш ҳолатларини баҳолаш учун IBM PC га мўлжаллаб ҳисоблаш алгоритми ва дастурлари яратилган. Бу яратилган алгоритм ва ЭХМ дастурларнинг ишончилигини текшириш мақсадида бир қанча тест масалалари ечиб кўрилган. Бу дастурлар ёрдамида Сўх, Хиссарак, Тўполанг тўғонларининг (грунтнинг эластик ва эластик-пластик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда) кучланиш-деформацияланиш ҳолатлари тадқиқ этилган. Бу тўғонларда ҳосил бўлиши мумкин бўлган кўчишлар (u, v), деформациялар ($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$), кучланишлар ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$), шунингдек бош кучланишлар ($\sigma_1, \sigma_2, \tau_{max}$) ва кучланиш интенсивлиги σ_i нинг тўғон юзаси бўйича тақсимланиш қонуниятлари тўғонларнинг реал конструктив хусусиятлари ва материалнинг физик-механик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда баҳоланган.

5.5. Грунтли иншоотлар мустаҳкамлигини грунтларнинг чегаравий-кучланиш ҳолатини ҳисобга олган ҳолда баҳолаш

Маълумки, иншоотларнинг кучланиш ҳолатларини ҳар тарафлама ўрганиш, тўғон ядроси, тўғон призмаси ва унинг қиялик зоналарида содир бўлаётган механик жараёнлар моҳиятини тушуниб етиш имконини беради. Нормал кучланишлар σ_x ва σ_y қийматларини оддий таққослаш йўли билан горизонталь кучланишлар вертикал кучланишлардан катта бўлган зоналарни ажратиш мумкин, ана шундай зоналарда грунтларнинг маълум бир қисми силжишга келиши мумкин. Грунтли иншоотлар мустаҳкамлигини таъминлаш учун нормал кучланишлар (σ_x, σ_y), шунингдек, бош кучланишлар (σ_1, σ_2) сиқувчи, яъни манфий ишорали бўлишлари керак.

Тўғон танасидаги кучланиш ҳолатини тадқиқ қилиш орқали кучланишлар тўпланган (концентрацияланган) зоналарни аниқлаш мумкин. Бу, айниқса уринма кучланиш τ_{max} учун муҳим аҳамиятга эга, чунки унинг чегаравий қийматлари ортиб кетиши, қияликлар устуворлигига зарар етказди.

Грунтли тўғонларнинг кучланиш ҳолати бўйича ўтказилган таҳлиллар иншоот мустаҳкамлиги тўғрисида фақат билвосита маълумот беради, холос. Баъзан бу маълумотлар ҳақиқий манзарадан анча

йирок бўлиши ҳам мумкин. Шунга кўра, иншоот мустаҳкамлигини албатта мустаҳкамлик назарияларининг бири билан, масалан, чегаравий кучланиш ҳолати назарияси орқали текшириб кўриш талаб этилади.

Грунтларнинг чегаравий кучланиш ҳолати шундай ҳолатки, озгина кўшимча куч таъсир эттирилса, мавжуд мувозанат бузилади ва грунт ноустувор ҳолатни эгаллайди. Грунтлар сиртида сирпаниш, узилиш юз беради, унинг заррачалари орасидаги мустаҳкамлик барҳам топади. Грунтларда бундай кучланиш ҳолатининг вужудга келишига мутлако йўл қўйиб бўлмайди. Мураккаблиги туфайли ушбу мустаҳкамлик назарияси амалий масалаларни ечишда деярли қўлланилмайди, чунки бунда иншоотнинг ҳар бир нуқтасидаги кучланиш ҳолатига тўлиқ баҳо бериш талаб этилади.

Бу назарияга мувофиқ силжишдаги уринма кучланишнинг ҳақиқий қиймати, боғланган грунтларда куйидаги формула орқали аниқланиб, унинг қиймати чегаравий қийматдан ортмаслиги керак:

$$\tau = \sigma \cdot tq\varphi + C \quad (5.18)$$

Бунда, грунт массивидаги мувозанатнинг бузилиши, ушбу массив эластик устуворлигининг (пластик деформацияларни четлаб ўтиб) бузилиши туфайли содир бўлади деб фараз қилинади.

Емирилиш грунт массивининг бир қисмини иккинчи қисмига нисбатан силжиши орқали рўй беради. Чегаравий мувозанат ҳолатининг шарти эса бош кучланишлар айланаларига ўтказилган уринма тўғри чизиқ кўринишида қабул қилинади (5.9-расм).

Грунтли иншоот мустаҳкамлигига амалий баҳо беришда бу шартни нормали “ n ” бўлган ихтиёрий юза (5.10-расм) учун куйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\left| \tau_n^{np} \right| = \sigma_n tq\varphi + C \quad (5.19)$$

Бу формула нормали “ n ” бўлган юзача бўйича грунтнинг силжишга қаршилигини ифодалаб, грунтнинг ички ишқаланиш қаршилиги ва боғланиш кучлари қаршиликларининг йигиндисидан ташкил топади.

Бу ерда: τ_n^{np} , σ_n – нормали “ n ” бўлган юзачадаги чегаравий уринма ва нормал кучланишлар; C – грунтнинг боғланиш (сцепления) коэффиценти; φ – грунтнинг ички ишқаланиш бурчаги.

Маълумки, нормали “ n ” бўлган ихтиёрий юзачада (5.10-расм) вужудга келадиган нормал (σ_n) ва уринма (τ_n) кучланишлар орасида куйидагича боғланиш мавжуд:

ниш ҳолати (КДХ) оркали, яъни (кучланишлар $\sigma_1, \sigma_2, \tau_{\max}$ нинг сон қийматларидан фойдаланиб), иншоотнинг ихтиёрий нуктасида ҳосил бўлаётган уринма кучланиш τ_n^{δ} нинг (5.24) ва рухсат этилган чегаравий кучланиш τ_n^{np} нинг (5.25) формулалар оркали қийматларини аниқлаш имкониятига эга бўламиз.

Демак, $\tau_n^{np}, \tau_n^{\delta}$ қийматлари тўғон танасининг ҳар битта нуктасида маълум бўлганидан кейин, иншоотнинг ихтиёрий нуктасидаги мустаҳкамлигини рухсат этилган чегаравий кучланишнинг τ_n^{np} ҳақиқий кучланишга τ_n^{δ} нисбатини олиб баҳолаш имкониятига эга бўламиз.

Шундан келиб чиқиб, тўғоннинг ҳар бир нуктаси учун мустаҳкамликнинг захира коэффициентини қуйидагича топиш мумкин:

$$K = \frac{\tau_n^{np}}{\tau_n^{\delta}} \quad (5.26)$$

Агарда (5.24) ва (5.25) ни (5.26) га қўйсақ, тўғоннинг ҳар бир нуктасидаги мустаҳкамликнинг захира коэффициентини аниқлайдиган қуйидаги формулага эга бўламиз

$$K = \frac{0,5 \left[\left(\sigma_1 + \sigma_2 - 2\tau_{\max} \cdot \sin \varphi \right) t q \varphi + 2C \right]}{\tau_{\max} \cos \varphi} \quad (5.27)$$

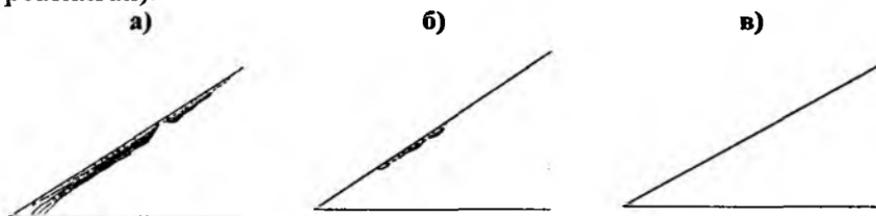
Мазкур коэффициентни бутун иншоот танаси ва унинг қияликлари бўйича аниқлаш натижасида, қуйидаги уч шартдан бирига тўғри келадиган мустаҳкамлик захира коэффициентининг қийматларига эга бўламиз:

1. Агарда $K > 1$ бўлса, тўғоннинг шу нукталарида грунтнинг мустаҳкамлиги етарли бўлиб, грунтдаги кучланиш ҳолатининг қиймати чегаравий кучланиш ҳолати қийматига етиб бормаган бўлади.

2. Агарда $K = 1$ бўлса, тўғоннинг шу нукталаридаги кучланиш грунтнинг чегаравий кучланиш ҳолатидаги қийматига тенг бўлиб, бу ҳолат ҳам хавфли бўлиши мумкин.

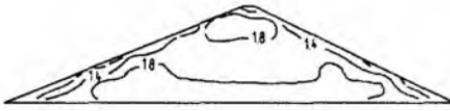
3. Агарда $K < 1$ бўлса, тўғоннинг шу нукталаридаги мустаҳкамлик бузилган бўлиб, хавфли ноустувор ҳолат юзага келади.

5.11-расмда Сўх тўғонининг модели учун хусусий оғирлик таъсиридаги (тўғоннинг юқориги қияликлари турли хил бўлганида, яъни $m_1=1,5$; $m_1=1,8$; $m_1=2,4$) мустаҳкамликнинг захира коэффиценти K таклиф қилинган усул бўйича баҳоланган. Олинган натижалар K нинг ҳар хил қийматлари учун изочизиклар ёрдамида кўрсатилган. Мустаҳкамлик захира коэффиценти K нинг тўғон танасининг барча нуқталарида олинган қийматлари, тўғоннинг барча қисмларидаги, шу жумладан, қияликларидаги ёки тўғоннинг у ёки бу участкасидаги мустаҳкамлиги (устуворлиги) ҳақида тўлиқ фикр юритиш имконини беради. Олинган натижалардан (5.11-расм) кўринадикки, қиялик бурчагининг ортиши билан ноустувор (яъни $K < 1$ бўлган) зоналарнинг ўлчамлари ёки тўғоннинг емирилиш зоналари ортиб боради (5.11-расмда иншоотнинг емирилиши мумкин бўлган зоналари бўяб кўрсатилган).



5.11-расм. Тўғоннинг юқори қиялиги турли хил қилиб олинганда: $m_1=1,5$ (а), $m_1=1,8$ (б), $m_1=2,4$ (в) иншоотда ҳосил бўлиши мумкин бўлган емирилиш (ноустувор) зоналарининг кўриниши

5.12 – 5.13-расмларда Сўх тўғонининг икки хил модели, яъни тўғон бир хил материалдан ва ҳар бир зонаси ҳар хил материалдан қурилган ҳолатлар учун тўғоннинг хусусий оғирлиги таъсирида мустаҳкамликнинг захира коэффиценти K нинг тақсимланиши изочизиклари берилган. Изочизикларда келтирилган рақамлар мустаҳкамлик захира коэффиценти K нинг қийматларини кўрсатади. Ҳар иккала ҳолда ҳам бу коэффицентнинг қиймати $K > 1$. Демак, бу иншоотнинг фақат хусусий оғирлик таъсиридаги мустаҳкамлиги таъминланган.



5.12-расм. Бир хил материалдан қурилган Сўх тўғони моделида мустаҳкамликнинг захира коэффициентини K нинг тақсимланиш изочизиклари



5.13-расм. Ҳар хил материаллардан қурилган Сўх тўғони моделида мустаҳкамликнинг захира коэффициентини K нинг тақсимланиш изочизиклари

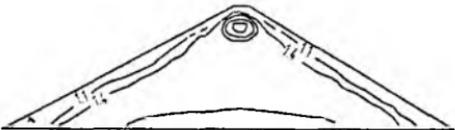
Шунга ўхшаш натижалар Тўполанг (5.14 – 5.15-расмлар) ва Хиссарак (5.15 – 5.16-расмлар) тўғонлари учун ҳам келтирилган.



5.14-расм. Бир хил материалдан қурилган Тўполанг тўғони моделида мустаҳкамликнинг захира коэффициентини K нинг тақсимланиш изочизиклари



5.15-расм. Ҳар хил материаллардан қурилган Тўполанг тўғони моделида мустаҳкамликнинг захира коэффициентини K нинг тақсимланиш изочизиклари



5.16-расм. Бир хил материалдан қурилган Хиссарак тўғони моделида мустаҳкамликнинг захира коэффициентини K нинг тақсимланиш изочизиклари



5.17-расм. Ҳар хил материаллардан қурилган Хиссарак тўғони моделида мустаҳкамликнинг захира коэффициентини K нинг тақсимланиш изочизиклари

Ишлаб чиқилган усул бўйича олинган натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, бу тўғонларнинг хусусий оғирлик таъсиридаги мустаҳкамлиги етарли даражада таъминланган.

5.6. Динамик жараёнларда сув билан ўзаро таъсирда бўлган грунтли иншоотларнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини баҳолаш

Мазкур бўлимда сув ҳавзасидаги сувли муҳит билан ўзаро таъсирда бўлган бир жинссиз (ҳар хил материаллардан қурилган) грунтли иншоотлар учун динамиканинг гидроэластик масалаларини ечиш усуллари келтирилиб, грунтли тўғонларнинг динамик ҳолатларини баҳолаш кўриб чиқилади. Бу масалаларни ечишда тўғоннинг конструктив хусусиятлари, реал геометрик ўлчамлари ва унинг турли хил динамик таъсирлар остида ишлаши ҳам ҳисобга олинади.

Бу ҳолда содир бўладиган динамик жараённи моделлаштиришда $S = S_1 + S_2 + S_3$ юзани эгалловчи иншоот (5.8-расм) ўта бир жинсли эмас (яъни унинг алоҳида қисмлари физик ва деформацион хусусиятлари жиҳатидан бир-биридан катта фарқ қилади) деб қаралади. Алоҳида қисмларни ажратиб турадиган чегараларда эса кўчишлар, кучланишларнинг нормал ва уришма компоненталари узлуксиз, деб фараз этилади. Шу билан бирга иншоот ташки – кинематик, гидростатик ва гидродинамик таъсирлар остида ҳаракатланади, деб қаралади.

Демак, масала ярим чексиз текис суюқлик қатлами билан ўзаро таъсирда бўлган, у билан биргаликда ҳаракатланадиган иншоотнинг динамик ҳолатини таҳлил қилишдан иборатдир.

Бугунги кунда динамиканинг гидроэластик масалаларини, яъни конструкция билан суюқликнинг биргаликда содир этадиган тебраниш масалаларини ечадиган турли усуллар мавжуд.

Лекин бундай масалаларни ечишда қайси усулдан фойдаланиш кераклиги кўп нарсаларга, яъни масаланинг характериға, тадқиқотнинг мақсадига, ҳодисанинг схемалаштирилишиға, моделлаштиришда талаб этиладиган аниқлик даражасига, ҳисоблаш техникасидан фойдаланиш имкониятларига ва бошқа нарсаларға кўп жиҳатдан боғлиқдир. Баъзан иншоотнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини тадқиқ этишда гидродинамик тенгламаларни четлаб ўтиб, конструкциянинг ўзини кучланганлигини текширишға ҳаракат қилинади. Бунда суюқликнинг таъсири “ёпиштирилган” масса кўринишида инобатга олинади.

Бир қатор ишларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, гидроиншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлиги масаласини ҳал этишда (гидродинамик босимнинг инерцион ташкил этувчисини аниқлашда) эркин сирт тўлқинларини ҳисобга олмаса ҳам бўлади, деб ҳисобланади. Чунки, олимлар томонидан ўтказилган тажрибалар эркин сирт тўлқинлари иншоотнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатига деярли таъсир қилмаслигини кўрсатган.

Ҳозирги кунда гидроэластик масалаларни ечишнинг барча ҳисоблари, иншоотлар зилзилабардошлигида динамик назариянинг асоси ҳисобланган Вестергард-Лейбензон схемаси бўйича давом эттирилиб келинмоқда. Бундай ёндашув қобик, пластина ва стержень сингари юпқа деворли конструкциялар учун гидроэластик масалаларни ечиш, анча осон амалга оширилганлиги учун кенг қўлланилади. Бироқ, бу усул грунтли иншоотларда шу пайтгача қўлланилмай келмоқда. Бунинг сабаби грунтли иншоотлар учун гидроэластик масалаларни ечиш осон эмаслигида, яъни реал конструкциялар учун геометрик чегаравий шартларни қаноатлантирадиган координата функцияларини танлаш мураккаб эканлигида бўлса керак.

Бу ерда қараладиган усулнинг Вестергард усулидан фарқи шундан иборатки, бунда иншоот деворлари деформацияланади ва суюклик билан ўзаро таъсирда бўлади, деб қаралади. Шу билан бирга, бу ёндошувда суюклик идеал ва сиқилмас деб фараз қилинади, суюклик сиртида ҳосил бўладиган тўлқинлар ҳисобга олинмайди.

Бу ҳолда суюклик ҳаракат тезлигининг потенциали $\varphi(x, y, t)$ Лаплас тенгламасини қаноатлантириши лозим:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (5.28)$$

Айни чоғда соҳадаги чегара шартлари ҳам қаноатлантирилиши керак:

1) сув ҳавзаси сиртидаги босим ўзгармас деб қаралиб, тўғон ҳаракатидан вужудга келган тўлқинлар ҳисобга олинмайди, яъни:

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right|_{y=h} = 0 \quad (5.29)$$

2) сув ҳавзаси тубида вертикал йўналишдаги суюклик тезлиги нолга тенг, яъни:

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (5.30)$$

3) тўғондан чексиз узокликда бўлган нуқталарда суюклик ҳаракатда бўлмади (тезликни ташкил этувчилар нолга тенг бўлади), яъни:

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_{x=-\infty} = 0 \quad (5.31)$$

4) босим таъсир қилаётган қияликда ($x=ym$, $m=tg\alpha$) суюклик заррасининг тезлиги билан қирра (нормали « n » йўналишидаги) нуқтасининг тезлиги бир хил бўлади, яъни:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = -\bar{u}(\bar{x}, t) \quad (5.32)$$

ёки вектор « n » ни координаталар орқали ифодалаб, қуйидаги шартга эга бўламиз:

$$\left(-\frac{\partial \varphi}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \sin \alpha \right)_{x=ym} = -\bar{u}(\bar{x}, t) \quad (5.33)$$

Бу ерда $\bar{u}(\bar{x}, t)$ – тўғон нуқталарининг тўлик силжиши бўлиб, у сеймик таъсирлар жараёнида тўғоннинг замин билан биргаликда қаттиқ жисм сифатида кўчиши $\bar{u}_o(\bar{x}, t)$ ва тўғон нуқталарининг эластик кўчишлари $\bar{u}^*(\bar{x}, t)$ нинг йиғиндисидан иборатдир, яъни:

$$\bar{u}(\bar{x}, t) = \bar{u}_o(\bar{x}, t) + \bar{u}^*(\bar{x}, t), \quad (5.34)$$

Бу ҳолда Лаплас тенгламаси (5.28) ва чегаравий шартлар (5.29) – (5.33) ни қаноатлантирадиган тезликлар потенциали қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\varphi(x, y, t) = \sum_{k=1,3,\dots} C_k(t) \cos\left(\frac{k\pi y}{2h}\right) \exp\left(\frac{k\pi x}{2h}\right) \quad (5.35)$$

$$C_k(t) = B_k \int_0^{h_0} \bar{u}(\bar{x}, t)_{x=ym} \cos\left(\frac{k\pi y}{2h}\right) dy, \quad B_k = \frac{4 \cdot \exp\left(-\frac{k\pi y}{2h}\right)}{2 \cdot \sin \alpha + k\pi \cdot \cos \alpha}, \quad h_0 = h / \cos \alpha$$

Тўғоннинг юқори қиялигида ҳосил бўладиган сувнинг гидродинамик босими тезлик потенциалидан олинган ҳосила орқали аниқланади, яъни:

$$\bar{P}(\bar{x}, t) = -\rho_o \dot{\phi}(\bar{x}, t) \quad (5.36)$$

Бу ҳолда (5.3) вариацион тенгламадаги Σ_p сиртга таъсир қиладиган кучларнинг бажарган иши куйидаги ифодадан аниқланади:

$$\int_o^{h_o} \bar{P}(\bar{x}, t) \delta \bar{u} d u$$

Сейсмик ҳаракат натижасида заминдан тўғонга ўтадиган кинематик чегаравий шартлари куйидагича бўлади:

$$x, y \in \Sigma_u: u = u_o(t), v = v_o(t) \quad (5.37)$$

Тўғон материалининг физик хоссалари, ($\varepsilon_z = 0$ бўлганда) умумлашган Гук қонуни (5.6), деформация тензори билан кўчиш векторлари орасидаги боғланиш эса (5.5) Коши формуллари орқали ифодаланади.

Бу ерда $\bar{x} = \{x, y\}$, $\bar{u} = \{u, v\}$, ε_{ij} ва σ_{ij} – мос равишда координаталар вектори, кўчишлар вектори, деформация ва кучланиш тензорларининг компоненталари ($i, j=1, 2$); $\delta \bar{u}$, $\delta \varepsilon_{ij}$ – кўчиш ва деформация векторларининг вариациялари; $\rho = \rho_n$ – қаралаётган тўғон участкалари материалининг зичлиги ($n=1, 2, 3$); ρ_o – сув зичлиги.

Умумий кўринишда қаралган масала (5.3), (5.5), (5.6), (5.36), (5.37) ни, кейинроқ конкрет динамик ҳолатлар учун ҳар хил хусусий масалалар кўринишида анча соддалаштириб қаралиши мумкин.

(5.3), (5.5), (5.6), (5.36), (5.37) масаланинг ечими (5.34) кўринишида қидирилади.

Бунинг учун, аввало, сувнинг гидродинамик босимини ҳисобга олмай, (5.3) вариацион тенглама чекли элементлар усули ёрдамида (5.8) га келтирилиб, иншоот тебранишининг хусусий шакллари аниқланади. Буни аниқлашда тўғоннинг реал конструктив хусусиятлари ва материалнинг физик-механик хоссалари ҳисобга олинади.

Қаралаётган динамиканинг гидроэластик масаласини ечишнинг кейинги этапида иншоотнинг сув таъсирида бўлган қиялик сирти куруқ ҳолда ҳам, суюқлик тасирида ҳам бир хил деформацияланади, деб фараз қилинади. Сув билан ўзаро таъсирда бўлган тўғон учун юқорида қўйилган масаланинг ечими, юқорида топилган иншоот тебранишининг хусусий шакллари ёрдамида қатор кўринишда қидирилади.

Бу келтирилган усул ёрдамида сув билан ўзаро таъсирда бўлган грунтли тўғонлар учун динамиканинг ҳар хил гидроэластик масалаларини ечиш мумкин.

Таклиф қилинган усул ёрдамида сувли муҳит билан ўзаро таъсирда бўлган ва ҳар хил даражада тўлғазилган Хиссарак ва Тўполанг сув омборлари грунтли тўғонларининг хусусий ва мажбурий тебранишлари тадқиқ этилди. Бу тўғонлар хусусий тебранишлари тадқиқотининг таҳлили шуни кўрсатдики, сув билан тўғоннинг ўзаро таъсири ҳисобга олинса, тўғоннинг хусусий тебраниш частоталари камайиб, дастлабки саккизта частотаси учун ушбу фарқ 2–10 фоизни ташкил қилади. Тўғон баландлиги ва тўлдирилиш даражаси ошган сари, бу фарқ ортиб боради.

Сув ҳавзаси бўш ва сувга тўлдирилиш даражаси ҳар хил бўлган тўғоннинг кучланиш-деформацияланиш ҳолати (КДХ) Газли зилзиласи акселерограммасининг таъсирига текширилганда, олинган натижалар куйидагиларни кўрсатди, яъни сейсмик таъсирлар жараёнида сувнинг гидродинамик босими инobatга олинса, тўғондаги кучланиш ва кўчиш ҳолатлари анчага ортади ва уларнинг симметрик деформацияланиши бузилади. Юқори таянч призмасининг қиялик зоналарида кучланиш интенсивлиги σ_x 1,5 баробар, горизонталь кучланиш σ_y 25–30 фоизга, вертикал кучланиш σ_z эса қиялик зоналарда деярли икки баробар ортиб кетади.

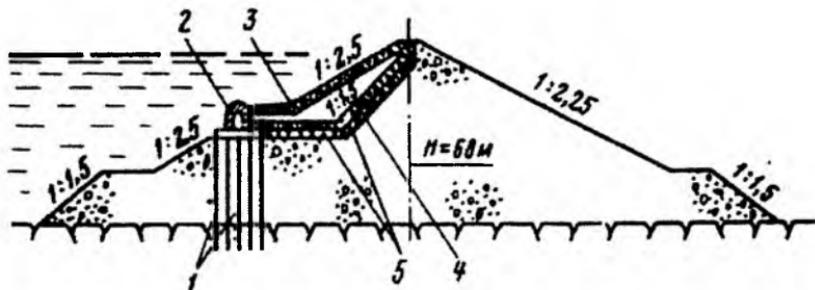
5.7. Грунтли материаллардан қурилган тўғонларнинг сейсмик мустаҳкамлигини оширишга қаратилган чора-тадбирлар

Грунтли материаллардан қурилган иншоотларнинг зилзилабардошлигини оширишга қаратилган конструктив чора-тадбирларни шартли равишда “фаол” ва “нофаол” (“актив” ва “пассив”) турларга бўлиш мумкин. Сейсмик тезланишнинг қийматига таъсир этмай, фақат иншоотнинг сейсмик мустаҳкамлигини оширишга мўлжалланган тадбирлар “нофаол” гуруҳга киради. Экрaнлар, диафрагмалар, зинапоя шаклли қияликлар, дренаж ва бошқалар ана шулар жумласидандир.

Тўғоннинг сув босими таъсир қиладиган қиррасига (яъни устки қияликка) ўрнатиладиган экранлар сейсмик мустаҳкамликни оши-

рувчи энг яхши ва самарали усуллардан ҳисобланади. Уларнинг асосий вазифаси сейсмик таъсирлар чоғида тўғоннинг сувга тўйинган қисмида говаклардаги босимнинг кескин ортиб кетишини олдини олишдан иборат. Бундай таъсирнинг механизми ва оқибатлари 5.1-бўлимда кўриб ўтилган. Экраннынг кўринишини танлаш тўғоннинг баландлиги ва конструктив хусусиятларига боғлиқ. Баландлиги паст ва ўртача бўлган тўғонларда ҳимоя қатлам учун копланган плёнкали экранлар яхши самара беради. Бунда юқори қияликнинг жойлашиши сейсмик таъсирлар жараёнида экраннинг “сирпаниб” кетишига йўл кўймадлиги лозим. Юқори қиялик грунти сиртига тўлқинсимон кўриниш бериш ҳам самарали конструктив тадбирлардан ҳисобланади.

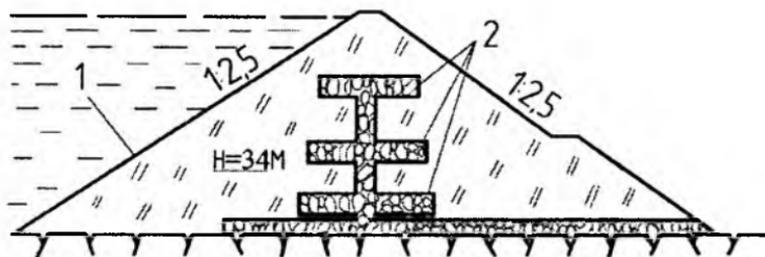
Баландлиги катта (60 м дан юқори) бўлган тўғонларда ҳам экран яхши самара беради. Бирок, бунинг учун, экран бикир элементларга, масалан, чоклари арматураланган темирбетон плиталарга боғланган бўлиши керак. Бу билан қияликнинг пастки қисмларида ҳосил бўладиган сезиларли миқдордаги сикилиш кучланишлари пайдо бўлишининг олди олинади. Шунинг билан бирга, махсус маҳкамловчи қурилмалардан фойдаланиб, босимли қияликнинг тепа қисмига конструктив экран ўрнатиш мумкин. Бунга Тошкўмир тўғонининг лойиҳаси мисол бўла олади (5.18-расм). Бу тўғон экранининг кўндаланг кесими текис бўлмай, ичи груннга тўлдирилган учбурчак кўринишига эга. Учбурчакнинг асоси цемент потерна ва пардага (завесга) таянади. Бу конструкция сирпанишга қарши катта устуворликка эга. Қияликнинг пастки қисмида экран вазифасини цемент парда бажаради.



5.18-расм. Тошкўмир тўғонининг лойиҳаси: 1 – цемент парда; 2 – цемент потерна; 3,4,5 – плёнкадан ясалган ҳимоя қатламли экран

Дренаж тўғоннинг сейсмик мустаҳкамлигини оширадиган муҳим элементлардан ҳисобланади. Унинг вазифаси сейсмик таъсирлар натижасида ортиб кетган филтрацион сувларни чиқариб ташлашдан иборат. Дренаж иложи борича тўғоннинг босимли томонига силжийдиган бўлиши керак. Бунда тўғоннинг “нам” ва “қурук” ҳажмлари орасидаги нисбат камаяди ва тўғоннинг зилзилабардошлиги ортади.

Дренажнинг конструкцияси ҳам горизонталь, ҳам вертикал элементлардан ташкил топган бўлиши зарур. 5.19-расмда Японияда қурилган “дарахтсимон” дренажли Нуматара тўғонининг конструктив схемаси берилган.



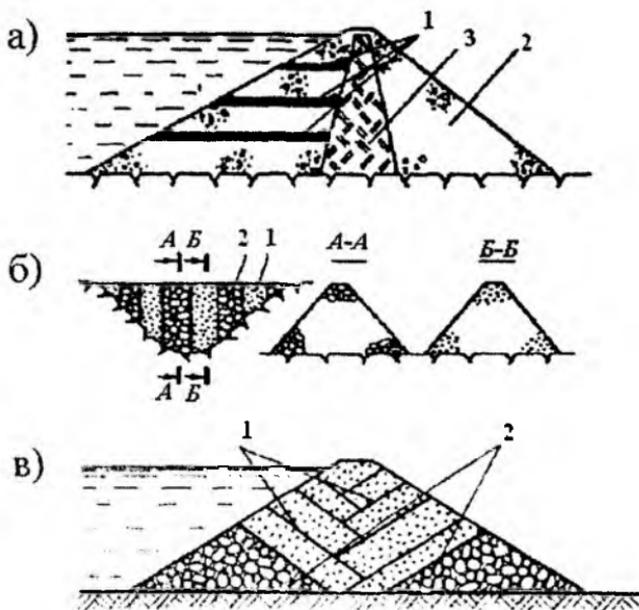
5.19-расм. Нуматара тўғонининг конструктив схемаси: 1 – темирбетон экран; 2 – дренаж

Дренажнинг бу тури ғовақлардаги ортиқча босимни кескин камайтириш хусусиятига эга бўлиб, ўзининг юксак самарадорлигига эга. Ҳисоб-китоблар кўрсатишича, бундай дренажнинг ортиқча босимни камайтириш хусусияти статик босимнинг тахминан 15 фоизини ташкил этади. Экранлар, дренажлар ва шунга ўхшаш конструктив элементлар деярли барча грунтли тўғонларда қўлланилади ва уларнинг барчаси тўғон материалининг (грунтнинг) суффозияга қарши устуворлигини ошириш, механик ювилишдан асраш, филтрацияни камайтириш каби вазифаларни бажаришга мўлжалланган. Тўғонларнинг зилзилабардошлигини ошириш учун уларнинг шакли ва жойлашувини биров ўзгартириш кифоя.

2.5.2 ва 2.9.3-мисолларда динамик юқлар таъсир этувчи системага, тебранишни камайтирувчи элемент, яъни “амортизатор” нинг кiritилиши, системанинг хусусий тебраниш частотасини ўзгартириб, системада ҳосил бўлиши мумкин бўлган динамик кучларни анчага камайтириши кўрсатиб берилган.

Қатор тадқиқотчилар ўз ишларида тўғонларнинг зилзилабардошлигини оширишнинг бу усулига кўп бор мувожаат этганлар. Бундай конструктив счимларнинг умумий ғояси тўғонни динамик характеристикалари турлича бўлган грунтлардан “катламлаб” қурилса, зилзилабардошликни ошириш имконияти борлигини айтиб ўтишган. Лекин бундай счимни қўллаш мумкинлиги илмий асосланмаган.

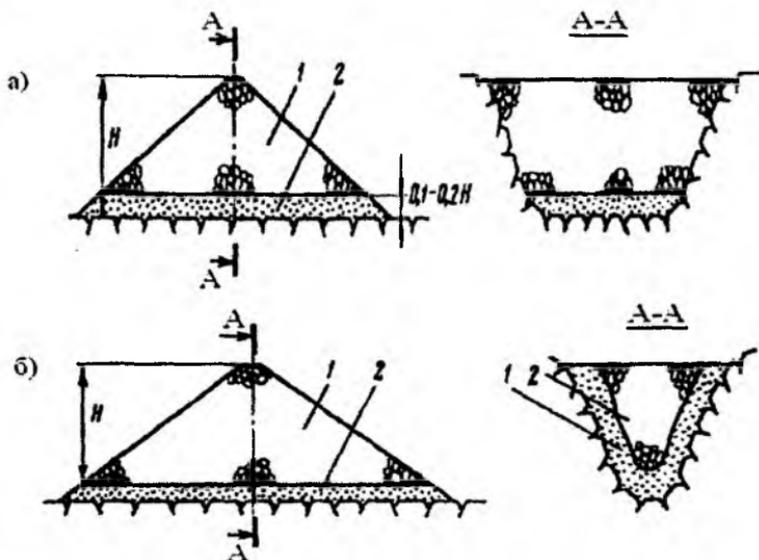
Бу конструктив счимларда грунт қатламлари горизонталь (5.20а-расм), вертикал (5.20б-расм) ҳамда оғма (5.20в-расм) кўринишларда жойлаштирилса, зилзилабардошликни ошириш мумкинлиги эътироф этилган.



5.20-расм. Қатламлардаги материалнинг механик характеристикалари турлича бўлган грунтли тўғонларнинг схемалари: а) горизонталь қатламли; б) вертикал қатламли; в) оғма қатламли; 1,2 – механик характеристикалари турлича бўлган грунтлар

Шу билан бирга зилзилабардошликни ошириш учун, иншоот билан замин чегарасида механик характеристикаларига кўра тўғон тана-си грунтдан кескин фарқ қиладиган грунтлардан сейсмоизоляцияцион

қатлам тўшалиб, ҳосил қилинган конструктив ечимларни (5.21а,б-расм) қўллаш мумкинлиги ҳам адабиётларда кўрсатилган.



5.21-расм. Замин чегарасида сейсмоизоляцияловчи қатлам жойлаштирилган тўғонлар схемаси: а) кенг дараларда қурилган; б) тор дараларда қурилган; 1 – тўғон танаси; 2 – сейсмоизоляцияловчи қатлам

Режада катта узунликка эга бўлган тўғонларда, яъни кенг дара (канион) га қурилган тўғонларда сейсмоизоляцияловчи қатлам тўғон замини остига тўшалиши мумкин (5.21а-расм). Тор дараларда эса бундай қатлам ҳам замин остига, ҳам икки ён бағирга ётқизирилиши мумкин (5.21б-расм). Бу ҳолда сейсмик таъсирларни манбадан (заминдан) иншоотга (тўғон танасига) узатишда сейсмоизоляцияловчи қатлам амортизатор вазифасини бажариши мумкин.

Схемаси 5.20-расмда келтирилган тўғонларда амортизация ҳодисасининг вужудга келишини динамик характеристикаларни турлича бўлган грунтли қатламлар хусусий тебранишларининг ўзаро бир-бирини сўндириши деб тушунтириш мумкин. Яъни, тўғон танасида тўлқин тарқалиш тезлиги турлича бўлган грунт қатламлари мавжуд бўлса, зичлиги ҳар хил бўлган муҳит чегарасида товуш кучи камайгани сингари, тебранишларнинг ҳам сўниши кучаяди.

Турли муаллифлар томонидан бажарилган ҳисоб ишлари натижаларида, шу жумладан, чекли элементлар усулида бажарилган ҳисоб натижалари кўрсатишича, кўриб ўтилган схемаларда сейсмик кучларни 40–60 фоизга камайтириш мумкин эканлиги эътироф этилган.

Бироқ тўғон таркибига, айниқса иншоот билан заминнинг туташадиган зонасига заиф элементларнинг киритилиши (5.21-расм) амалиётчи-муҳандисларда маълум иккиланишлар туғилишига олиб келмоқда.

Бизнинг фикримизча, тўғон танасига заифлаштирувчи эмас, аксинча, кучайтирувчи элементлар киритилса, мақсадга мувофиқ бўлади. Бундай вазифани темирбетон антисейсмик белбоғлар ўташи мумкин (5.22-расм). Буни амалга ошириш учун тўғоннинг таянч призмалари ичига горизонталь ҳолатда грунт тўлдирилган йирик катаклар кўринишидаги темирбетон антисейсмик белбоғлар ўрнатиш керак бўлади. Бу ҳолда белбоғлар орасидаги масофа баландлиги бўйича 10–20 м ни, белбоғлар баландлиги эса 1–3 м ни ташкил этиши мумкин, уларнинг сони эса тўғон баландлигига боғлиқ равишда олиниши мумкин. Антисейсмик белбоғли тўғоннинг схемаси 5.22-расмда кўрсатилган.

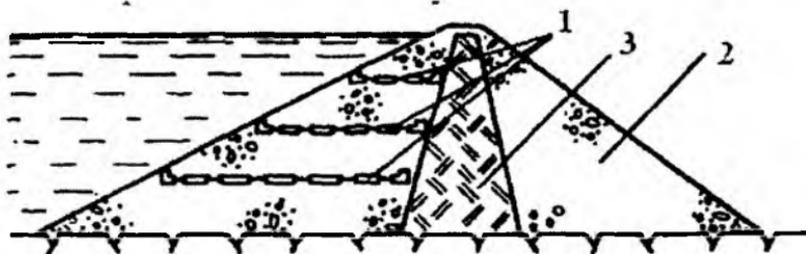
Бундай белбоғларнинг ишлаш хусусияти шундан иборатки, унинг таянч призмаси грунти билан бўладиган ўзаро таъсири белбоғлар оралиғидаги грунт орқали амалга ошади, уларнинг деформацияланиши темирбетон элементлар ва элементларни боғлаб турувчи эгилувчан пўлат симлар орқали тартибга солинади. Таянч призмалари таркибига антисейсмик белбоғларнинг қўйилиши грунт хоссасини ўзгартиради, унинг боғланишини (сцепленияни) оширади. Бизнинг фикримизча, бундай ҳолат, яъни шу йўл билан маҳкамланган тўғон қияликлари (ёки тўғон танасининг катта қисми) сейсмик кучлар таъсирида ўз устуворлигини (мустаҳкамлигини) оширади.

Айниқса, бундай антисейсмик белбоғлар баланд тўғонларнинг таянч призмаси танасига ўрнатилса, мустаҳкамлик нуқтаи назаридан яхши натижаларга эришиш мумкин. Чунки баланд тўғонларда иншоот қияликлари яқинидаги ва таянч призманинг ичидаги вертикал чўкишлар орасидаги тафовут кўзга яққол ташланади. Бу ҳолат тўғон танасидаги грунтнинг баландлиги ҳар хил бўлишига қарамасдан, бир хил чўкишга (сиқилишга) олиб келиши мумкин. Агар етарли даража-

да мустаҳкам таянч боғлагичларга эга бўлган ва грунтнинг нотекис чўкиши ҳисобига чўзилишга ишлайдиган антисейсмик белбоғларнинг тўғонга ўрнатилишига эришилса, у ҳолда тўғонда ҳосил бўлиши мумкин бўлган кучланишлар қайта тақсимланиб, тўғоннинг барча қисмлари бўйлаб чўкишлар бир текисда содир бўлади. Бу эса таянч призмасининг сиртида (қияликка яқин жойларда) ҳосил бўлиши мумкин бўлган кичик чўкишларни ва ичкарасида ҳосил бўладиган катта чўкишларни бир хил тақсимлашни таъминлайди.

Бундай белбоғларнинг материали конструкция элементлари билан таянч призмаси грунги орасида мустаҳкам боғланишни ҳосил қилиши, ҳар хил турдаги динамик кучларга бардош бериши, умрбоқий ва коррозияга чидамли бўлиши керак.

Темирбетон бу талабларнинг барчасини каноатлантиради. Мустаҳкамлик ва тежамкорликни таъминлаш мақсадида темирбетон тўсинлар тўғон ўқиға кўндаланг равишда ётқизиilib (5.22-расм), ёпик катаклар, яъни темирбетон плиталар (ўлчамлари 2,6x10,0x0,6 м бўлган) эса тўғон ўқи бўйлаб ўрнатилса, кутилган натижани олиш имконияти пайдо бўлади. Тўсинларнинг баландлиги қияликка яқин жойда 3 метрни, тўғон танасининг ичида 2 метрни ташкил этиши мумкин.



5.22-расм. Юқори таянч призмасига темирбетон антисейсмик белбоғлари ўрнатилган тўғоннинг схемаси: 1 – антисейсмик темирбетон белбоғлар; 2 – кум-шағал аралашмасидан иборат таянч призмаси; 3 – тўғон ядроси

Агарда темирбетон плиталар ичидаги бўшлиқ бутун баландлик бўйича мустаҳкам тош (яъни таянч призмаларнинг материаллари – шағал-қайроқтошли грунтлар) билан тўлдирилса, у ҳолда, бу антисейсмик белбоғлар ҳам дренаж вазифасини ўтайди (иншоотнинг сейсмохавфли зонасида кучли ғовак босимларнинг пайдо бўлишини олдини олади) ва керакли мустаҳкамликни таъминлайди.

Тўғоннинг сейсмик мустаҳкамлигини юқори даражада таъминлаш имкониятига эга бўлган мана шу конструкция (5.22-расм) келажакда кенг қўлланиши мумкин. Бу конструкцияни қўллаш мумкинлигини илмий асослаш учун антисейсмик белбоғлар ўрнатилган тўғоннинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини баҳолаш талаб этилади. Мазкур ишни бажариш учун, яъни бундай мураккаб конструкцияни ҳар хил кучлар таъсирига ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш ва бундай конструкциянинг (5.22-расм) ҳар бир нуктасида ҳосил бўладиган кучланиш ҳолатини баҳолаш учун Тошкент ирригация ва мелиорация институтининг “Назарий ва қурилиш механикаси” кафедраси ўқитувчилари томонидан ЭХМ дастурлари яратилиб, барча ҳисоблаш ишлари амалга оширилмоқда.

Антисейсмик белбоғлар ёрдамида тўғон мустаҳкамлигини ошириш имкониятини илмий асослаш учун (5.3-бўлимда келтирилган маълумотларга асосланиб), 5.22-расмдаги конструкциянинг ҳисоб схемаси, содир бўладиган жараённинг математик модели ва ҳисоблаш усули ишлаб чиқилди.

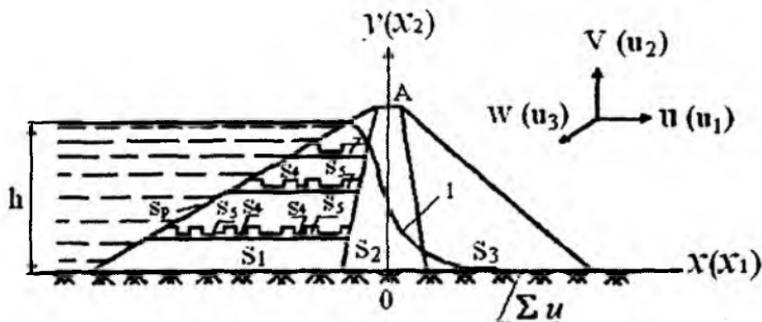
5.8. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини баҳолаш учун математик моделни қуриш

Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган тўғонда содир бўладиган статик ва динамик жараёнларни моделлаштириш учун $S=S_1+S_2+S_3+\Sigma S_4+\Sigma S_5$ юзани эгаллаган ва масса (оғирлик) кучлари \vec{f} таъсири остида бўлган, текис деформацияланиш ҳолатидаги системани (5.23-расм) қараймиз. Бу системанинг тепа қисми ва пастки қиялиги кучланишлар таъсиридан холи бўлиб, юқори қияликнинг S_p қисми сувнинг гидростатик босими $-\bar{P}_c$ таъсири остида бўлсин ва асоси $-\Sigma_u$ га даврий бўлмаган кинематик таъсир қилсин.

Агар бу системада (5.23-расм) содир бўладиган фақат статик жараёнлар текширилса, у ҳолда Σ_u – юза замин билан каттик маҳкамланган деб қаралиб, ҳеч қандай кинематик таъсир қўйилмаган бўлади. Динамик жараёнлар текширилганда Σ_u – юзага вақт бўйича ўзгарувчи ихтиёрий кинематик таъсир қўйилган деб қаралади.

Биз, бу системада (5.23-рasm) кинематик таъсирлар натижасида ҳосил бўладиган динамик жараёнларни моделлаштиришни қараб чиқамиз.

Агарда, динамик моделдаги инерция кучларини нолга тенг деб қаралса, у ҳолда автоматик равишда статик жараёнларни ўзида акс эттирадиган модель ҳосил бўлади.



5.23-рasm. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғон моделнинг ҳисоб схемаси: 1 – депрессия эгри чизиги; S_1, S_2 – антисейсмик белбоғлар эгаллаган юзалар; S_p, S_2, S_3 – тўғон таянчлари ва ядроси эгаллаган юзалар

Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган тўғонда ҳосил бўладиган динамик жараёнларни акс эттирадиган моделни куришда куйидаги тенглама ва муносабатлардан, яъни:

– вариацион

$$\begin{aligned} \delta A = & - \int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \Sigma \int_{V_4} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \\ & - \Sigma \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_1} \rho_1 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \int_{V_2} \rho_2 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \int_{V_3} \rho_3 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \\ & - \Sigma \int_{V_4} \rho_4 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \Sigma \int_{V_3} \rho_3 \ddot{u} \delta \bar{u} dV + \int_V \bar{f} \delta \bar{u} dV + \int_{S_p} \bar{P}_c \delta \bar{u} dS = 0 \end{aligned} \quad (5.38)$$

тенгламадан;

– Коши формуласи (5.5) дан;

– эластик материаллар учун умумлашган Гук конуни (5.6) дан;

– тўғоннинг S_p юзасига таъсир этаётган сувнинг гидростатик босими

$$\bar{P}_c = \rho_o g (h - y) \quad (5.39)$$

формуласидан;

– кинематик чегаравий

$$\bar{x} \in \Sigma_u : \bar{u}_0(\bar{x}, t) = \bar{\psi}_1(t) \quad (5.40)$$

шартдан;

– $t=0$ даги бошланғич

$$\bar{x} \in V : \bar{u}(\bar{x}, 0) = \bar{\psi}_2(\bar{x}); \quad \dot{\bar{u}}(\bar{x}, 0) = \bar{\psi}_3(\bar{x}) \quad (5.41)$$

шартлардан фойдаланамиз.

Бу ерда: \bar{u} , σ_{ij} , ε_{ij} – мос равишда кўчиш векторларининг компоненталари, кучланиш ва деформация тензорларининг компоненталари; ρ_n – ҳар хил юзаларда ($S_1, S_2, S_3, \Sigma S_4, \Sigma S_5$) жойлашган материалларнинг зичлиги; δu , δv – кўчиш компоненталарининг вариациялари; $\delta \varepsilon_x$, $\delta \varepsilon_y$, $\delta \gamma_{xy}$ – деформация компоненталарининг вариациялари; \bar{p}_c – сувнинг гидростатик босимининг вектори; \bar{f} – масса кучларининг вектори; $\bar{\psi}_1(t)$ – вақт бўйича берилган функция; $\bar{\psi}_2, \bar{\psi}_3$ – координата бўйича берилган функциялар.

Қаралаётган масалада $\bar{x} = \{x_1, x_2\} = \{x, y\}$ координата системасида кўчиш векторлари, кучланиш ва деформация тензорлари ўзининг қуйидаги компоненталари билан қатнашишлари мумкин:

$$\bar{u} = \{u_1, u_2\} = \{u, v\}, \sigma_{ij} = \{\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{22}\} = \{\sigma_x, \tau_{xy}, \sigma_y\}, \varepsilon_{ij} = \{\varepsilon_{11}, \varepsilon_{12}, \varepsilon_{22}\} = \{\varepsilon_x, \gamma_{xy}, \varepsilon_y\}.$$

Демак, ушбу моделдан олинадиган натижа гидростатик босим (5.39), масса кучлари \bar{f} ва кинематик таъсир (5.40) остида бўлган системада (5.23-расм) ҳосил бўладиган кўчиш $\bar{u}(\bar{x}, t)$ нинг, деформация $\varepsilon_{ij}(\bar{x}, t)$ нинг ва кучланиш $\sigma_{ij}(\bar{x}, t)$ нинг тақсимланиш қонуниятларини топишдан иборатдир.

Бунинг учун (5.38), (5.5), (5.6) тенгламаларни, бошланғич шартлар (5.41) ни ва барча мумкин бўлган кўчиш δu ларни қаноатлантириб ечиш талаб этилади.

Буни амалга ошириш учун вариацион тенглама (5.38) нинг ечими қуйидаги кўринишда қидирилади:

$$\bar{u}(\bar{x}, t) = \bar{u}_0(\bar{x}, t) + u^*(\bar{x}, t) \quad (5.42)$$

Бу ерда: $u^*(\bar{x}, t)$ – қидирилаётган кўчиш вектори.

Агар (5.42) ни (5.38) – (5.41) га олиб бориб қўйиб, ҳосил бўлган янги вариацион тенгламага чекли элементлар усулини қўлласак, қуйидаги иккинчи тартибли оддий дифференциал тенгламалар системасига

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{P(t)\} \quad (5.43)$$

ва бошланғич шартларга

$$\{u(0)\} = \{u_0\}, \quad \{\dot{u}(0)\} = \{v_0\} \quad (5.44)$$

эга бўламиз.

Бу ерда: $[K]$, $[M]$, $[C]$ – қаралаётган система (5.23-расм) учун бикирлик, масса ва демпферлаш матрицалари; $\{f(t)\}$ – кинематик таъсир, гидростатик босим ва бошқа ташқи кучлар ҳосил қилган кучлар вектори; $\{u(t)\}$, $\{\dot{u}(t)\}$, $\{\ddot{u}(t)\}$ – иншоот чекли элементларга бўлингандан кейин ҳосил бўлган тугунлардаги кўчиш, тезлик ва тезланиш векторлари.

Агар материалдаги ички ишқаланиш, яъни сўндирувчи кучлар ҳисобга олинса, демпфирлаш матрицаси $[C]$ ҳосил бўлади, акс ҳолда бу матрица бўлмайди.

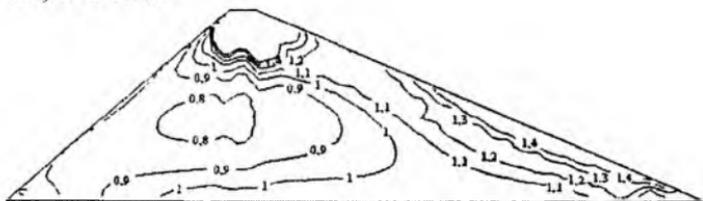
Ҳосил қилинган (5.43) тенгламалар системасини бошланғич шартлар (5.44) ни ҳисобга олиб, ҳар бир ($\Delta t = \frac{T}{n}$) вақт бирлигида,

Ньюмарк усули ёрдамида ечсак, у ҳолда, шу вақт бирликларида иншоотнинг тугунларида ҳосил бўладиган кўчиш компоненталари $\bar{u} = \{u_1, u_2\} = \{u, v\}$ ни топамиз. Бу ерда T – жараён текшириладиган вақт оралиғи, n – вақт оралиғи бўлингандан сона. Бу топилган кўчиш компоненталарини (5.5) ва (5.6) ларга олиб бориб қўйсак, тугунларда ҳосил бўладиган деформация ва кучланишлар аниқланади. Бу ишларнинг барчаси кафедра ўқитувчилари томонидан тузилган махсус дастурлар ёрдамида ЭХМда бажарилган.

5.9. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг статик кучлар таъсиридаги мустақкамлигини баҳолаш

Агар системага (5.23-расм) фақат статик кучлар таъсир қилаётган бўлса, у ҳолда 5.8-бўлимда қўйилган масала анча соддалашиб, (5.38) вариацион тенгламани (5.7) кўринишидаги алгебраик тенгламалар системасига келтириш мумкин. Бу ҳолда (5.7) тенгламани Гаусс усули ёрдамида ечиб, иншоотнинг тугунларида (5.3-расм) ҳосил бўладиган кўчиш векторлари $\{u, v\}$ ни топамиз, сўнг тугунлардаги деформация ε_{ij} ва кучланишлар σ_{ij} аниқланади. Бу ишларнинг ҳаммаси махсус ЭХМ дастурлари ёрдамида бажарилади.

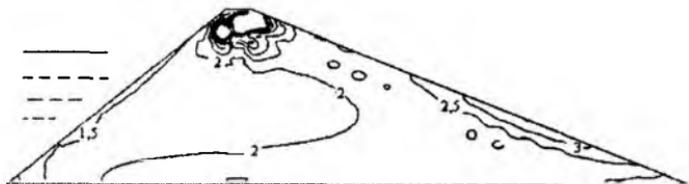
а) $\varphi=20^{\circ}$, $C=3$ тс/м²



б) $\varphi=30^{\circ}$, $C=0$



в) $\varphi=30^{\circ}$, $C=0$;



5.24-расм. Грунтли тўғоннинг юқори қиялиги катта ($m_1=1$) бўлган ва антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган ҳолат учун мустаҳкамликнинг захира коэффиценти «К» қийматларининг тақсимланиш изолиниялари: а, б – масса кучлари таъсири остида; в – масса кучлари ва гидростатик босим таъсири остида

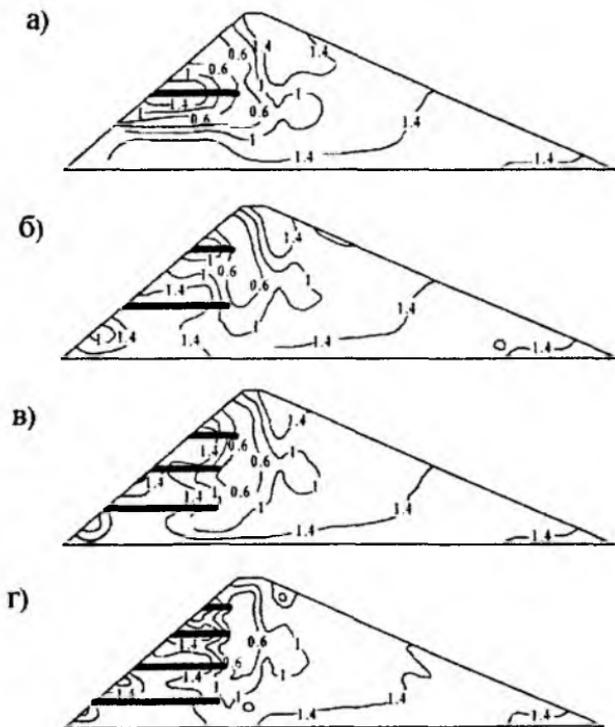
Ишлаб чиқилган усул ва ЭХМ дастурлари ёрдамида грунтли тўғонларнинг антисейсмик белбоғлар ёрдамида мустаҳкамлигини ошириш мумкинлигини илмий асослаш учун, иккита бир хил (бирига антисейсмик белбоғ ўрнатилган, иккинчисига эса ўрнатилмаган) баландлиги $H=70$ м бўлган Пачкамар тўғонининг моделида иншоотнинг мустаҳкамлиги баҳоланди.

Ҳисоб ишларини бажаришда бу тўғонларнинг юқори қияликлари катта (яъни $m_1=1$), пастки қиялиги эса одатдагидек (яъни $m_2=2$) қилиб олинди. Чунки, олдиндан антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган тўғоннинг юқори қиялик зонасида мустаҳкамлик етарли бўлмаган ҳолат қаралиб, агарда бу тўғонга антисейсмик белбоғ ўрнатилса, унинг мустаҳкамлиги

қанчага ошиши мумкинлигини баҳолаш мақсадида, иккала ҳолда ҳам тўғонларнинг юқори қиялиги $m_1=1$ деб олинди.

Бу иккала ҳолдаги тўғонга ҳам фақат масса кучлари таъсир қилаяпти деб қаралди. Ҳисоб ишларини бажаришда тўғон материали (грунт) учун куйидаги физик-механик параметрлар қабул қилинди: $E=3,07 \times 10^5$ тк/м², Пуассон коэффиценти $\mu=0,2$; $\gamma=2,6$ тк/м³.

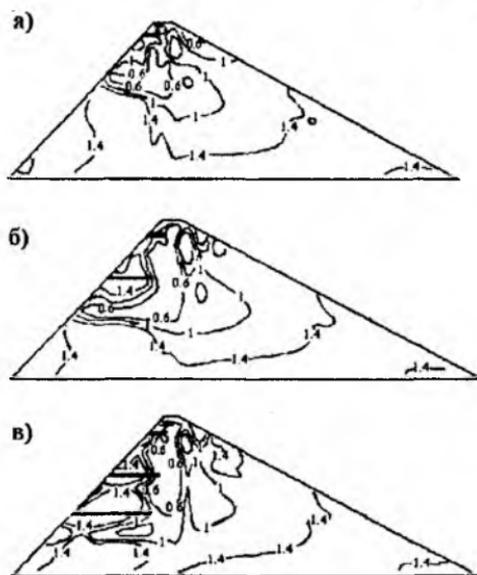
Бу иккала (антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган ва ўрнатилган) тўғонлар учун барча ҳисоб ишлари бажарилиб, тўғонларнинг ҳар бир нуқтасида ҳосил бўладиган кучланиш ҳолати ва мустаҳкамликнинг захира коэффиценти « K » нинг қийматлари аниқланди.



5.25-расм. Грунтли тўғоннинг юқори қиялиги катта ($m_1=1$) бўлган ва баландлик бўйича бир нечта антисейсмик белбоғлар ўрнатилган ҳолат учун мустаҳкамликнинг захира коэффиценти « K » қийматларининг тақсимланиш изолиниялари (тўғон фақат масса кучлари таъсири остида бўлган ҳолат): а – битта; б – иккита; в – учта; г – тўртта антисейсмик белбоғ ўрнатилган ҳолат

5.24-расмда антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган ва масса кучлари таъсири остида бўлган грунтли тўғон учун (грунт учун φ , C ларнинг ҳар хил қийматларида) аниқланган мустаҳкамликнинг захира коэффициенти « K » қийматларининг тақсимланиш изолиниялари келтирилган.

5.25-расмда эса бир нечта антисейсмик белбоғлар ўрнатилган ($\varphi=30^\circ$, $C=0$ бўлганда) ва масса кучлари таъсири остида бўлган грунтли тўғон учун аниқланган мустаҳкамликнинг захира коэффициенти « K » қийматларининг тақсимланиш изолиниялари келтирилган. Бу натижаларни олиш жарёнида тўғоннинг барча участкалари бир хил характеристикага эга бўлган материалдан қурилган ва $m_1=1$, $m_2=2$ деб қаралди.



5.26-расм. Грунтли тўғоннинг юқори қиялиги катта ($m_1=1$) бўлган ва баландлик бўйича ҳар хил масофаларда ўрнатилган антисейсмик белбоғли (тўғон фақат масса кучлари таъсири остида бўлган) ҳолат учун мустаҳкамликнинг захира коэффициенти « K » қийматларининг тақсимланиш изолиниялари: а – битта антисейсмик белбоғ юқори қиялиқнинг тепасида, яъни заминдан $0,9H$ масофада ўрнатилган; б – иккита антисейсмик белбоғ заминдан $0,6H$ ва $0,9H$ масофаларда ўрнатилган; в – учта антисейсмик белбоғ заминдан $0,4H$, $0,6H$ ва $0,9H$ масофаларда ўрнатилган ҳолат

Олинган натижалардан (антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган ҳолатда) кўринадикки (5.24-расм), қаралаётган тўғон учун ($m_1=1$, $m_2=2$ бўлганда)

грунт параметрлари $\varphi=20^\circ$, $C=0$ бўлса, тўғоннинг юқори қиялик томонидаги катта участкада мустаҳкамлик етарли бўлмайди (5.24а-расм), агар $\varphi=30^\circ$, $C=0$ деб олиниб, ҳисоб ишлари бажарилса, у ҳолда мустаҳкамлик фақат юқори қияликка жуда яқин жойларда етарли бўлмай қолади (5.24б-расм). Бу ҳолда тўғонга агар масса кучлари билан бирга гидростатик босим ҳам таъсир қилаётган бўлса, унда тўғоннинг юқори қиялигининг пастки қисмида мустаҳкамлик бир оз ошади (5.24в-расм).

Бу тўғонга ($m_1=1$, $m_2=2$, $\varphi=30^\circ$, $C=0$ бўлган ҳолда) баландлик бўйича бир хил масофаларда жойлашган ҳар хил сондаги антисейсмик белбоғлар ўрнатилса, олинган натижалардан кўринадики, белбоғлар ўзи атрофида жойлашган участкаларда мустаҳкамликни анча оширади (5.25-расм). Белбоғларнинг сони агар тўрттага етказилса, тўғоннинг деярли ҳамма участкаларидаги мустаҳкамликни етарли қилиб таъминлаш мумкин экан (5.25г-расм). Ҳатто, тўғон баландлиги бўйича ўртага ўрнатилган битта белбоғ ҳам, ўзидан пастда турган участкалардаги мустаҳкамликни етарли даражада таъминлаб бериши мумкин экан (5.25а-расм). Бунда фақат юқори қияликнинг энг тепасидагина озгина мустаҳкамлиги етарли бўлмаган кичик бир участка қолади.

Барча участкаларда мустаҳкамликни таъминлаш учун биринчи белбоғни тўғон заминидан 0,9Н, иккинчисини 0,6Н, учинчисини эса 0,4Н баландликда ўрнатилса, тўғоннинг мустаҳкамлигини таъминлаш бўйича кераклик натижани олиш мумкин (5.26в-расм).

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, антисейсмик белбоғлар ёрдамида тўғон мустаҳкамлигини ошириш мумкин экан. Бунинг учун тўғон баландлиги бўйича 3–4 та белбоғ ўрнатилса ва бу белбоғларнинг биттасини тўғоннинг энг баланд нуқтасига яқин жойга ўрнатилса, мустаҳкамликни таъминлаш бўйича керакли натижага эришиш мумкин экан.

5.10. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг динамик кучлар таъсиридаги мустаҳкамлигини баҳолаш

Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган Пачкамар тўғони моделига бир вақтнинг ўзида ҳам масса кучлари, ҳам иншоотнинг асосига қўйилган кинематик таъсир

$$\bar{x} \in \Sigma_u : \ddot{u}_o(\bar{x}, t) = \begin{cases} A \sin(2\pi\omega t) & 0 \leq t \leq 1c \\ 0 & 1 < t \leq 2c \end{cases} \quad (5.45)$$

натижасида унинг динамик ҳолатини текшираемиз.

Бу кинематик таъсирнинг частотаси ω , ни шундай танлаб олиш керакки, у иншоотда резананс ҳолатини ҳосил қилсин. Бунинг учун кинематик таъсирнинг частотасини иншоотнинг биринчи хусусий тебраниш частотасига (яъни $\omega_1 \approx 4$ Гц га) тенг деб оламиз. Кинематик таъсир (5.45) ни бемалол сейсмик таъсир деб ҳисоблаш мумкин, чунки сейсмик таъсирларнинг асосий тебраниш даврлари $T=0,3 \div 0,05$ сек ни ташкил қилади. 1976 йилда бўлган Газлидаги ер кимирашнинг даври ҳам $T=0,1$ сек ни ташкил этган.

Юқорида таъкидланган ташқи таъсир натижасида тўғоннинг динамик ҳолатини антисейсмик белбоғлар билан биргаликда баҳолаш учун (5.43) дифференциал тенгламалар системаси (5.44) бошланғич шартларнинг қуйидаги қийматларида счилди:

$$t=0: \{u_o\}=0, \{V_o\}=0 \quad (5.46)$$

Бу ҳисоб ишларини бажаришда грунтнинг тебранишни сўндириш (диссипатив) хусусияти ҳисобга олиниб, демпферлаш матрицаси [C] қуйидаги кўринишда қабул қилинади:

$$[C]=2\varepsilon[M] \quad (5.46)$$

Бу ерда ε – ўзгармас сон (материалнинг демпферлаш коэффициентини) бўлиб, унинг қиймати грунтдаги энергиянинг ютилиш коэффициенти ψ орқали ($0,2 \leq \psi \leq 0,35$), $\omega_1 \approx 4$ Гц бўлганда қуйидаги формула орқали аниқланди:

$$\psi = \frac{4\pi\varepsilon}{\omega_1} \quad (5.47)$$

яъни:

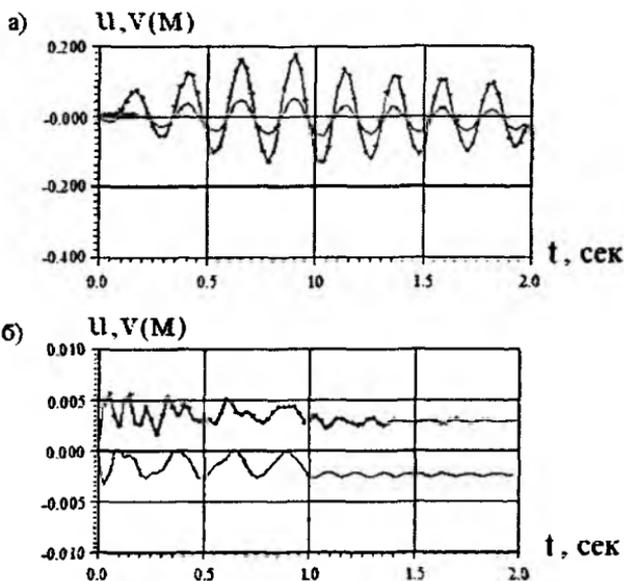
$$0,06 \leq \varepsilon \leq 0,12 \text{ бўлгани учун}$$

ε нинг қийматини грунтли тўғоннинг динамик ҳолатини баҳолашда $\varepsilon=0,1$ деб олинди.

Шу параметрлар асосида Пачкамар грунтли тўғон моделига ҳам горизонталь, ҳам вертикал йўналишда (яъни икки компонентлик) кинематик (5.45) таъсир қилаётган ҳолат учун барча ҳисоб ишлари бажарилди.

5.27-расмда тўғоннинг энг баланд «А» нуктаси (5.23-расм) учун олинган кўчишларнинг вақт бўйича ўзгариш графиги келтирилган.

Бу натижаларни олишда тўғонга кинематик таъсир билан бирга масса кучлари ҳам таъсир қилган бўлиб, грунтнинг диссипатив хусусиятлари ҳам эътиборга олинди. 5.27-расмда келтирилган натижа кинематик таъсирнинг частотаси $\omega_1=3,9$ Гц бўлганда, яъни резонанс ҳодисаси рўй берадиган частотада олинган.



5.27-расм. Пачкамар тўғони моделининг тепа қисмидаги «А» нуқтанинг икки компонентли кинематик таъсир (5.45) натижасида горизонталь (—*—*) ва вертикал (—) кўчиши: а – антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган тўғон учун; б – антисейсмик белбоғ ўрнатилган тўғон учун

5.27а-расмдаги натижа антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган тўғон учун, 5.27б-расмдаги натижа эса тўғонга тўртта антисейсмик белбоғ ўрнатилган ҳолат учун олинган.

Олинган натижалардан (антисейсмик белбоғ ўрнатилмаган ҳолда) кўринадики (5.27а-расм), тўғоннинг тебранишида резонанс ҳодисаси рўй берганлиги учун, кинематик таъсир давомида нуқтанинг тебраниш амплитудаси ошиб боради, таъсир натижаси тугагандан кейин грунтнинг диссипатив хусусияти ҳисобига тебранишда сўниш жараёни кузатилади.

Тўғонга антисейсмик белбоғ ўрнатилган ҳолда ҳам қаралаётган жараён (5.27б-расм) худди юқоридагидек (5.27а-расм) содир бўлади.

Лекин тўғон тепасидаги «А» нуктанинг тебраниши анча кичикрок амплитудада рўй беради ва кинематик таъсир тугагандан кейин тебраниш тез сўниб (5.27б-расм), иншоотнинг марказий ўқи горизонталь йўналишда силжиб, иншоотнинг тебраниши маълум вақтгача биринчи хусусий тебраниш шаклида давом этади. Бу ҳолда, тўғонга масса кучлари ҳам таъсир қилаётганлиги сабабли, тўғонда вертикал чўкиш содир бўлаётганлигини кузатиш мумкин.

5.11. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг конструктив хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда мустаҳкамлигини баҳолаш

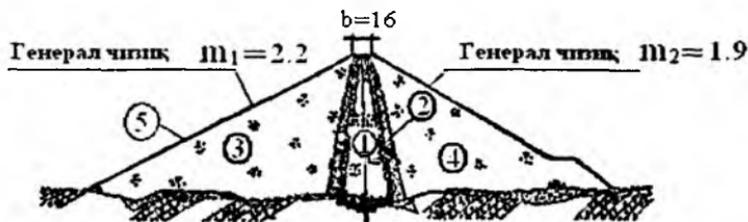
Бу бўлимда антисейсмик белбоғлар ўрнатилган баланд грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини иншоотнинг конструктив хусусиятларини эътиборга олиб, сейсмик ва хусусий оғирлик таъсирига ҳисоблаш натижалари келтирилган бўлиб, конкрет мисол тариқасида мавжуд ҚМК (қурилиш меъёрлари ва қоидалари) асосида қурилган ва I категорияли иншоотлар қаторига кирадиган баланд Хиссарак тўғонининг модели (5.28-расм) кўриб чиқилган.

Бу (5.28-расм) тош-тупроқли тўғон бўлиб, унинг максимал қурилиш баландлиги 138,5 м ни ташкил этади. Тўғон тепасининг кенглиги 16 м. Қиялик коэффициентлари: юқоригиси $m_1=2,2$; пасткиси $m_2=1,9$. Тўғон тепасининг узунлиги 660 м. Тўғон ядроси суглинкали грунтдан қурилган бўлиб, унинг қиялик коэффициенти $m=0,15$. Суглинкали грунтнинг ҳажмий оғирлиги оптимал намлик $W=17$ фоиз бўлганда $\gamma=1,7$ тк/м³ ни ташкил қилади. Ядронинг пастки қисмини эни 42,3м, юқори қисминики эса 4,5 м.

Тўғоннинг ўтиш зонаси икки қаватли – биринчи қават кум-шағалли грунтдан, иккинчи қавати шағал-қайроқтошли грунтдан қурилган. Бу грунтларнинг ўртача ҳажмий оғирликлари $\gamma=2,15$ тк/м³. Тўғоннинг таянч призмалари оҳак-тошли тоғ массаларидан қурилган бўлиб, уларнинг ҳажмий оғирлиги $\gamma=1,9$ тк/м³.

Бу тўғон учун ҳисоб ишларини бажаришнинг асосий мақсади – ҳар хил кучлар таъсирида тўғонда ҳосил бўлиши мумкин бўлган хавфли участкаларни (мустаҳкамлик нуқтаи назаридан) аниқлаш ва

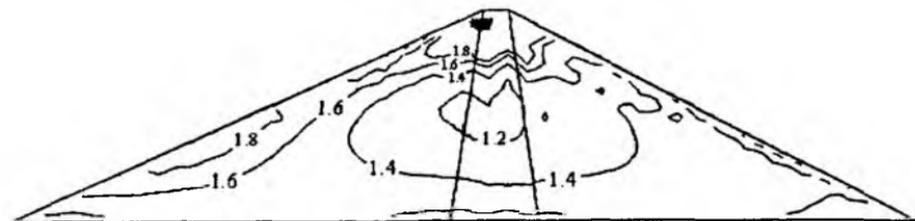
бу тўғонга антисейсмик белбоғлар ўрнатилган бўлса, бу участкалардаги мустаҳкамликнинг қанчага ошиши мумкинлигини баҳолашдир.



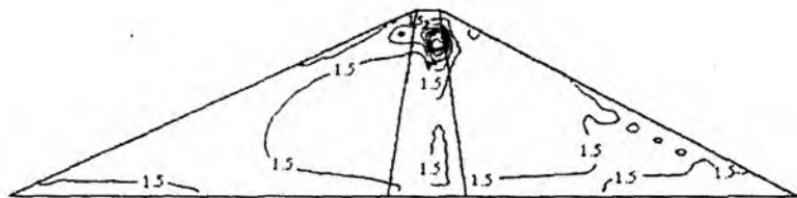
5.28-расм. Хиссарақ тўғонининг модели: 1 – ядро; 2 – филтрли қават; 3, 4 – трапец призмалари; 5 – қияликни маҳкамловчи қават

Қўйилган мақсадни амалга ошириш учун биринчи навбатда тўғоннинг ҳамма участкалари бир хил материалдан қурилган деб олинди ва тўғоннинг ўз оғирлиги таъсирида унинг барча нуқталаридаги мустаҳкамликнинг захира коэффиценти «К» нинг қийматлари баҳоланди. Бу натижа 5.29-расмда келтирилган. Иккинчи ҳолатда, тўғоннинг конструктив хусусиятлари ва турли участкалардаги материалнинг ҳар хил механик характеристикаларга эғалигини эътиборга олиб, тўғоннинг ўз оғирлиги таъсиридаги мустаҳкамлиги (мустаҳкамликнинг захира коэффиценти «К») баҳоланди (5.30-расм).

Олинган натижалар кўрсатишича, агар бу тўғонга фақат иншоотнинг хусусий оғирлиги таъсир қилса, юқоридаги иккала ҳолатда ҳам (5.29-расм ва 5.30-расм) унинг барча участкалари етарли мустаҳкамликка эга бўлади, яъни унинг барча участкаларидаги «К» нинг қийматлари 1 дан юқори.



5.29-расм. Барча участкалари бир хил грунтлардан қурилган Хиссарақ тўғони моделида иншоотнинг ўз оғирлиги таъсирида ҳосил бўладиган мустаҳкамликнинг захира коэффиценти «К» қийматларининг тақсимланиш изолиниялари



5.30-расм. Участкалари ҳар хил грунтлардан қурилган Хиссарак тўғони моделида иншоотнинг ўз оғирлиги таъсирида ҳосил бўладиган мустаҳкамликнинг захира коэффициентини «K» қийматларининг тақсимланиш изолиниялари

Агар тўғонга ўз оғирлигидан ташқари 7 балли горизонталь сейсмик куч таъсир қилса, олинган натижаларнинг кўрсатишича, тўғоннинг юқори қиялиги тепасида ва пастки томонида мустаҳкамлиги етарли бўлмаган кичик зоналар (яъни $K < 1$ дан кам бўлган зоналар) ҳосил бўлиши мумкин экан.

Агар бу тўғонга баландлик бўйича бир хил масофаларда жойлашган 3 та антисейсмик белбоғлар ўрнатилса, у ҳолда мустаҳкамлиги етарли бўлмаган зоналарнинг мустаҳкамлиги анчага ошиб, тўғоннинг барча участкаларининг мустаҳкамлиги етарли даражада таъминланади (5.31-расм). Бу ҳолатда тўғоннинг антисейсмик белбоғлари орасида ҳосил бўладиган кучланишлар ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) антисейсмик белбоғлар қўйилмаган ҳолатдаги кучланишларга нисбатан анча кичик бўлиши кузатилади. Бу кучланишлар ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) нинг кичрайиши антисейсмик белбоғлар узунлиги бўйлаб уларнинг қайта тақсимланиши натижасида ҳосил бўлади.

Антисейсмик белбоғлар қиялик яқинида хавфли ҳолат ҳосил қилувчи уринма кучланиш τ_{xy} ни камайтиради ва уни белбоғлар орасида қайта тақсимлашга олиб келади.

Антисейсмик белбоғ ўрнатилган тўғонларда рўй бериши мумкин бўлган жараёнларни моделлаштириш натижалари сифатида қуйидагиларни таъкидлаш мумкин:

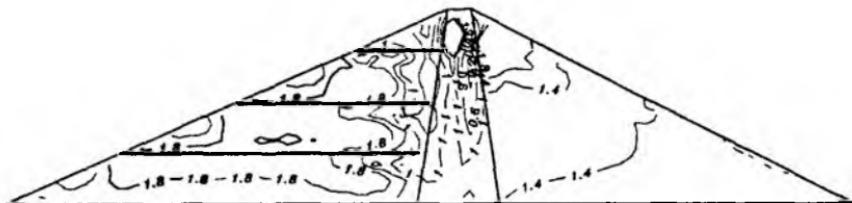
– агар тўғонга 3 та ёки 4 та антисейсмик белбоғлар ўрнатилса, кучланишларнинг тўғон танасида қайта тақсимланиши ҳисобига, тўғоннинг устки таянч призмасида ва устки қиялигида ҳосил бўлиши мумкин бўлган кучланишлар қийматини камайтириш ва тўғон мустаҳкамлигини оширишга эришиш мумкин;

– агар тўғон тепасига битта антисейсмик белбоғ ўрнатилса, у холда тўғоннинг тепа қисмида ўпирилиш хавфи бўлган зонани мустаҳкамлаш мумкин.

– антисейсмик белбоғлар хавфли бўлган уринма кучланиш τ_y нинг тенг тақсимланишини таъминлаб, тўғоннинг қия ёнбағри атрофида уни анча камайтириш имкониятини беради.

Бу олинган натижаларни механика нуктаи назаридан изоҳлайдиган бўлсак, уни қуйидагича тушунтириш мумкин: антисейсмик белбоғлар асосий кучланишларни ўзига қабул қилиб, ўз танасида катта кучланишларни ҳосил қилади. Тўғон танасида ҳосил бўлган кучланишлар эса антисейсмик белбоғларнинг узунлиги бўйича тенг тақсимланади.

Олинган натижалар ҳали ғрунтли тўғон қурилишида антисейсмик белбоғларни тўғон мустаҳкамлигини ошириш учун тўғридан-тўғри қўллаш мумкин, дегани эмас. Лойиҳа ва қурилиш ишларида бу чора-тадбирни қўллаш учун ҳали қатор илмий изланишлар ўтказилиши керак.



5.31-расм. Участкалари ҳар хил ғрунтлардан қурилган, 3 та антисейсмик белбоғ ўрнатилган Хиссарак тўғони моделида иншоотнинг ўз огирлиги ва 7 баллик горизонталь сейсмик таъсир натижасида ҳосил бўладиган мустаҳкамликнинг захира коэффиценти «К» қийматларининг тақсимланиш изолиниялари

Ҳозирги кунда турли мамлакатлар олимлари томонидан, ғрунтли материаллардан қуриладиган тўғонларнинг сейсмик мустаҳкамлигини ошириш мақсадида, антисейсмик белбоғлар билан бир қаторда бошқа кўплаб чора-тадбирлар ва конструкциялар устида ишлар олиб борилмоқда. Буларга мисол қилиб, ҳаво қувурлари (воздуховод), махсус дренаж системалари ва бошқаларни келтириш мумкин. Уларнинг барчаси ҳозирги пайтда таклифлар мақомига эга, лекин баъзи бирлари илмий асослангандан кейин келажакда амалиётга жорий этилиши эҳтимолдан холи эмас.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Абдурашидов К. С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления. Ташкент: Фан, 1974. – 216 с.
2. Абдурашидов К. С., Кабулов Ф. Р., Рахмонов Б. К. Инженерные проблемы архитектурных памятников. Ташкент: Фан, 2011. – 352 с.
3. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Xo'jaqulov R., Rahmatov M. Gidrotexnika inshootlari. 2-jild. Oliy o'quv yurtlari talabalari uchun darslik. Toshkent, 2009. – 696 b.
4. Гольденблат И. И., Николаенко Н. А. Расчет конструкций на действие сейсмических и импульсивных сил. М.: Госстройиздат, 1961. – 320 с.
5. Динамика сплошных сред в расчетах гидротехнических сооружений / Под ред. Ляхтера В.М. и Яковлева Ю.С. М.: Энергия, 1976. – 329 с.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. – 541 с.
7. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
8. Константинов И. А. Динамика гидротехнических сооружений. Л.: ЛПИ, 1976. Ч.2. – 193 с.
9. Красников Н. Д. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов. М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с.
10. Мирсаидов М. М. Теория и методы расчета грунтовых сооружений на прочность и сейсмостойкость. Ташкент: Фан, 2010. – 312 с.
11. Мирсаидов М. М., Годованников А. М. Сейсмостойкость сооружений. Учебное пособие. Ташкент: Узбекистан, 2008. – 220 с.
12. Мирсаидов М. М., Маткаримов П. Ж. Динамическая задача для грунтовых сооружений, взаимодействующих с жидкостью // ДАН РУз. 2007. №1. С.25–28.
13. Мирсаидов М., Султанов Т., Каюмов А. К., Руми Д. Ф. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин с учетом упруго-пластических свойств материала сооружения и уровня заполнения воды // ДАН РУз. 2000. №7. С.29–32.

14. Мирсаидов М. М., Султонов Т. З., Руми Д. Ф. Оценка прочности грунтовых сооружений с учетом предельно-напряженного состояния грунтов // Материалы Международной научно-технической конференции. Книга 4. Проблемы геотехники. Самарканд, 2007. С.38–44.

15. Мирсаидов М., Султанов Т., Сержанова М. Методика и алгоритм для определения динамических характеристик сооружений // Вестник ТашИИТ. Ташкент, 2009. №3–4. С.10–16.

16. Мирсаидов М., Султанов Т., Тошматов Э. Неустановившиеся вынужденные колебания грунтовых плотин с учетом геометрической нелинейности // Механика и инжиниринг замона муаммолари Халқаро илмий-техник конференция материаллари. Тошкент, 2009 йил 23–24 сентябрь. 503–507-бетлар.

17. Мирсаидов М., Султанов Т., Юлдашев Б. Конструктивные мероприятия для повышения прочности и сейсмостойкости грунтовых плотин // Вестник ТашИИТ. Ташкент, 2010. №4. С.10–14.

18. Мирсаидов М., Султанов Т., Сержанова М. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений с учетом упруго-пластичных свойств материала // Международная научно-практическая конференция «Социально-политические, экономические и культурные проблемы инновационного развития Республики Казахстан». Сб. науч. тр. Шымкент, 2010. С.279–283.

19. Мирсаидов М. М., Трояновский И. Е. Динамика неоднородных систем с учетом внутренней диссипации и волнового уноса энергии. Ташкент: Фан, 1990. – 108 с.

20. Mirsaidov M. M., Matkarimov P. J., Godovannikov A. M. Materiallar qarshiligi. Darslik. Toshkent: Fan va texnologiya, 2010. – 412 b.

21. Напетваридзе Ш. Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. М.: Госстройиздат, 1959. – 218 с.

22. Натариус Я. Н. Повышение сейсмостойкости плотин из грунтовых материалов. М.: Энергоатомиздат, 1994. – 88 с.

23. Ньюмарк Н., Розенблюэт Э. Основы сейсмостойкого строительства. М.: Стройиздат, 1980. – 344 с.

24. Окомота Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. М.: Стройиздат, 1980. – 324 с.

25. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений. Руководство по проектированию зданий и сооружений. Т.2. / Завриев К.С., Назаров А.Г., Айзенберг Я.М. и др. М.: Стройиздат, 1970. – 224 с.

26. Поляков С. В. Последствия сильных землетрясений. М.: Стройиздат, 1978. – 311 с.

27. Рассказовский И. Т. Основы физических методов определения сейсмических воздействий. Ташкент: Фан, 1973. – 160 с.

28. Расулов Х. З. Грунтлар механикаси, замин ва пойдеворлар. Тошкент: Ўқитувчи, 1993. – 240 бет.

29. Рашидов Т. Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ташкент: Фан, 1973. – 182 с.

30. Розанов Н. П. и др. Гидротехнические сооружения М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

31. Руководство по учету сейсмических воздействий на гидротехнические сооружения. М.: ВНИИГ, 1977.

32. Руми Д. Ф., Султанов Т. З., Низар И. Э. А. Исследование статического напряженно-деформированного состояния нелинейного деформируемого грунтового массива // Механика муаммолари. 1999. №4–5. 112–115-бетлар.

33. Смирнов А. Ф., Александров А. В. и др. Строительная механика, динамика и устойчивость сооружений. М.: Стройиздат, 1984. – 414 с.

34. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1982. – 48 с.

35. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. М.: Гостехиздат, 1954. – 274 с.

36. Строительная механика / Под. ред. Даркова А.В. М.: Высшая школа, 1976. – 600 с.

37. Уразбоев М. Т. Сейсмостойкость упругих и гидроупругих систем. Ташкент: Фан, 1966. – 254 с.

38. Цитович Н. А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

39. Шулман С. Г. Расчеты сейсмостойкости гидросооружений с учетом влияния водной среды. М.: Энергия, 1976. – 336 с.

40. ҚМҚ 2.01.03-96. Зилзилавий худудларда қурилиш. Тошкент, 1996. – 59 бет.

Мундарижа

КИРИШ.....	3
1-боб. Зилзилаларнинг физик табиати ва уларнинг таъсири ҳақида	
умумий маълумотлар	6
1.1. Ер шарининг тузилиши, ундаги ҳарорат ва босим ҳақида умумий маълумотлар	6
1.1.2. <i>Ҳарорат ва босим.....</i>	7
1.2. Зилзилаларнинг келиб чиқиш сабаблари ва механик шаклланиши.....	8
1.3. Сейсмик тўлқинлар.....	13
1.4. Гипоцентр ва эпицентр.....	16
1.5. Афтершок ва форшок	17
1.6. Зилзилаларнинг турлари ва улар кўп содир бўладиган ҳудудлар.....	18
1.7. Зилзилаларнинг кучи, уларни ўлчаш ва баҳолаш	19
1.7.1. <i>Сейсмик асбоблар.....</i>	19
1.7.2. <i>Сейсмик шкалалар.....</i>	22
1.8. Зилзиланинг манбаси, энергияси ва магнитудаси ҳақида тушунча.....	27
1.9. Цунами ҳақида тушунча.....	32
1.10. Зилзилалар ва цунамиларнинг келтирган офатлари ҳақида қисқача маълумот	35
1.11. Зилзила содир бўлишини аниқлаш имкониятлари ҳақида.....	44
1.12. Зилзила вақтида қўриладиган баъзи бир эҳтиёт чоралар.....	47
2-боб. Тебранишлар назарияси	49
2.1. Динамик юкларнинг турлари.....	49
2.2. Динамикада қабул қилинган асосий фаразлар.....	50
2.3. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг эркин тебраниши	54
2.3.1. <i>Сўниш ҳисобга олинган ҳолат.....</i>	54
2.3.2. <i>Сўниш ҳисобга олинмаган ҳолат</i>	60
2.4. Иншоот нуқталарининг кўчишларини аниқлаш.....	61
2.5. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини текширишга доир мисоллар	64
2.5.1- <i>мисол.....</i>	64
2.5.2- <i>мисол.....</i>	65
2.5.3- <i>мисол.....</i>	67
2.6. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг мажбурий тебраниши.....	71

2.7. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларнинг мажбурий тебранишларини текширишга доир мисоллар.....	76
2.7.1-мисол.....	76
2.7.2-мисол.....	81
2.8. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларга импульс кучларининг таъсирлари.....	86
2.8.1. Қиймати ўзгармас қўзғатувчи куч бирданига қўйилгандаги ҳолат.....	86
2.8.2. Қиймати ўзгармас, бирданига қўйиб-олинган куч таъсири.....	87
2.8.3. Кучнинг қисқа муддатли импульси.....	88
2.8.4. Зарбали куч таъсири.....	88
2.9. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системаларга импульс кучларининг таъсирларини текширишга доир мисоллар.....	91
2.9.1-мисол.....	91
2.9.2-мисол.....	92
2.9.3-мисол.....	94
2.9.4-мисол.....	96
2.10. Эркинлик даражаси бир нечта бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини куч усули ёрдамида текшириш.....	98
2.10.1. Эркинлик даражаси учга тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш.....	98
2.10.2. Эркинлик даражаси “ <i>n</i> ” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш.....	100
2.11. Эркинлик даражаси бир нечта бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини куч усули ёрдамида текширишга доир мисоллар.....	101
2.11.1-мисол.....	101
2.11.2-мисол.....	104
2.11.3-мисол.....	106
2.12. Эркинлик даражаси “ <i>n</i> ” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини кўчиш усули ёрдамида текшириш.....	111
2.13. Эркинлик даражаси “ <i>n</i> ” га тенг бўлган системалар хусусий тебранишларининг қуйи частотасини баҳолаш.....	112
2.13.1. Эркинлик даражаси учга тенг бўлган системани хусусий тебранишининг қуйи частотасини баҳолашга мисол.....	112
3-боб. Иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблаш.....	115
3.1. Иншоотлар зилзилабардошлигини таъминлашнинг асосий талаблари.....	115
3.2. Грунт шароитлари ва сейсмик таъсирларнинг интенсивлик даражаси.....	116
3.3. Иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблаш назарияларига доир маълумотлар.....	118
3.4. Иншоотлар зилзилабардошлигида қўлланиладиган ҳисобий схемалар.....	120
3.5. Бикир иншоотларга таъсир этувчи сейсмик кучларни аниқлаш.....	126

3.6. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системани акселерограмма таъсирига ҳисоблаш	130
3.7. Кўп массали системаларни хусусий тебраниш шаклларида фойдаланиб спектрал усул ёрдамида ҳисоблаш.....	133
3.7.1-мисол.....	134
3.8. Гидротехника иншоотларига таъсир этувчи сейсмик кучларни аниқлаш усуллари	140
4-боб. Турли иншоотлар зилзилабардошлигини баҳолаш	144
4.1. Сув босими минорасининг ҳисоби.....	144
4.1.1-мисол.....	144
4.1.2-мисол.....	147
4.2. Гравитацион тўғонларнинг ҳисоби	153
4.3. Грунтли тўғонларнинг ҳисоби	160
4.4. Грунтли тўғон қияликларини устуворликка ҳисоблаш	167
5-боб. Грунтли материаллардан қурилган тўғонларнинг мустаҳкамлиги ва зилзилабардошлиги.....	178
5.1. Грунтли иншоотлар қурилишида қўлланиладиган материалларнинг асосий хоссалари.....	178
5.2. Грунтли гидротехника иншоотларининг зилзилалар таъсиридан кейинги ҳолатлари.....	186
5.3. Грунтли тўғонларни чекли элементлар усули ёрдамида ҳисоблаш асослари	191
5.4. Материалларнинг эластик-пластик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғонларнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатларини баҳолаш	200
5.5. Грунтли иншоотлар мустаҳкамлигини грунтларнинг чегаравий-кучланиш ҳолатини ҳисобга олган ҳолда баҳолаш	203
5.6. Динамик жараёнларда сув билан ўзаро таъсирда бўлган грунтли иншоотларнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини баҳолаш	209
5.7. Грунтли материаллардан қурилган тўғонларнинг сейсмик мустаҳкамлигини оширишга қаратилган чора-тадбирлар.....	213
5.8. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини баҳолаш учун математик моделни қуриш	220
5.9. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг статик кучлар таъсиридаги мустаҳкамлигини баҳолаш.....	223
5.10. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг динамик кучлар таъсиридаги мустаҳкамлигини баҳолаш.....	227
5.11. Антисейсмик белбоғлар ўрнатилган грунтли тўғонларнинг конструктив хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда мустаҳкамлигини баҳолаш	230
Фойдаланилган адабиётлар рўйхати	234

38.79

M53

Мирсаидов М.М.

Иншоотлар зилзилабардошлиги / М.М.Мирсаидов, Т.З.Султанов; масъул муҳаррирлар **Т.Ш.Ширинқулов** К.С.Султонов. –Тошкент: Фан, 2012. – 240 б.

И. Султанов Т.З.

ISBN 978-9943-19-189-1

УДК 624.042.7:699.841:627.8.042.7

КБК 38.79+26.21

Ушбу монография Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги томонидан олий таълим муассасалари 5450100 – “Ирригация тизимларида сув энергиясидан фойдаланиш”, 5340700 – “Гидротехника қурилиши” таълим йўналишлари ҳамда 340000 – “Архитектура ва қурилиш” таълим соҳасининг бакалавриатура ва магистратура талабалари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган (1705-сонли Гувоҳнома)

Муҳаррир: *М.Содиқова*

Тех.муҳаррир: *М.Абидова*

Мусаххих: *Б.Мирзаева*

Саҳифаловчи: *Д.Абдуллаев*

Нашриёт лицензияси АІ №138, 27.04.2009 й.

Нашриёт рақами: з-15. Теришга берилди 13.03.2012.

Босишга рухсат этилди 02.07.2012. Қоғоз бичими 60x84 ¹/₁₆.

Times гарнитураси. Офсет босма. Офсет қоғози.

Ҳисоб-нашриёт т. 12,0. Шартли босма т. 13,95.

Тиражи 200. Келишилган нархда.

ЎзР ФА “Фан” нашриёти. 100170, Тошкент, И.Мўминов кўчаси, 9-уй.
Тел/факс (8-371) 262-80-65, 262-70-40. E-mail: fannashriyot@yandex.com

ЎзР ФА “Фан” нашриёти оригинал-макетидан
“Toshkent tezkor bosmaxonasi” МЧЖда чоп этилди. Буюртма №311.
100200, Тошкент, Радиалний тор кўчаси, 10-уй.