

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК-ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ

Қўлёзма ҳуқуқида
УДК

Эгамбердиев Исмоил Хайитмирзаевич
“Темир йўл поездлари ҳаракатидан ҳосил бўлган тўлқинларни бино ва
иншоотларга таъсирини аниқлаш”

М 5А111001 Касб таълими-(Бинолар ва иншоотлар қурилиши)
мутахассислиги бўйича магистр академик даражасини олиш учун ёзган

ДИССЕРТАЦИЯ

Иш кўриб чиқилди ва ҳимояга қўйилди:
«Бинолар ва иншоотлар қурилиши»
кафедраси мудири:

доц. С. Раззақов

Илмий раҳбар:

т.ф.д., проф. Ш. С. Юлдашев

Наманган- 2014

МУНДАРИЖА

| | |
|--|----|
| Кириш..... | 4 |
| I БОБ. Ярим текиликда эластик тўлқинларнинг тарқалиши хақидаги масаланинг қўйилиши..... | 11 |
| 1.1. Грунтларнинг физик-механик хусусиятлари..... | 11 |
| 1.2. Умумий деформация модули..... | 13 |
| 1.3. Грунтларнинг силжишга қаршилиги | 16 |
| 1.4. Масаланинг қўйилиши..... | 20 |
| 1.5. Масалани вариацион қўйилиши..... | 23 |
| 1.6. Хотирага эга бўлган эластик жисмнинг тебраниш тенгламаси учун физик параметрлар..... | 27 |
| II БОБ. Эластиклик назариясининг текис масалаини чекли элементлар усули билан ечиш..... | 30 |
| 2.1.Чекли элементлар усулини эластиклик назариясининг текис масаласини ечишга қўллаш ҳақида | 30 |
| 2.2.Тузилган дастур натижаларининг тўғрилигини текшириш..... | 43 |
| 2.3. Чексиз эластик ярим текисликнинг чекли динамик модели..... | 45 |
| III БОБ. Темир йўл поездлари ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрацияни тарқалишини ўрганиш..... | 49 |
| 3.1. Поездлар ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрациянинг тарқалишини. грунтнинг турли хил моделларини ҳисобга олган ҳолда тадқиқ қилиш | 49 |
| 3.2.Атрофга нисбатан баландда жойлашган темир йўл полотносидан тебранишларнинг тарқалиши | 57 |
| Асосий хулосалар..... | 66 |
| Амалий тавсиялар..... | 67 |
| Фойдаланилган адабиётлар..... | 68 |
| Иловалар..... | 74 |

Аннотация

Бино ва иншоотларга поездлар ҳаракатидан ҳосил бўладиган тўлқинларни таъсирини аниқлаш мураккаб жараён бўлиб, уларга турли йўналишда тўлқинлар таъсир этади. Бунинг натижасида бинолар қурилган масофада грунтнинг физик-механик хусусиятлари ўзгариб боради.

Шунинг учун бино ва иншоотларнинг турли хил грунтлар билан ўзаро таъсирини, уларнинг бўйлама ва кўндаланг тўлқинлар таъсирида кучланганлик ҳолатини ўрганиш ва натижалар асосида қурилиш маъёрий ҳужжатларини ишлаб чиқиш катта илмий аҳамиятга эга. Илмий ишда асосан бино ва иншоотларга таъсир этувчи ностационар тўлқинлар натижасида вужудга келган деформация-кучланиш ҳолати таҳлил этилган. Биноларнинг ишлаш турига қараб, уларнинг ҳисоблаш усуллари ҳам турлича бўлиши, ҳисоб жараёнида турли хил тўлқинларни ҳисобга олган ҳолда бино ва иншоот барпо этилган грунтларни ўрганиш бўйича изланишлар олиб борилди.

Бино ва иншоотларга таъсир этувчи ностационар тўлқинларни ва уларни биноларга таъсирини ўрганиш бўйича тажрибалар ўтказилди.

Кириш

Сўнги йилларда Ўзбекистоннинг барча ҳудудларида олиб борилаётган бунёдкорлик ишлари туфайли барча шаҳар ва қишлоқларда аҳоли яшаш жойлари ва ишлаб чиқариш корхоналарини қуриш интенсив равишда олиб борилмоқда. Бундан ташқари ишлаб чиқаришни ривожланиши ва аҳоли сонини кўпайиши, уларни транспорт ва темир йўл транспортларидан фойдаланиш эҳтиёжини ўсишига ҳам сабаб бўлмоқда. Бу эса ўз навбатида уларни ҳаракатланиши туфайли ҳосил бўладиган тўлқинлар бино ва иншоотларга сезиларли даражада ўз таъсирини кўрсатмоқда.

Уй-жойларни капитал таъмирлаш, реконструкция қилиш ва қуриш бўйича пудрат ишлари кўламини кенгайтириш, аҳолининг ўсиб бораётган эҳтиёжини қондириш мақсадида шаҳар ва туманларда турар жой фонди объектларини лойиҳалаштириш, қуриш, реконструкция қилиш, таъмирлаш ва уларнинг дизайни бўйича ишларни тугал ҳолда, яъни калити билан топшириш шarti асосида фаолият олиб борадиган ихтисослашган хусусий таъмирлаш-қурилиш ташкилотларини тузиш назарда тутилган.

Табиийки, янги қурилишларни замонавий қурилиш материаллари ва конструкцияларисиз тасаввур қилиб бўлмайди. Қишлоқ жойларда барпо этиладиган объектларни қуришда йиғма, композицион ва кичик блокли конструкцияларни қўллаган ҳолда, индустриал ва йиғма технологияларни кенг жорий этиш даркор.

Биз қишлоқда нафақат обод аҳоли масканлари ва замонавий уйларга, балки равон йўллар, узлуксиз энергия таъминоти, аҳолини тоза ичимлик суви билан таъминлаш тизимига, ривожланган ижтимоий объектлар тармоғига — бу қишлоқ врачлик пунктлари, мактаблар бўладими, болалар спорти иншоотлари, телекоммуникация ва почта алоқаси бўладими, хизмат кўрсатиш, савдо шохобчалари бўладими — ана шундай ва бошқа тузилмаларга эга бўлишимиз керак. Белгиланган чора-тадбирларни амалга ошириш учун қишлоқ қурилиши бўйича ҳудудий бўлимларга эга

ихтисослашган банк ташкил этиш масаласини кўриб чиқиш мақсадга мувофиқдир.

Ҳозирги пайтда мамлакатимиз шаҳарсозлигини ривожлантириш билан бир қаторда қишлоқ ҳудудларида ҳам зарур инфратузилма - газ ва бошқа коммуникация тармоқларининг замонавий турларини яратиб бериш, уларни модернизация қилиш соҳа олдида турган энг муҳим вазифа ҳисобланади.

«Кадрлар тайёрлаш миллий дастури» тўғрисидаги қонунда белгиланган вазифалардан келиб чиққан ҳолда таълим тизимидаги ислоҳотларни амалга ошириш, қурилиш индустриясини замон талабларига жавоб берадиган юқори малакали кадрлар билан таъминлаш олий таълим тизимида амалга оширилаётган ислоҳотларни ривожлантиришнинг асосий моҳиятини ташкил этади.

Республикамызда транспорт ва темир йўллар аҳоли яшаш жойлари яқинидан ўтган бўлиб, улардан ҳосил бўладиган шовқин ва тўлқинлар инсон соғлигига қолаверса, бинолар ва ер ости иншоотлари тармоқларига салбий таъсир кўрсатади.

Мавзунинг долзарблиги.

Аҳолини жойлашиши жиҳатидан зич бўлган Наманган вилоятидаги саноат корхоналари, жамоат бинолари ва турар жой бинолари учун ер ости муҳандислик тармоқлари билан уланган шаҳар ва туманларда саноат корхоналарининг қурилиши кейинги пайтда кенг қулоқ очмоқда. Юқоридаги саноат ва тармоқларнинг ривожланиши учун унинг динамик ва сейсмик кучларни таъсиридаги ҳолатларини баҳолаш, тармоқ конструкцияларида ҳосил бўладиган зўриқиш кучланишларни аниқлаш ва ташқи кучлар таъсирига чидамли кесим юзалар танлаш чора-тадбирлар белгиланади .

Ҳозирги мавжуд конструкцияларни ҳисоблаш услублари кўп ҳолларда ҳақиқий тармоқнинг иш шароитларини ҳисобга олмайди. Кўпгина илмий тадқиқот ишларида динамик кучлар натижасида саноат корхоналари, жамоат бинолари, турар жой бинолари ва ер ости коммуникацияларида ҳосил бўлган

бузилишлар ва кўрган талофатлар келтирилсада, бу муаммони назарий жиҳатдан ўрганишга етарли эътибор берилмаган.

Тўлқинлар тартибсиз шовқинни вужудга келишига сабаб бўлади, бу эса инсон яшаш муҳитининг муҳим экологик кўрсаткичлари ҳисобланади.

Динамик кучлар таъсирида ер ости иншоотларида бузилишлар содир бўлиши мумкин. Тебраниш тўлқинлари таъсирида тармоқнинг конструкция элементларида ва бирикмаларда динамик кучлар ортади, деталларда юк кўтариш қобилияти пасаяди, ёриқлар, дарзлар пайдо бўлади. Материалнинг ички структураси ва ташқи юзаси бузилишига конструкцияларни ишдан чиқишига сабаб бўлади. Шунинг учун маълум ҳудуд учун тармоқларни ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқиш зарур.

Бундай усулларнинг йиғиндиси натижасида бино ва иншоотларни мустаҳкамликка ҳисоблаш услубларини янада такомиллаштирилади ва олинадиган натижалар унинг ташқи таъсир кучларида ҳосил бўладиган зўриқишларнинг миқдори янада аниқ ва тўлароқ олиш имкониятларини яратади.

Динамик кучларни ер остида тарқалиши ва тармоқларда ҳосил бўладиган зўриқишлар жараёнини ўрганишимиз зарур. Турли саноат корхоналари, жамоат ва турар жой биноларининг мустаҳкамлилигини таъминлаш муаммоларини ҳал этиш бугунги куннинг долзарб муаммоларидан биридир.

Ҳозирги кунга келиб 40 дан ортиқ давлатларда вибрацияли машина ва жиҳозлар учун техник талаблар ишлаб чиқилган бўлиб, улар қонун билан мустаҳкамланган.

Юқорида келтирилган омиллар шуни кўрсатадики, вибрация инсон организмига, машина ва механизмларга, бино ва иншоотларга, технологик жараёнларга зарарли таъсир этиб, катта ижтимоий зарар келтиради.

Тадқиқот мақсад ва вазифалари.

-бино ва иншоотларда динамик кучдан ҳосил бўладиган зўриқишларни назарий жиҳатдан ўрганиш;

-грунтнинг турли физик ва геометрик параметрлари таъсирини ўрганиш, ҳаракатланувчи юклар: транспорт воситалари, темир йўл транспортлари ҳаракатидан ҳосил бўладиган тўлқинларни таҳлил этиш, бино ва иншоотлар тармоқларига таъсир этувчи тўлқинлар даражаларини ўрганиш;

-тўлқинларнинг тарқалиш жараёнидаги масалаларни ечиш орқали олинган натижаларни таҳлил этиш, динамик назария асосида зилзилабардошлик, грунтга нисбатан қувурларни руҳсат этилган сирпаниб кўчишларни аниқлаш;

-ҳаракатланувчи юклар таъсирида вужудга келган тўлқинларни тарқалишини назарий ва амалий жиҳатдан ўрганиш;

Ишнинг илмий янгиликлари.

-поездларнинг ҳаракатидан ҳосил бўлган тўлқинларни бино ва иншоотнинг тармоқларига таъсирини ўрганиш;

-грунт юзасининг тебраниш даражасига таъсир этувчи турли физик ва геометрик параметрларни аниқлаш;

- темир йўл поездлари ҳаракатланиши натижасида вужудга келадиган тўлқинларни тарқалишини ўрганиш;

Ишнинг амалий ахамияти.

Ишлаб чиқилган ва таҳлил қилинган ҳисоблаш усуллари ва дастурлардан ер ости тармоқларининг турли физик ва механик катталиклари бўйича ҳисоблаш имконини беради. Олинган натижалар ва таҳлил қилинган услублардан Республикамизда қуриладиган ер ости муҳандислик коммуникация тармоқлари ва турли хил иншоотларини лойиҳалаш ишларида фойдаланиш мумкин. Вибрациянинг манбаларидан бўлган турли ишлаб чиқариш ва транспорт воситаларидан вужудга келган тўлқинларни тарқалиши ва уларнинг ер ости коммуникация тармоқларига салбий

таъсирини ўрганиш. Шунинг учун бу тўлқинларни ўрганиш илмий ва амалий аҳамиятга эгадир.

Тадқиқот объекти:Қўйилган масалаларни ечиш учун қуйидаги объектлар танланган:

- бино ва иншоотнинг тармоқлари;
- бино ва иншоотлар остига ётқизилган грунтлар;

Тадқиқот предмети: поездлар ҳаракатидан ҳосил бўлган тўлқинлар;

Ишнинг таркибий тузилиши.

Ушбу илмий изланишларда бино ва иншоот конструкцияларида динамик куч таъсирида ҳосил бўладиган динамик жараёнлар назарий жиҳатдан ўрганилди.

Диссертация кириш, 3та боб ва хулосалардан иборат. Ишнинг сўнгида амалий тавсиянома ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати киритилган.

I бобда Масаланинг қўйилиши ва унинг долзарблиги тўғрисида сўз юритилган бўлиб, қўйилган масаланинг ечиш методлар таҳлили келтирилган. Ҳозирда бу соҳа бўйича дунёда олиб борилаётган илмий тадқиқот ишлар ҳақида маълумотлар келтириб, улар таҳлил этилган.

II бобда Ламе масаласини ечиш тўғрисида сўз юритилган. Сўнгра стационар ҳолат учун динамик масалани ЧЭУ ёрдамида ечиш ва ностационар жараёнлар учун ЧЭУни қўллаш бўйича маълумотлар берилган.

III бобда Бино ва иншоот тармоқларини мустаҳкамлилигини таъминлаш мақсадида, қурилиш меъёрлари бўйича ҳисоблаш ишлари баён қилиниб, уни янада такомиллаштириш ишлари назарий ўрганилиб, тегишли тавсиялар ишлаб чиқилди.

Олиб борилган илмий изланиш натижаларини яқуний хулосаларда баён этилди.

Масалани ўрганилганлик даражаси

Вибрация манбаидан тўлқинларнинг грунтда, ер ости ва устида тарқалиши, уларнинг салбий таъсирларини бартараф этиш муаммоларини кўплаб олимлар томонидан ўрганилган, шу сабабли изланишлар давомида

уларнинг назарий ва амалий натижаларига таянамиз. Б.М. Мардонов, Г.Х. Хожметов ва П.Р. Рашидовларнинг монографияларида сейсмик ҳаракатлар натижасида ер ости иншоотларининг тебраниши ва уларнинг грунт билан ўзаро таъсирининг назарий ва амалий изланишларнинг натижалари келтирилган. Турли хил шароитларда ер ости қувурлари ва уларнинг грунтлар билан ўзаро таъсирини характерловчи параметрлар тажриба йўли билан аниқланган. Сейсмик фаол ҳудудларга турли мақсадларда қурилаётган ер ости иншоотларини режалаш ва ҳисоблаш бўйича аниқ таклиф ва маслаҳатлар берилган.

[56] тадқиқот ишида ер ости қувурларининг тебраниш масаласи цилиндрик қобик сифатида атроф муҳитдан тарқалаётган тўлқинларнинг пульсли юкламалари таъсири тадқиқ этилган. Бу масалани ечишда аввал грунтларда эластик тўлқинларнинг тарқалиш масаласи ўрганилган. Цилиндрик координаталарда тебраниш тенгламаси тузилади: бунда тўлқинлар таъсири чексиз мавжуд деб ҳисобланади. Кейин эса маълум бўлган параметрларни ҳисобга олган ҳолда грунт остидаги қувурларнинг тебраниш масаласи ечилади. Фараз қиламиз, қувурнинг ён сирти билан грунтнинг ишқаланиши билан нормал юза бўйича векторлар ташкил этувчилари йўқ, яъни бундай чегаравий шарт цилиндрик қобикнинг тенгламасини ечишни аниқлайди.

57 тадқиқот ишида ҳам бундай масала худди шундай усулда ечилади. Сирт атроф билан силлик, икки томонлама алоқада боғланган, ўзаро алоқа чегараси ва сиртда уринма кучланиш мавжуд, чекланишларга рухсат этилган нормал кучланиш сирт томонидан босимга тенг деб ҳисобланади.

Илмий ишларда асосий эътибор фақат иншоотнинг ҳисоб ишларига қаратилган бўлиб, иншоотга таъсир этувчи тўлқинлар эътиборга олинмаган.

[10] илмий ишда катта узунликдаги қувур типидagi иншоотларнинг ҳисоб масалалари ечимини топган бўлиб, бунда у атрофдаги грунтга гармоник таъсир этиши назарда тутилган.

[49] илмий ишда метро поездининг ҳаракатланиши натижасида вужудга келадиган грунт юзасида тебранишларнинг сонли ҳисоб натижалари келтирилган бўлиб, бу ҳисоб ишлари тажриба асосида тоннеллардан ёзиб олинган тебранишлар асосида амалга оширилган .

[33] илмий ишда эластик муҳитда ички манбадан тўлқинларнинг тарқалиши масаласи аналитик усулда ечилган. Муҳит ичида юклама тўғри бурчак юза шаклида тақсимланган.

Илмий ишларда темир йўл полотносидан тарқалаётган тўлқинлар ўрганилган.

Илмий ишларда ҳаракатланувчи юк таъсирида вужудга келадиган грунт юзасидаги тебраниш назарий ва тажриба йўли билан ўрганилган.

Юқорида келтирилган адабиётлар таҳлили шуни кўрсатадики, ер усти ва ер ости транспортларининг ҳаракатланиши натижасида вужудга келадиган вибрация ва уларни тарқалишини ўрганиш ҳозирги вақтга келиб ҳам назарий, ҳам амалий аҳамиятга эга. Кўплаб илмий ишлардаги тажриба изланишлари шу муаммога қаратилган. Бундан ташқари бу таҳлиллардан кўриниб турибдики, бу муаммони кенг назарий ва амалий жиҳатдан ўрганиш реал муҳандислик амалиётининг талаби ҳамдир.

Бу муаммо долзарбдир, чунки темир ва автомобил йўллари тизими изчил қурилмоқда.

I БОБ

Ярим текиликда эластик тўлқинларнинг тарқалиши ҳақидаги масаланинг қўйилиши

1.1 Грунтларнинг физик-механик хусусиятлари

Ташки юк таъсирида грунт зарраларнинг ўзаро силжиши, сурилиши ва янада зичроқ жойлашуви натижасида улар орасидаги ғоваклик камайиб, грунт зичланади.

Грунтлар зичланиш жараёнида уларнинг шакли асосан ғоваклар ҳажмини камайиши ҳисобига ўзгаради. Грунт таркибидаги қаттиқ зарралар ва сув амалда сиқилмайди. Бундай шарт амалиётда катта хатолика олиб бормади, чунки бир квадрат см юзага 50-60 кн куч таъсир эттириб олиб борилиб, тажрибалар грунт зарралари ва сувнинг сиқилишини 1% ошмаслигини кўрсатади. Шундай қилиб, грунтнинг зичланиши тўғрисида сўз юритилганда, унинг сиқилиши назарда тутилади.

Маълумки, ғоваклари сувга тўйинган грунтлар маълум миқдордаги сувнинг сизиб чиқиши ҳисобига зичланади. Бу эса ўз навбатида, грунтнинг зичланиш ҳолати, ундаги намликни камайишига олиб келишидан далолат беради. Грунтнинг ҳар қандай юк таъсиридаги зичланиши доимо узок ёки қисқа вақт давом этади. Давомийликни келтириб чиқарувчи ҳолатлар эса грунтнинг ёпишқоқлиги ва сув сизиш хусусияти билан боғлиқ бўлади.

Грунтларнинг асосий хусусиятларидан бири, уларнинг юк таъсири остида сиқилишидир. Бу хусусиятни ўрганиш грунт заминларда қуриладиган иншоот ва биноларни лойиҳалашда жуда муҳимдир. Агар иншоот замини етарли зичликка эга бўлмаса, уни у ёки бу усул ёрдамида зич ҳолга келтирадилар. Масалан, механик усулда ёки сунъий қотириш усулида. Грунтли заминларни механик усулида зичлаш асосан статик ва динамик юклар таъсирида амалга оширилади.

Лойсимон грунтлар асосан статик грунтлар остида яхши зичланади ва унинг амалга ошиши грунт таркибидан сувнинг сиқиб чиқариш тезлигига

боғлик бўлади. Қумли грунтлар эса динамик юклар таъсирида яхши зичланади. Грунт намуналарни доимий куч ёрдамида зичлашда (компрессияда) куйидаги икки чегарани ҳисобга олиш керак:

1. Ташқи куч миқдори грунт ички боғланиши кучларидан кичик бўлган ҳол, яъни $P < P_{стр}$;
2. Ташқи куч миқдори грунт ички боғланиши кучларидан катта бўлган ҳол, яъни $P > P_{стр}$.

Биринчи ҳолда, кўп тажрибаларнинг кўрсатишича, грунт зичланмайди, чуқи бу ерда ҳосил бўлган деформациялар эластик бўлиб, грунт қаттиқ жисмга ҳос деформацияга учрайди. Иккинчи ҳолда эса грунт ўз таркибидан маълум миқдордаги сувни сиқиб чиқариши натижасида катта сиқилишга учрайди.

Грунт сиқилишини характерловчи асосий кўрсаткичларни ён томонга кенгайтишига имкон бўлмаган ва фақат вертикал деформация юзага қоладиган шароитда, ҳамда фақат ташқи куч таъсири остида бўлган шароитда тажриба ўтказиш билан аниқланади.

Грунтларни сиқилишини ён томондан бикр бўлган одометр деб аталадиган асбобда ўрганилади.



1-расм. Грунтнинг сиқилишга қаршилигини аниқловчи ускуна – Одометр схемаси (компресс қурилма)

Унда грунт сиқилиши фақат бир томонга (пастга) йўналган бўлади ва у табиатда рўй берадиган текис тақсимланган кучга мос келади.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, грунт сиртига таъсир этувчи юкнинг ошиб бориши натижасида, ғоваклик коэффиценти ва грунт намлиги камайиб боради. Таъсир этувчи босим ва намлик ўртасида маълум муносабат ўрнатилиши мумкин.

Сувга тўйинган лойли грунтни ўсиб борувчи юк таъсирида синалган пайтда, ҳар бир поғона юкка маълум намлик тўғри келади.

1.2 Умумий деформация модули

Умумий деформация модули (умумий шакл ўзгариш қиймати) E_p Юнг конуни асосида аниқланадиган эластик жисмларга хос бўлган бирлик E га монанддир. Лекин, грунтнинг ўзига хос хусусиятларидан келиб чиқиб, улар бир-биридан фарқ қилади.

Грунтларда E_p нинг умумий шакл ўзгариш ўлчови деб аталишига унинг эластик ва қолдиқли шакл ўзгариш қийматлари йиғиндисидан ташкил топганлиги сабаб бўлади.

E_p грунтлардаги ўзига хос бошқа хусусиятни, яъни улар зичлигини ошиши билан сиқилиш хусусиятининг сусайишини ҳам ҳисобга олади. Бу эса умумий шакл ўзгариш қиймати (E_p) нинг юк миқдори билан боғлиқлигини ифодалайди, яъни:

$$E_p = f(P)$$

Умумий шакл ўзгариш қийматини зичланиш коэффиценти орқалиқуйидагича ифодалаш мумкин:

$$E_p = \beta \frac{1+l}{a} \quad (8)$$

бунда β - грунтнинг Юнга кенгайиш коэффиценти M га боғлиқ бўлган ўлчовсиз миқдор.

$$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \quad (9)$$

Бу ифода ёрдамда ҳисобламаган В нинг қийматлари қуйидагича бўлади:

| | |
|-----------|-----------------------|
| Қум | - 075($\mu = 0.29$) |
| Лойли қум | - 072($\mu = 0.31$) |
| Қумли лой | - 057($\mu = 0.31$) |
| Лой | - 043($\mu = 0.31$) |

Умумий шакл ўзгариш қиймати лаборатория шароитида компрессион текширишларда дала шароитида шурф ва скважиналарда синаш олиб бориш орқали аниқланади.

Иншоотдан узатилувчи вертикал ёки қия куч таъсирида замин бўйлаб грунтларда деформацияни вужудга келтирувчи тик ва уринма зўриқишлар ҳосил бўлади. Бундан ташқари, грунт ўз оғирлиги остидаги кучланиш таъсирида ҳам бўлади. Грунтларнинг ўз оғирлигидан ҳосил бўлган деформация уларни таркиб топиш жараёнидаёқ тугайди. Иншоотдан узатилувчи куч таъсирида ҳосил бўлган зўриқиш эса грунтларда қўшимча деформацияни вужудга келтиради.

Кўпинча тик зўриқиш таъсири остида грунтларда зичланиш деформациясини келтириб чиқарса, уринма зўриқишлар эса грунтларда силжиш деформациясини вужудга келтиради.

Тик зўриқишларни яхлит жисмларга таъсирини деформацияланувчи жисмлар механикаси (материаллар қаршилиги, эластиклик назарияси) фанида батафсил ўрганилади. Чунки, грунтлар дисперс жисмлар тоифасига кирганлиги сабабли, яхлит жисмларнинг деформацияланиши қонуниятидан ташқари, уларнинг сиқилишдаги ғовақлар ҳажмини ўзгаришини ҳисобга олишга тўғри келади. Яъни, қўшимча равишда зичланиш қонунини кўриб чиқиш лозим. Бундан ташқари, грунтларда яхлит жисмларда бўлган сингаритик зўриқишлар таъсирида мураккаброқ қонуният бўйича содир бўладиган энига кенгайишни кузатиш мумкин.

Яхлит жисмларнинг уринма зўриқиш таъсирида деформацияланиши эластик деформацияларда силжиш модули, пластик деформацияларда эса оқувчанлик чегараси ва қовушқоқлик коэффициенти орқали баҳоланади. Грунтларда силжиш деформацияси нисбатан камдан-кам кўрилиб, одатда чегаравий кучланганлик ҳолатида уларни силжиш қаршилигига кўпроқ эътибор берилади. Бу қаршилик грунтларнинг силжишга қаршилиги қонуни бўйича аниқланадиган грунтларнинг ички ишқаланиш бурчаги ва солиштирма боғланишига боғлиқ.

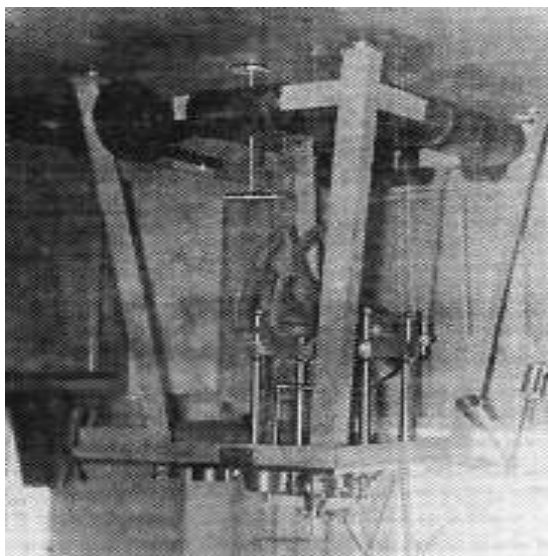
Грунтларнинг вақт бўйича деформацияланувчанлиги ва уларни силжишга қаршилиги ҳамда ғовақларда жойлашган сувга узатилувчи кучланишнинг улушига боғлиқ ғовақлардаги сув унда ҳосил бўлган босим таъсири остида секин-аста сўрилиб, грунт қовурғасига узатилади. Шунинг учун грунтларнинг деформацияланиши ва уларнинг силжишга қаршилиги грунтнинг сув сизиш хусусиятларига боғлиқ. Бундан ташқари грунтлардаги сувларнинг сизиш хусусиятларини ўрганиш қурувчилар учун сувни ҳандакка оқиб келиш ва сув сатҳини камайтирувчи мосламаларни ҳисоблаш мобайнида муҳимдир. Бу эса грунт сувларининг сизиш қонунини ўрганиш лозимлигини асослаб беради.

Намланганда, динамик куч таъсир қилганда зўриққанлик ҳолатида ёки муздан эриганда грунтларнинг тузилиши бузилади. Ушбу ҳолатда уларнинг деформацияланиш хусусиятларини аниқловчи қонуният (грунт тузилишининг бузилиши қонуниятини) ни ўрганиш лозим бўлади.

Юқорида қайд этилган 3 та қонунни, шунингдек, тузилиши турғун бўлмаган грунтларнинг бузулиши қонуниятини билиш асосида уларни кузатилиши мумкин чўкиш қийматини ва грунт қатламининг турғунлигини йўқолишини олдиндан аниқлашга имкон яратилади.

1.3.Грунтларнинг силжишга қаршилиги

Ҳар қандай ташқи куч таъсирида грунтнинг шакл ўзгаришига оид хусусияти унинг маҳкамлигига боғлиқ. Грунтнинг мустаҳкамлиги эса, ўз навбатида унинг силжишга қаршилиги билан белгиланади. Грунтнинг силжишга қаршилиги ($\tau_{\sigma\omega}$) солиштирма қаршилик сифатида кучланиш (зўриқиш) ўлчов бирлигида ифодаланади.



1.1-расм. Грунтнинг силжишга қаршилигини синовчи ускунанинг умумий кўриниши.

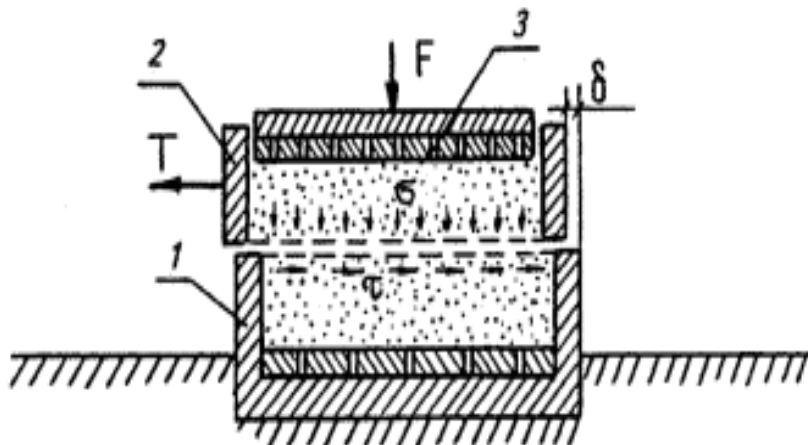
Грунтларнинг силжишга қаршилиги Кулон қонуни асосида проф. Н.Н.Маслов тўлиқ ва мукамал ҳолда қуйидаги умумий кўринишда тавсия этган:

$$\tau_{\sigma\omega} = \sigma \operatorname{tg} \varphi_{\omega} + c_{\omega} + c_{\delta} \quad (24)$$

бунда σ -грунт қатламининг маълум кесим юзасидан ҳосил бўладиган зўриқишнинг тик йўналган қиймати; φ_{ω} - ω намликдаги ички ишқаланиш бурчаги;

c_{ω} намликдаги юмшоқҳолатдаги боғланиш кучи; c_{δ} -бикр ҳолатдаги боғланиш кучи.

Юқоридаги ифодада τ , σ_ω , c_ω ва c_σ лар зўриқишни ифодаловчи бирликда ўлчанади. σ ва τ лардаги ω га мос белгилар уларнинг намликка боғлиқ эканлигидан дарак беради. Улардан ташқари грунтнинг силжишга қаршилиги τ умумий ҳолда зўриқишнинг тик йўналган ташкил этувчисига ҳам боғлиқлиги σ белгиси билан ифодаланган.



1.2 -расм. Грунтни силжишдаги синовни ўтказувчи қурилма схемаси : 1 — силжимайдиган қобик; 2 — силжимайдиган қобик; 3 — тишлик филтирловчи қават.

Демак, ҳар қандай грунт мустақамлиги ёки унинг силжишга қаршилиги грунтнинг ички ишқаланиш кучига; унинг юмшоқҳолатдаги боғланиш кучи c_σ қийматига боғлиқ.

Ички ишқаланиш бурчаги. Жисм зарралари сирт юзасининг ғадир-будирлик шакли ишқаланиш ҳолатини изоҳлашдаги асосий кўрсаткичлардан биридир. Маълумки, ташқи куч таъсирида грунт зарралари орасида яқинлашиш ва жипслашиш ҳолати содир бўлади. Бу ҳолат, ўз навбатида, зарраларо силжишга қарши ишқаланиш кучини вужудга келтиради.

Шу йўсинда олиб борилган тажрибалар ишқаланиш кучи ташқи юкнинг тик йўналган ташкил этувчисини маълум қийматларига мос равишда ўзгаришини кўрсатади. Шунга асосланиб, ишқаланишнинг солиштирма кучини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\tau = \sigma \cdot f, \quad (25)$$

бунда f —зарралар сиртининг ғадир-будурлигини ифодаловчи ишқаланиш коэффициенти.

Ишқаланиш коэффициенти ўз навбатида ишқаланиш бурчагига мос бўлгани учун (25) ифодани айнан қуйидаги шаклда ёзиш тавсия этилади:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (26)$$

Одатда, ишқаланиш ҳолати зарралар орасида юз бергани учун грунтлар механикасида f ва $\operatorname{tg} \varphi$ тегишлича ички ишқаланиш коэффициенти ва ишқаланиш бурчаги деб номланади.

Сочилувчан грунтларда (шағал, йирик, майда тош, кум) ички ишқаланиш бурчаги грунт ғоваклигига (n), лойли ва лойсимон грунтларда эса грунт намлигига (ω) га боғлиқ бўлади. Буни ҳисобга олиб (26) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

Сочилувчан грунтлар учун:

$$\tau_n = \tau \cdot \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (27)$$

лойли грунтлар учун:

$$\tau_\omega = \sigma \cdot \operatorname{Tg} \varphi_\omega, \quad (28)$$

Бикр боғланиш кучи. Бикр боғланиш кучи (c_b) грунтга қаттиқлик хусусиятини беради. Кучнинг бундай тури жисм зарраларини ўзаро жипслаштиришда жадаллик кўрсатувчи қаттиқ ҳолатдаги боғловчи моддалар туфайли вужудга келади.

Бикр боғланиш кучи, асосан, қоя грунтларига хосдир. Бундай боғланишлик улар таркибидаги электр хусусиятли ион боғланишлар эвазига рўй беради.

Олимларнинг фикрича, қоя грунтларидаги бикр боғланишлар тоғ жинслари пайдо бўлгандан кейинги жараёнда шаклланади. Моддаларнинг ўзаро сиқилиб, эзилиб ва ёпишиб қотиши бу жараёнларнинг негизини ташкил этади.

Бикр боғланишлар грунтнинг шакл ўзгаришига нисбатан эластикликдир.

Лекин улар бузилганда яна тикланиш ҳолатига қайтмайди. Грунтларга оид фанда улар қайтмас боғланишлардеб аталади.

Бикр боғланиш кучларининг бузилиши айрим ҳолларда, яъни юқори босим таъсир этганда, кучли шакл ўзгариш ҳолатида ёки лойли грунтлар ўта намланганда рўй бериши мумкин.

Юмшоқ боғланиш кучи. Боғланиш кучининг мазкур тури (c_w) лойли грунтларга хос бўлиб, улар мустаҳкамлигининг асосий кўрсаткичидир.

Намлигини ўзгартириш билан лойли грунтларни турли ҳолатга (қаттик, юмшоқ, қуйқа ва ҳ.к.) келтириш мумкин. Бундай ҳолатлар фақат ўзига хос бўлган юмшоқлик кучининг моҳиятидан келиб чиқади.

Яхлит лойнинг осонлик билан бўлақларга ажралиши ва яна ҳеч қандай куч ишлатмай қайта аввалги ҳолига келиш хусусияти юмшоқ боғланиш кучининг оқибатидир.

Бундай хусусият юмшоқ боғланиш кучи c_w ни бикр боғланишдан фарқлантирувчи қайтувчанлик хоссасини намоён этади. Қайтувчанлик хусусияти лойли грунтлардаги сув молекулаларининг табиати билан боғлиқ.

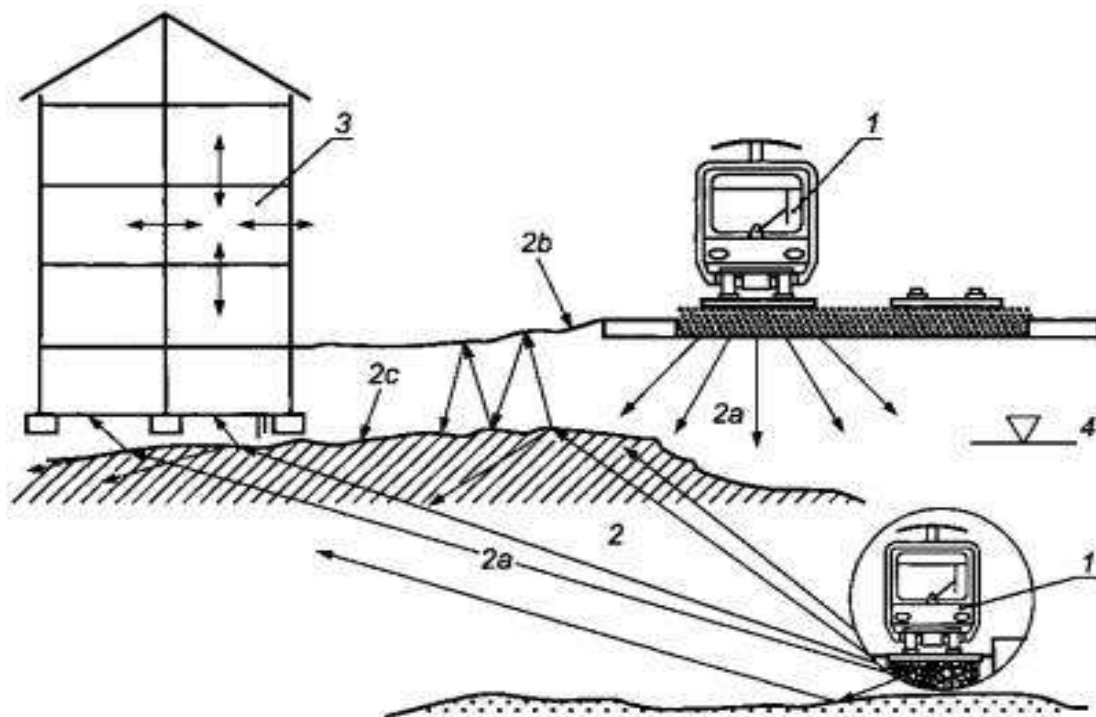
Лойли грунтларнинг мустаҳкамлик табиати жуда мураккаб бўлиб, бу ҳанузгача узил-кесил ҳал этилмаган. Уни тадқиқ этиш ишлари давом эттирилмоқда.

**Наманган шаҳрининг грунтнинг
тузлиш схемаси**



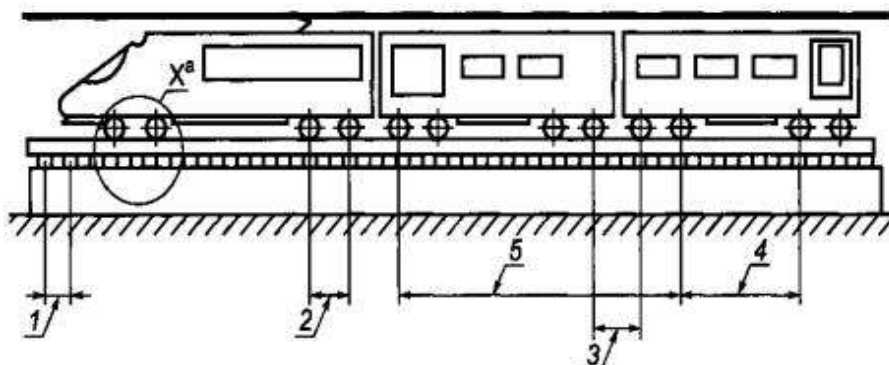
1.4. Масаланинг қўйилиши

Темир йўл поездлари ҳаракатланиши натижасида вужудга келадиган вибрация атрофдаги бино ва иншоотлар тармоқларига ва аҳолига сезиларли даражада салбий таъсир кўрсатади. Исталмаган вибрацияларни камайтириш учун ҳаракатланувчи юклар таъсирида вужудга келадиган тебранишлар тарқалишини ўрганиш муҳимдир.



1–вибрация манбаи, 2 –тарқалиш йўналиши (2 – жисм ичидадаги тўлқинлар): сиқилиш, кўчиш; 2b – ташқи тўлқинлар: Рэлея, Лява; 2c - Стоунли мухити чегарасидаги тўлқинлар); 3- вибрация таъсиридаги объект (вибрация, шовқин); 4 –грунт сувлари сирти

Поезд ҳаракатидан тўлқинларни тарқалиши

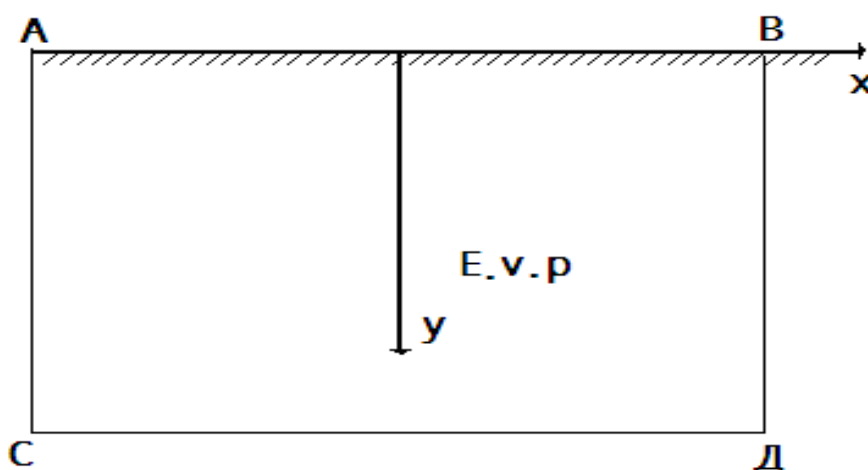


Тажрибавий изланишлар асосида олинган натижалар шуни кўрсатадики, грунтнинг тебраниши, вақт ўтиши билан гармоник қоида асосида амалга оширилиши кўплаб муаллифлар томонидан тасдиқланган. [13]

Бу масалани чизиқли масала асосида ҳам кўриш мумкин, чунки бунда тебраниш амплитудаси кичикдир.

Тўғри бурчакли координаталар системасини оламиз. X ўқини эркин чегара ярим текисликдан ўнг томонга йўналтирамиз. Y ўқини эластик муҳит томонга йўналтирамиз. (1-расм) Бу еда F -юнг модули, ν -Пуассон коэффиценти, ρ -зичлик.

Бу масалани қуйидагича математик моделлаштирамиз. Ярим текисликдаги тўғри бурчакли кесимдаги эркин чегара яқинида жойлашган, иккита параллел гармоник юкламадан тарқалаётган тўлқин.



1-расм.

Фараз қиламиз, ярим текислик бир жинсли эмас ва ички ишқаланишга эга, хотирага эга бўлган эластик жисм ҳисобланади.

1. Ҳаракат системаси тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$\begin{aligned}(\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \\(\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v &= \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}\end{aligned} \quad (1.1)$$

Бу ерда:

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \\ \nabla^2 &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\end{aligned}$$

λ – Ламе коэффициентлари, умумий ҳолда оператор координаталари ҳисобига алмашинади.

2. Кўчиш ва деформациялар орасидаги муносабат:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{yx} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (1.2)$$

3. Физик муносабат

$$\left. \begin{aligned}\sigma_x &= \lambda \Delta + 2\mu \cdot \varepsilon_x \\ \sigma_y &= \lambda \Delta + 2\mu \cdot \varepsilon_y \\ \tau_{xy} &= \mu \gamma_{xy}\end{aligned}\right\} \quad (1.3)$$

4. Кучланишдаги чегаравий шартлар

$$y = 0 \text{ да } \sigma_y = 0 \text{ ва } \tau_{xy} = 0 \quad (1.4)$$

5. Кўчишнинг чегаравий шартлар:

$$S \text{ да } v = v_0(t) \quad (1.5)$$

Бундан ташқари

$$\left. \begin{aligned}x &\rightarrow \pm\infty \\ y &\rightarrow \infty\end{aligned}\right\} \begin{cases} u = 0 \\ v = 0 \end{cases} \quad (1.6)$$

6. $t = 0$ да

$$\begin{cases} u(0) = u_0 \\ v(0) = v_0 \end{cases} \text{ ва } \begin{cases} \dot{u}(0) = \dot{u}_0 \\ \dot{v}(0) = \dot{v}_0 \end{cases}$$

Шундай қилиб, эластиклик назариясининг қуйидаги динамик масаласига эга бўламиз: ярим текисликда бир жинсли бўлмаган, изотроп, ярим текислик

чегарасида эркин турган, тўғри бурчакли контур йўналишида тарқалган, кинематик юклама гармоник вақт таъсирида, тўғри чизик билан чегараланган эластик кўчишни аниқлаш зарур.

1.5. Масалани вариацион қўйилиши

Кўп ҳолларда дифференциал тенглама масалаларини интеграллаш, ўтган мавзуларда келтирилган функцияни топиш учун масалани тенг кучли вариациони билан алмаштириш мумкин.

Классик механиканинг машҳур Острограф-Гамилтон тамойилидан фойдаланамиз. $L = L_n + L_p$ чизик ва S -юза билан чегараланган R_3 билан муносабатда бўлган, вязко-эластик жисм (тело) берилган бўлсин. Бунинг учун L_n -берилган кинематик чегаравий шарт, L_p -таъсир этувчи юкламалар системаси $P = P_x + P_y$. Хажмий куч системаси мавжуд.

Вектор функцияни аниқлаймиз:

$$\vec{U}(x, y, t) = (U(x, y, t), V(x, y, t))$$

Функция минимуми берувчи тўлиқ энергия системаси:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} (\Pi - T + A) dt = \int_{t_1}^{t_2} \iint F \left(u, v, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y} \right) dx dy \quad (1.4.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{U} \Big|_{L_n} &= \vec{U}_n(x, y, t) \\ \vec{U} \Big|_{t=0} &= \vec{U}_0(x, y) \end{aligned} \right\} \quad (1.4.2)$$

Бу ерда

$U_n(x, y, t)$ ва $U_0(x, y)$ – берилган функция $t = 0$ да

$$T = \frac{1}{2} \iint_S p \left(\left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 \right) dx dy \quad (1.4.3)$$

$$A = \iint_S (P_x \cdot u + P_y \cdot v) dx dy \quad (1.4.4)$$

$$(1.4.3) (1.4.4) \text{ дан } \Pi = \iint_S \bar{\Pi} dx dy \quad (1.4.5)$$

Бу ерда

$$\bar{P} = \bar{U}_y - \bar{P}_b$$

\bar{U}_y -бирлик юзадаги эластик потенциали (потенциал энергия);

\bar{P}_b -бирлик юзадаги “боғланиш” энергияси;

Агар аввалдан эластиклик ўрнига, эластик боғланиш потенциали киритилмаса, лагранж функциясини потенциали бўлмади қўйилиши зарур минимум шарт тўғри эквивалент вариацион масала бермайди.

Агар аввалдан эластиклик ўрнига, эластик боғланиш потенциали киритилмаса, Лагранж функцияси потенциалли бўлмади ва эквивалент ва зарур бўлган минимум шарт унга тўғри, эквивалент вариацион масаланинг қўйилишини ҳосил қилмайди[4].

Больцман-Вольтера назариясига асосан умумлашган Гук қонуни қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2\mu(1-\nu)\varepsilon_x + \lambda(1-\nu)\Delta \\ \sigma_y &= 2\mu(1-\nu)\varepsilon_y + \lambda(1-\nu)\Delta \end{aligned} \quad (1.4.7) \quad \lambda \text{ ва } \mu \text{ -Ламе доимийлари}$$

$$\lambda = \frac{\nu \cdot E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \quad \text{ва} \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

\mathcal{R} -Вольтерра операторининг интегралли

$$R \cdot f(t) = \int_0^t R(t-\tau)f(\tau)d\tau \quad (1.4.8)$$

$R(t)$ -Абел типдаги хотирага эга ядро

Кейинги кўринишда:

$$\begin{aligned} \bar{P}_y &= \frac{1}{2}(\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy}) \\ \bar{P}_b &= (\mathcal{R}_x \varepsilon_x + \mathcal{R}_y \varepsilon_y + \mathcal{R}_{xy} \gamma_{xy}) \end{aligned} \quad (1.4.9)$$

Физик муносабатларни ҳисобга олган ҳолда (1.4.7), потенциал энергия (1.4.6)ни қуйидаги кўринишда ёзамиз:[4]

$$\bar{\Pi}_y = \frac{1}{2} \left[(2\mu\varepsilon_x^2 + \lambda\Delta\varepsilon_x) + (2\mu\varepsilon_y^2 + \lambda\Delta\varepsilon_y) + \mu\gamma_{xy}^2 \right] - \left[(2\mu\mathcal{E}_x + \lambda\mathcal{A}\mathcal{E}_x) + (2\mu\mathcal{E}_y + \lambda\mathcal{A}\mathcal{E}_y) + \mu\mathcal{A}\mathcal{E}_{xy} \right] \quad (1.4.10)$$

Бу ерда

$$\mathcal{E}_x = \int_0^t R(t-\tau)\varepsilon_x(\tau)d\tau$$

$$\mathcal{E}_y = \int_0^t R(t-\tau)\varepsilon_y(\tau)d\tau$$

$$\mathcal{A}\mathcal{E}_{xy} = \int_0^t R(t-\tau)\lambda_{xy}(\tau)d\tau$$

$$\mathcal{A}\mathcal{E} = \int_0^t R(t-\tau)\Delta(\tau)d\tau$$

Потенциал энергия эканлигига ишонч ҳосил қилиш қийин эмас.

$$\frac{\partial \bar{\Pi}}{\partial \varepsilon_x} = \sigma_x, \quad \frac{\partial \bar{\Pi}}{\partial \varepsilon_y} = \sigma_y, \quad \frac{\partial \bar{\Pi}}{\partial \gamma_{xy}} = \tau_{xy} \quad (1.4.11)$$

(1.4.11) ифода ўзаро эластик боғланган жисм учун Грин формуласи ифода этади.

[23] илмий иш тасдиқлайдики, (1.4.1) функционал тўлиқ энергия ва ўз навбатида стациона нуктада минимумга эга бўлади.

Ўзаро эластик боғланган назария масаласини ягона аналитик эластиклик назариясининг Кирхгоф теоремаси орқали амалга оширилади .

Ўз навбатида функционал тўлиқ энергия (1.4.1) ягона минимумга эга бўлади ва минимум излаш масаласи (1.4.1) да ифодаланган.

Эйлер-Пуассон тенгламаси

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial u} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial F}{\partial u_t} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial u_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial u_y} &= 0 \\ \frac{\partial F}{\partial v} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial F}{\partial v_t} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial v_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial v_y} &= 0 \end{aligned} \quad (1.4.12)$$

Берилган чегаравий ва бошланғич шартлар функциянинг стационар шартлари ҳисобланади. (1.4.1), қўйилган масалага тўғри эквивалент бўлиши керак.

Бу ерда

$$u_t = \frac{\partial u}{\partial t}, \quad u_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad u_y = \frac{\partial u}{\partial y},$$

$$v_t = \frac{\partial v}{\partial t}, \quad v_x = \frac{\partial v}{\partial x}, \quad v_y = \frac{\partial v}{\partial y}$$

F ифодани икки ўлчамли масала учун ёзамиз:

$$F = \mu \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right) + \frac{\lambda}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 - 2\mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) -$$

$$- \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\rho}{2} \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right) + P_x u + P_y v$$

(1.4.13)

(1.4.13) ифодани (1.4.12)га қўйсақ, қуйидагига эга бўламиз.

$$\left. \begin{aligned} (\lambda + 2\mu)(1 - \kappa) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu(1 - \kappa) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + (\lambda + 2\mu)(1 - \kappa) \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + P_x \\ (\lambda + 2\mu)(1 - \kappa) \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \mu(1 - \kappa) \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + (\lambda + 2\mu)(1 - \kappa) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} &= \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + P_y \end{aligned} \right\} \quad (1.4.14)$$

Бу ифода Ламе тангласидир.

Ўз навбатида Ламе тенгласининг динамик ечими (1.4.14) чегаравий ва бошланғич шартлар (1.4.2) асосида

Бундай эквивалентликни кузатиб ва функциянинг унимидальности масаласини ечиш учун вариацион методлардан, хусусан, чекли элементлар усулини қўллаш имконини беради (ЧЭУ).

1.6 Хотирага эга бўлган эластик жисмнинг тебраниш тенгламаси учун физик параметрлар

Фараз қиламиз, хотирага эга бўлган эластик жисм етарли узоқ вақт давомида даврий кўзғалиш таъсирида бўлсин. Масалан, d_j даврий функция бўлсин.

$\varepsilon[t] = \varepsilon_0 \cdot e^{i\omega t}$ (1.5.1) ни ҳисобга олиб, қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)} \quad (1.5.2)$$

Биз биламизки, хотирага эга бўлган эластик жисмнинг кучланиш-деформация ҳолат тенгламаси билан ифодалаш мумкин.

$$\sigma(t) = E(1 - \mathcal{K}) \cdot \varepsilon(t) \quad (1.5.3)$$

Ёки

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E}(1 + \mathcal{K}) \cdot \sigma(t) \quad (1.5.4)$$

бу ерда R ва K -релаксация ва оқувчанлик оператори;

(1.5.1) ва (1.5.2) ни (1.5.3) га қўйиб қуйидагига эга бўламиз:

$$\sigma_0 \exp i(\omega t + \varphi) = E \cdot \varepsilon_0 \left[\exp(i\omega t) - \int_{-\infty}^t \exp(i\omega t) \cdot R(t - \tau) d\tau \right] \quad (1.5.5)$$

Ўзгаришни интеграллаш билан алмаштириб, бу ифодани навбатдаги кўринишга келтирамиз:

$$\sigma_0 \exp i(\omega t + \varphi) - E \cdot \varepsilon_0 \exp(i\omega t) \cdot [1 - R_c + iR_s] \quad (1.5.6)$$

Бу ерда

$$R_c = \int_0^{\infty} R(z) \cos \omega z dz \quad (1.5.7)$$

$$R_s = \int_0^{\infty} R(z) \sin \omega z dz \quad (1.5.8)$$

Қуйидаги белгилашларни киритаиз:

$E'(\omega) = E(1 - R_c)$, $E''(\omega) = ER_s$, (1.5.9) ва $E + iE''$, комплекс модел деб аталади. Бунда (1.5.6) тенглама оддий Гук қонуни формуласида ёзиш мумкин, фақат комплекс модуллар билан.

$$\sigma = (E + iE'') \cdot \varepsilon \quad (1.5.10)$$

Агар Пуассон коэффициентлари релаксация катталиги деб олинмаса, у ҳолда бунда

$$E + iE'' = 2(1 + \nu)(G' + iG'') \quad (1.5.11)$$

Энди Ламе коэффициентлари учун ифодани ёзамиз:

$$\mu = G' + iG'' = \frac{1}{2(1 + \nu)}(E' + iE'') \quad (1.5.12)$$

$$\lambda = \frac{2\nu}{1 + 2\nu} \mu = \frac{\nu}{(1 + \nu)(1 + 2\nu)}(E' + iE'') \quad (1.5.13)$$

Агар (1.5.12) ва (1.5.13) ни (1.5.9) га қўйсақ, қуйидагига эга бўламиз:

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}(1 - R_c + iR_s) \quad (1.5.14)$$

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1 + \nu)(1 + 2\nu)}(1 - R_c + iR_s) \quad (1.5.15)$$

Агар релаксация ядроси Абея ядро тури сифатида қабул қилинса, у ҳолда

$$I_\alpha = \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1 - \alpha)}$$

(бу ерда Γ -гамма функцияси) (1.5.16)

Бунда

$$R_c = \int_0^{\infty} \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)} \cos \omega z dz = \sin \frac{\pi\alpha}{2} \cdot \omega^{\alpha-1} \quad (1.5.17)$$

$$R_s = \int_0^{\infty} \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)} \sin \omega z dz = \cos \frac{\pi\alpha}{2} \cdot \omega^{\alpha-1} \quad (1.5.18)$$

(1.5.14) ва (1.5.15) ни (1.5.17) ва (1.5.18) га қўйсақ,

$$\begin{aligned} \mathcal{K} &= \frac{E}{2(1+\nu)} \left(1 - \sin \frac{\pi\alpha}{2} \cdot \omega^{\alpha-1} + i \cos \frac{\pi\alpha}{2} \cdot \omega^{\alpha-1} \right) \\ \mathcal{K} &= \frac{\nu E}{(1+\nu)(1+2\nu)} \left(1 - \sin \frac{\pi\alpha}{2} \cdot \omega^{\alpha-1} + i \cos \frac{\pi\alpha}{2} \cdot \omega^{\alpha-1} \right) \end{aligned}$$

Ёки

$$1. \quad \mathcal{K} = G \left(1 - i \omega^{\alpha-1} e^{i \frac{\pi\alpha}{2}} \right) \quad (1.5.19)$$

$$2. \quad \mathcal{K} = \frac{2\nu G}{(1+2\nu)} \left(1 - i \omega^{\alpha-1} e^{i \frac{\pi\alpha}{2}} \right) \quad (1.5.20)$$

[9] тадқиқот ишида Ламе коэффиценти оний деформация ҳисобга олмаганда қуйидаги формула орқали аниқланади.

$$\begin{aligned} \mathcal{K} &= \mu_1 + i\mu_2; \quad \mu_1 = |\omega|^\alpha \cos \frac{\pi\alpha}{2} K_0; \quad \alpha = \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \gamma; \\ \mu_2 &= |\omega|^\alpha \sin \frac{\pi\alpha}{2} K_0; \quad K_0 = \mu_0 \omega_0^{-\alpha}; \quad \omega = \omega_0 \end{aligned}$$

Бу ерда K_0 - силжишнинг динамик модули;

II БОБ. Эластиклик назариясининг текис масаласини чекли элементлар усули билан ечиш

2.1.Чекли элементлар усулини эластиклик назариясининг текис масаласини ечишга қўллаш ҳақида

Мазкур диссертацияда сонли усул сифатида чекли элементлар усули қўлланилганлиги учун у ҳақида қисқача маълумот келтирамиз. Чекли элементлар усули қурилиш механикаси ва тугаш мухитлар механикасининг турли масалаларини ечишда ўзининг универсаллиги ва қулайлиги билан машҳурдир. Ҳозирги вақтда бу усулни ривожлантириш, физика ва техниканинг турли соҳаларига қўллаш бўйича тадқиқот ишлари кўпайиб бормоқда[15]. Чекли элементлар усули ҳақида тўла маълумотга тўхталмасдан, фақат унинг эластиклик назариясининг текис масаласига қўлланиши кўриб чиқилади. Бу иш қуйидагича амалга оширилади:

1- тугаш мухит маълум бир синиқ чизиқлар билан етарли миқдордаги чекли элементларга бўлиб чиқилади;

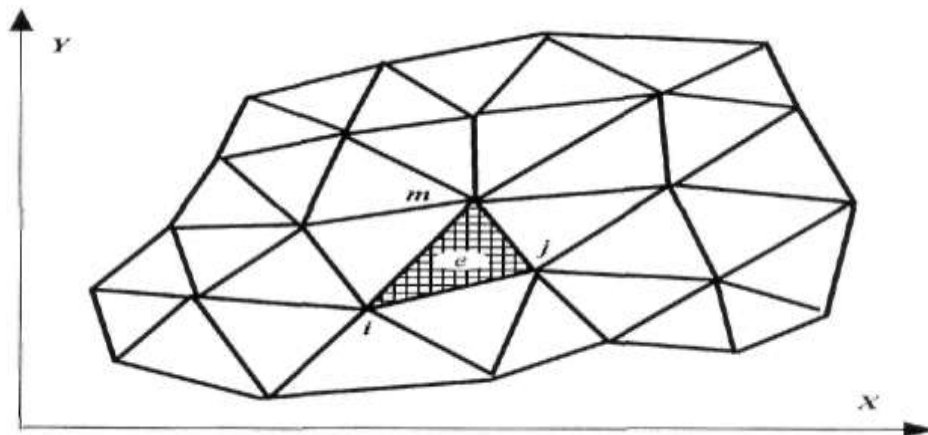
2- чекли элементлар бир бири билан фақат тугун нуқталарда боғланган деб фараз қилинади, асосий номаълумлар тугунларнинг кўчиши хисобланади;

3- элемент ичидаги кўчишларни тугунлардаги кўчишлар орқали бир қийматли аниқлаш учун аппроксимация функциялари системаси танланади;

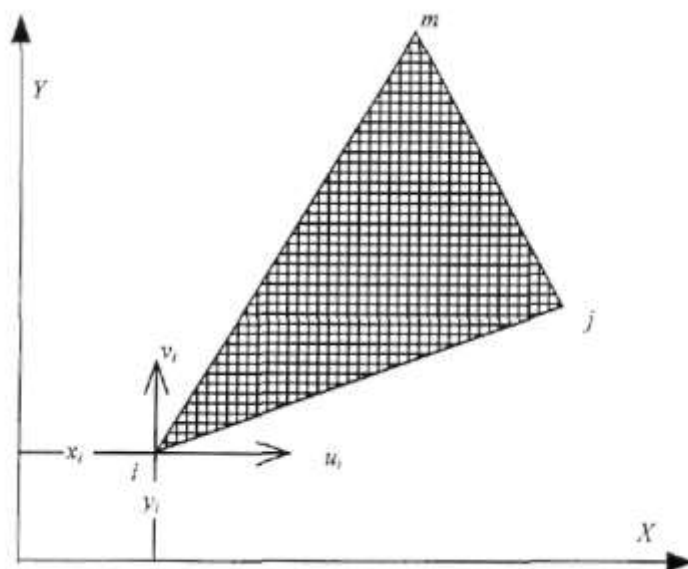
4- чекли элементлар доирасида кўчиш функциялари тугунлардаги кўчишлар орқали ҳар бир нуқтанинг деформациясини бир қийматли тўлиқ аниқлайди, олдиндан маълум бўлган бошланғич деформация ва элементларнинг эластиклик хусусиятлари элемент ичида ва чегарасида кучланишни аниқлашга имкон беради;

5- элемент чегарасидаги кучланишлар ва ёйилган кучлар билан мувозанатлашувчи тўпланган кучлар системасини тугун нуқталарга қўйиб, мувозанат тенгламаларини тузамиз.

Учбурчак ккринишидаги чекли e элемент i, j, m тугунлар ва тўғри чизикли чегаралар билан аниқланади (рис. 1.5.1). Фараз қилайлик элемент юзасидаги ихтиёрий нуқтанинг қўчиши устун-вектор билан берилган бўлсин.



Расм. 1.5.1. Чекли элементларга бўлинган текис юза.



Расм..1.5.2. Тугаш мухитнинг текис кучланиш ёки текис деформация ҳолатини ҳисоблаш учун танланган учбурчакли чекли элемент.

$$\{f\} = [N]\{q\}^e = [N_i, N_j, N_m \dots] \begin{Bmatrix} q_i \\ q_j \\ q_m \\ \vdots \\ M \end{Bmatrix} \quad (1.5.1)$$

Бу ерда $[N]$ нинг ҳадлари умумий ҳолда ҳолат функциялари хисобланади, $\{q\}^e$ эса қаралаётган элемент тугун нуқталари кўчишининг векторидир.

Текис кучланиш ҳолатида устун-вектор

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} U(x, y) \\ V(x, y) \end{Bmatrix}$$

Элемент ичидаги ихтиёрий нуқтанинг горизонтал ва вертикал кўчишларини ўз ичига олади, устун-вектор

$$\{q_i\} = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \end{Bmatrix}$$

эса i тугуннинг кўчишига мос келади.

Аппроксимация функциялари N_i, N_j, N_m шундай танланадики, уларни (1.5.1) га қўйилганда тугун координаталари тугун кўчишларига мос келиши керак. Умумий ҳолда $N_i(x_i, y_i) = [I]$ (бирлик матрица) эканлиги равшан, u ҳолда $N_i(x_i, y_i) = N_i(x_m, y_m) = 0$ ва хоқозо қаби, айрим ҳолда бунга чизиқли функцияларни x ва u га нисбатан мос равишда танлаш орқали эришилади.

1.5.2 учбурчакли чекли элемент кўрсатилган.

Бутуниш давомида биз учбурчакли элементлардан фойдаланамиз. (Айрим бир масала учун элемент шаклини ва кўчиш функциясининг курунишини танлаш тадқиқотчининг ўзига боғлиқ).

Ҳар бир тугун иккита компонентага эга

$$\{q_i\} = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \end{Bmatrix} \quad (1.5.2)$$

Элемент кўчишининг олтига компонентаси қуйдаги векторни ташкил қилади

$$\{q\}^e = \begin{Bmatrix} q_i \\ q_j \\ q_m \end{Bmatrix} \quad (1.5.3)$$

Элемент ичидаги ихтиёрий нуктанинг кўчиши юқоридаги олтига қиймат орқали бир қийматли аниқланиши керак. Маълумки, чизикли полиномлар энг содда боғланиш учун хизмат қилади, яъни

$$\begin{aligned} U &= a_1 + a_2x + a_3y \\ V &= a_4 + a_5x + a_6y \end{aligned} \quad (1.5.4)$$

Олтига a_i ўзгармас номаълум сонлар учтадан тенгламага эга бўлган иккита системадан осонгина топилади. Бунда (1.5.4) га тугун нукталар координаталарининг қийматлари кўйилиб, мос тугунларнинг кўчишлари билан тенглаштирилади.

Мисол учун

$$\left. \begin{aligned} U_i &= a_1 + a_2x_i + a_3y_i, \\ U_j &= a_1 + a_2x_j + a_3y_j, \\ U_m &= a_1 + a_2x_m + a_3y_m, \end{aligned} \right\} \quad (1.5.5)$$

Бунда a_1, a_2, a_3 ларни тугунларнинг кўчиши U_i, U_j, U_m лар орқали ифодалаймиз

$$U = \frac{1}{2\Delta} \{ (a_i + b_ix + c_iy)U_i + (a_j + b_jx + c_jy)U_j + (a_m + b_mx + c_my)U_m \} \quad (1.5.6)$$

бу ерда,

$$\begin{aligned} a_i &= x_i y_i - x_m y_j, \\ b_i &= y_j - y_m = y_{jm}, \\ c_i &= x_m - x_j = x_{mj}. \end{aligned} \quad (1.5.7)$$

Қолган коэффициентлар i, j, m индексларни циклик равишда алмаштириш орқали топилади. Δ – катталиқ эса i, j, m учбурчакнинг юзи.

Худди шу каби вертикал йўналишдаги кўчиш V ни ҳам аниқлаймиз ва қуйидаги формулага эга бўламиз

$$V = \frac{1}{2\Delta} \{(a_i + b_i x + c_i y)V_i + (a_j + b_j x + c_j y)V_j + (a_m + b_m x + c_m y)V_m\} \quad (1.5.8)$$

(1.5.6) ва (1.5.8) формулаларни (1.5.1) каби стандарт кўринишида ёзамиз, яъни

$$\begin{Bmatrix} U \\ V \end{Bmatrix} = [N] \{q\}^e = [N_i, N_m] \{q\}^e \quad (1.5.9)$$

Бу ерда, I – 2×2 ўлчамдаги бирлик матрица,

$$N_i = (a_i + b_i x + c_i y) / 2\Delta \text{ ва х. к.} \quad (1.5.10)$$

Танланган кўчиш функцияси кўшни элементлар чегарасидаги кўчишнинг узулуксизлигини автоматик равишда таъминлайди. Агар элементнинг ҳамма нуқталарида кўчишлар маълум бўлса, ўша нуқталарда деформацияларни ҳам аниқлаш мумкин. Улар матрица кўринишида ёзиладиган қуйидаги муносабатлардан аниқланади

$$\{\varepsilon\} = [B] \{q\}^e \quad (1.5.11)$$

Текис кучланиш ҳолатида элементнинг ихтиёрий ички нуқталарида тўла деформацияни бажарилган ишга хисса қўшувчи учта ташкил этувчи билан характерлаш мумкин

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \partial U / \partial x \\ \partial V / \partial y \\ \partial U / \partial y + \partial V / \partial x \end{Bmatrix} \quad (1.5.12)$$

(1.5.9) тенглама ёки (1.5.6) ва (1.5.8) лардан фойдаланиб, қуйидаги формулага эга бўламиз

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \partial N_i / \partial x & 0 & \partial N_j / \partial x & 0 & \partial N_m / \partial x & 0 \\ 0 & \partial N_i / \partial x & 0 & \partial N_j / \partial x & 0 & \partial N_m / \partial x \\ \partial N_i / \partial x & \partial N_i / \partial x & \partial N_j / \partial x & \partial N_j / \partial x & \partial N_m / \partial x & \partial N_m / \partial x \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \\ U_j \\ V_j \\ U_m \\ V_m \end{Bmatrix} =$$

$$= \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_m & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_m \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_m & b_m \end{bmatrix} \{q\}^e \quad (1.5.13)$$

Бу формула (1.5.11) даги [B] матрицани тўла аниқлайди.

Текис кучланиш ҳолатидаги хотирага эга бўлган эластик жисм учун Гук қонуни матрица кўринишида қуйидагича ёзилади:

$$\{\sigma(t)\} = [D](1 - R^*)\{\varepsilon(t)\} \quad (1.5.14)$$

R^* - релаксация оператори, яъни

$$\{\sigma(t)\} = [D] \left(\{\varepsilon(t)\} - \int_0^{te} R(t-\tau) \{\varepsilon(\tau)\} d\tau \right)$$

Бу ерда,

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix}$$

Устун вектор

$$\{F\}^e = \begin{Bmatrix} F_i \\ F_j \\ F_m \end{Bmatrix}$$

элементга таъсир қилувчи чегаравий кучланишлар ва ёйилган кучларга эквивалент бўлган тугун нуқталарга қўйилган кучларни ифодалайди. $\{F_i\}$ кучларнинг ҳар бири $\{q_i\}$ кўчишнинг нечта компоненти бўлса шунча компонентага эга бўлиши керак ва мос йўналишда таъсир қилиши керак.

Ёйилган кучлар $\{P\}$ шундай ифодаланадики, элемент материалнинг бирлик ҳажмига мос келиши билан бирга, $\{f\}$ кўчишнинг худди шу нуқтадаги йўналишига мос келиши керак.

Фараз қилайлик $\delta\{q\}^e$ – вектор тугундаги виртуал кўчишни ифодаласин. У ҳолда (1.5.1) и (1.5.11) муносабатларга мос келувчи элементдаг кўчишлар ва деформациялар учун қуйидаги ифодаларга эга бўламиз

$$\delta\{f\} = [N]\delta\{q\}^e \text{ и } \delta\{\varepsilon\} = [B]\delta\{q\}^e \quad (1.5.15)$$

Худди шунингдек, кучланиш ва ёйилган кучларнинг бирлик ҳажмига мос келувчи бажарган ишлари қуйидагича бўлади

$$\delta\{\varepsilon\}^T \{\sigma\} - \delta\{f\}^T \{P\} \quad (1.5.16)$$

ёки

$$(\delta\{q\}^e)^T ([B]^T \{\sigma\} - [N]^T \{P\}) \quad (1.5.17)$$

Ташқи кучларнинг бажарган ишини ички кучларнинг ҳажм бўйича интеграллаш натижасида олинadиган бажарган ишларининг умумлашган йиғиндисига тенглаштириб, қуйидагига эга бўламиз

$$(\delta\{q\}^e)^T \{f\}^e = (\delta\{q\}^e)^T \left(\int [B]^T \{\sigma\} dV - \int [N]^T \{P\} dV \right) \quad (1.5.18)$$

Бу муносабат ихтиёрий виртуал кўчишлар учун ўринли бўлганлигидан тенгликнинг икки томонидаги коэффициентлар ўзаро тенг бўлади. (1.5.11) и (1.5.14) формулаларни юқоридаги ифодага қўйганимиздан кейин қуйидагига эга бўламиз

$$\{F\}^e = \left(\int [B]^T [D][B] dV \right) \{q\}^e - \int [N]^T \{P\} dV \quad (1.5.19)$$

Бу муносабат элементнинг энг асосий хусусиятларидан бирidir.

Бу ерда,

$$[K]^e = \int [B]^T [D][B] dV \quad (1.5.20)$$

элементнинг бикирлик матрицаси сифатида хизмат қилади.

Ёйилган кучларнинг таъсирини ифодаловчи тугунга қўйилган кучлар қуйидаги кўринишда бўлади

$$[F]_p^e = - \int [N]^T \{P\} dV \quad (1.5.21)$$

Тўла туташ жисм учун мувозанат тенгламасини тузамиз. (1.5.1) муносабат бутун конструкция учун ўринли деб ҳисоблаш мумкин, яъни

$$\{f\} = [\bar{N}] \{q\} \quad (1.5.22)$$

Бу ерда, $\{q\}$ устун вектор ҳамма тугунларнинг кўчишини ўзида акс эттиради, агар қаралаётган нукта e элементга тегишли бўлса, яъни точка i шу элементга ёпишган бўлса,

$$\bar{N}_i = N_i^e \quad (1.5.23)$$

Агар точка i қаралаётган элементга тегишли бўлмаса, у холда

$$\bar{N}_i = 0 \quad (1.5.24)$$

Энди виртуал иш принципини бутун конструкция учун қўлаймиз. Ташқи $\delta\{q\}$ виртуал кўчишдаги бажарилган ташқи иш

$$\delta\{q\}^T \{R\} - \int_v \delta\{q\}^T \{P\} dV - \int_s \delta\{f\}^T \{q\} ds, \quad (1.5.25)$$

Бу ерда биринчи ҳад тугунларга қўйилган кучларнинг бажарган иши, учунчи ҳад эса жисмнинг чегарасидаги ёйилган кучларнинг бажарган иши. Ички кучларнинг бажарган иши куйидаги кўринишда бўлади

$$\int_v \delta\{\varepsilon\}^T \{\sigma\} dV \quad (1.5.26)$$

Бу ерда, интеграл бутун област бўйича олинади.

$$\delta\{f\} = [\bar{N}] \delta\{q\} \quad \text{и} \quad \delta\{\varepsilon\} = [\bar{B}] \delta\{q\} \quad (1.5.27)$$

Эканлигини ҳисобга олиб, ҳамда ички ва ташқи кучларни тенглаштириб, куйидагига эга бўламиз

$$[K]\{q\} + \{F\}_p + \{F\}_b - \{R\} = 0 \quad (1.5.28)$$

Бу ерда,

$$\{F\}_b = - \int_s \{N\}^T \{q\} ds$$

Бикирлик матрицасининг ихтиёрий элементи

$$[K_{ij}] = \int [B_i][D][B_j] dV, \quad (1.5.29)$$

Бу ерда, интеграл бутун област бўйича олинади.

$[B_i]$ и $[B_j]$ лар орасидаги муносабатни ҳисобга олсак,

$$[K_{ij}] = \sum [K_{ij}]^e$$

келиб чиқади, бу ерда ҳар бир элементнинг қўшган хиссаси баҳоланади.

Чекли элементлар методининг асосий мақсади (1.5.28) тенгламага кирувчи матрица ва векторларни шакллантириш, ҳамда шу тенгламани ечишдир. Статик қўйилган юклар таъсир қилаётган ҳар қандай эластик система кўчиш усулига асосланган чекли элементлар методининг матрица кўринишидаги қуйидаги

$$[K]\{q\} = \{P\} \quad (1.5.30)$$

тенгламаси ёрдамида таҳлил қилириниши мумкин.

Тенгламалар системаси (1.5.30) нингҳар бир i -чи тенгламаси дискрет системанинг i -чи боғланиши йўналишидаги кучларнинг мувозанатини ифодалайди, бу дегани, қаралаётган тугундаги барча элементларнинг реакцияларининг йиғиндиси шу тугунга қўйилган ташқи кучга тенг бўлади. Бу шарт ҳар қандай эластик система учун ўринлидир.

Агар системага вақт бўйича ўзгарувчи ташқи куч таъсир қилаётган бўлса, маълум Даламбер принципига асосан инерция кучи ўзининг статик эквиваленти

$$-\rho \partial^2 \{f\} / \partial t^2 \quad (1.5.31)$$

билан алмаштирилиши мумкин.

Бу ерда, кучлар йўналиши бўйича $\{f\}$ кўчишларнинг йўналиши билан устма уст тушади, $\{f\}$ – умумлашган кўчиш, ρ - бирлик ҳажмнинг массаси.

Эквивалент статик масала вақтнинг ҳар бир momentiда дискретлаштирилади ва $\{P\}$ ёйилган куч вектори эквивалент

$$\{P\} = \rho \frac{\partial^2 \{f\}}{\partial t^2} \quad (1.5.32)$$

вектор билан алмаштирилади.

Элементнинг тугунларидаги кучлар қуйидаги кўринишда бўлади

$$\{F\}_P^e = \{\bar{F}\}_P^e + \int_{V^e} [N]^T \rho \frac{\partial^2 \{f\}}{\partial t^2} dV \quad (1.5.33)$$

Кўчишлар қуйидаги ифода ёрдамида аппроксимация қилинади

$$\{f\} = [N] \{q\}^e \quad (1.5.34)$$

(1.2.33) ифодани умумий мувозанат тенгламасига қўйиб, ва ниҳоят матрица кўринишидаги дифференциал тенгламага эга бўламиз:

$$[K] \{q\} + [M] \frac{\partial^2 \{q\}}{\partial t^2} + \{\bar{F}\} = 0 \quad (1.5.35)$$

Бу ерда, $[K]$ бикирлик матрицаси, $\{F\}$ —куч вектори. Булар элементларда ташқи кучлар таъсирига қаршилик натижасида юзага келган бикирлик коэффициентлари ва кучларини оддий қўшиш натижасида ҳосил бўлади. Матрица $[M]$ қуйидаги кўринишда берилган қоида асосида шакиллантирилади

$$[m_{ij}]^e = \int_{V^e} [N_i]^T \rho [N_j] dV \quad (1.5.36)$$

Матрица $[T_{ij}]$ элементларнинг массалар матрицаси дейилади, $[M]$ - эса системанинг массалар матрицасидир.

Типик учбурчакли элементлар учун массалар матрицаси қуйидагича бўлади

$$[m]^e = (\rho b \Delta / 3) \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 1/4 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/4 & 0 & 1/4 \\ 1/4 & 0 & 1/2 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 1/2 & 0 & 1/4 \\ 1/4 & 0 & 1/4 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 1/4 & 0 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (1.5.37)$$

Бу ерда, Δ – учбурчакнинг юзи, b – элемент қалинлиги.

Агар система материали хотирага эга деб фараз қилинса, у ҳолда ҳаракат дифференциал тенгламаси (1.5.35) қуйидагича ёзилади:

$$[M]\{\ddot{q}\} + [K]\left\{q\right\} - \int_0^t R(t-\tau)\{q(\tau)\}d\tau + \{\bar{F}\} = 0 \quad (1.5.38)$$

Бу ерда, $R^*q = \int_{-\infty}^t R(t-\tau)\{q(\tau)\}d\tau$ - турғун ҳолат учун;

$R^*q = \int_0^t R(t-\tau)\{q(\tau)\}d\tau$ - нотурғун ҳолат учун;

$R(t)$ -Абелнинг слабо сингуляр типдаги хусусиятга эга бўлган релаксация ядроси.

МКЭ қўллаш ечилаётган масаланинг хусусиятига қараб ЭХМ да турлича амалга оширилади. Эластиклик назариясининг статик масаласини ечишда системани дискретизация қилингандан кейин масала юқори тартибли алгебраик тенгламалар системасининг илдизларини топишга келтирилади ва осон программалаштирилади ва замонаий ЭХМларда тезгина жавоблар олинади.

Ихтиёрий куч таъсирида динамик масалани ечиш икки хил тартибда амалга оширилиши мумкин:

биринчиси эркин тебранма ҳаракат хусусий частотаси ва хусусий формалари бўйича қаторга ёйиш учун система эркин тебранма ҳаракатининг хусусий частотаси ва хусусий формалари топилади;

иккинчиси юқори тартибли иккинчи даражали оддий дифференциал тенгламалар системасини чекли айирмалар усули билан ечиш;

Эластик муҳитда турғун тўлқинларни тарқалиши ҳақидаги масала юқори тартибдаги комплекс алгебраик тенгламалар системасини ечишга келтирилади, чунки бу ҳолда бикирлик матрицаси ва тебраниш амплитудаси комплекс сонлардан иборат бўлади.

Чекли элементлар усулини қўллаш учун (турғун тебранма ҳаракат ҳолатида) тузилган программа қуйидаги босқичлардан иборат: бикирлик, демферлаш ва массалар матрицаларини шакллантириш ҳамда комплекс алгебраик тенгламаларни ечиш.

Бикирлик матрицасини шакллантириш учун [16] да тузилган процедураларни маълум бир ўзгартиришлар билан қўллаймиз. Бу процедурада оддий элементлар учун асосий операциялар қуйидагилардан иборат:

- а) элементни локал координаталарда ифодалаш;
- б) деформация ва кучишларни боғловчи $[B]$ матрицани тузиш;
- в) кучланиш ва деформацияни боғловчи $[D]$ матрицани тузиш;
- г) $[B]^T[D][B]$ матрицалар кўпайтмасини ҳосил қилиш;
- д) матрицалар кўпайтмасини элемент юзаси бўйича интеграллаш (текис кучланиш ҳолатида бу операция оддий учбурчак юзасига кўпайтиришга келтирилади).

Бикирлик матрицасини шакллантириш учун тузилган программани массалар матрицасини шакллантириш учун ҳам қўллаш мумкин, чунки улар бир хил структурага эга. Демпфирлаш матрицаси бикирлик матрицасига пропорционал бўлган ҳолда уни шакллантиришга алоҳида программа тузилмайди.

Чекли элементлар усулини қўллашда асосий босқич тенгламалар системасини ечиш учун тузилган программасидир. Чизиқли тенгламалар системасини ечиш иккита йўналишда амалга оширилади:

- а) аниқ ечимни аниқлашга имкон берувчи тўғри усул;
- б) аниқ ечимга кетма- кет яқинлашувчи итерацион усул.

2.2. Тузилган дастур натижаларининг тўғрилигини текшириш

Тузилган ҳар қандай алгоритм ва программа учун унинг тўғри ишлаётганини, бераётган сонли натижаларнинг ҳаққонийлигини текшириш зарур. Ана шу мақсадда, бикирлик матрицасининг тўғри шаклланишини текшириш учун [16] да келтирилган оддий масалани такроран ечамиз. Чўзилишга ишлаётган пластинкани учбурчакли чекли элементларга бўлиб ишланганда олинган натижаларни жадвал кўринишида келтирамиз.

Жадвал 1

| О.Зенкевич китоби бўйича кўчиш қийматлари | | Муаллиф томонидан олинган натижалар | |
|---|---------|-------------------------------------|----------|
| u | V | U | V |
| 0,0000 | 0,0000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 1,0941 | 17,7565 | 1,09411 | 17,75647 |
| -1,0941 | 17,7565 | -1,09411 | 17,75647 |
| 0,0000 | 0,0000 | 0,00000 | 0,00000 |
| -1,6412 | 16,6785 | -1,64116 | 16,67852 |
| 0,0000 | 0,0000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 1,6412 | 16,6785 | 1,64116 | 16,67852 |
| 0,8206 | 25,3126 | 0,82058 | 25,31266 |
| -0,8206 | 25,3126 | -0,82058 | 25,31266 |
| 0,0000 | 44,4729 | 0,00000 | 44,47295 |

Жадвал 1 дан кўриниб турибдики, натижалар тўла устма-уст тушади ва бу билан бикирлик матрицасининг тўғри шаклланганлиги исботланади. Программани текширишнинг асосий босқичи—ер сатҳида жойлашган штампдан эластик тўлқинларнинг грунтда тарқалиши ҳақидаги масалани ечиб, олинган натижаларни олдиндан маълум бўлган ечим билан

солиштиришдир. Худди шундай масала [14] да аналитик йўл билан Лэмб масаласини ечиш орқали асимптотик ечим олинган. Шу китобда тажриба йўли билан олинган натижалар ҳам келтирилган. Қуйидаги келтирилган кийматлар учун юқоридаги масалани чекли элементлар усулини қўллаб ечамиз. Асосининг юзаси $F=65,6 \text{ м}^2$; грунтнинг эластик сиқилиш коэффициенти $C_z=6,0 \cdot 10^4 \text{ кН/м}$; штампнинг вертикал тебраниш амплитудаси $A_z=0,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Частота вертикальных колебаний штампнинг вертикал тебраниш частотаси $\omega=70 \text{ сек}$; кўндаланг тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги $V_s=100 \text{ м/сек}$; грунт учун силжиш модули $\mu=17 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2$

Системанинг ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидагича ёзилади

$$[M]\{\ddot{u}\} + (1 - R^*)[K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (1.6.1)$$

Бу ерда, R^* - оператор Вольтернинг интегралоператори

$$R^*u(t) = \int_{-\infty}^t R(t-\tau)u(\tau)d\tau$$

Фараз қилайлик система гармоник тебранма ҳаракат қилаётган бўлсин, у тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

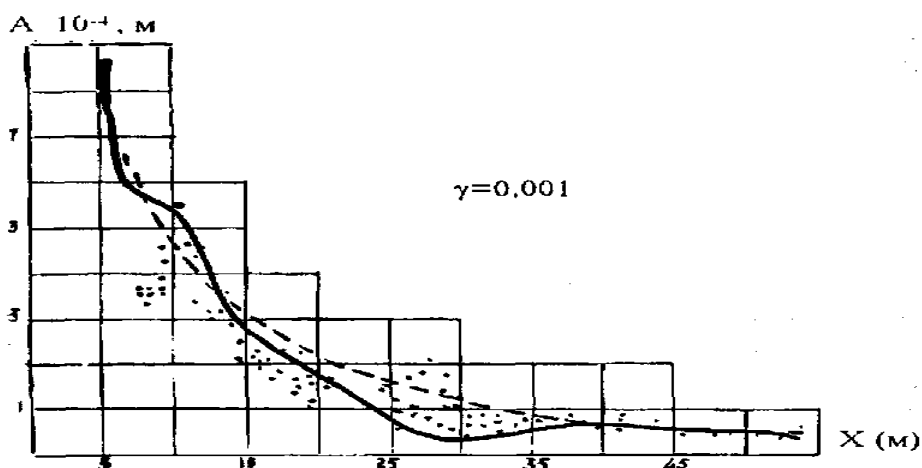
$$[\bar{K}]\{\bar{U}\} = \{\bar{P}\} \quad (1.6.2)$$

бу ерда, $\{\bar{U}\}$ - система нуқталарининг тебраниш амплитудалари вектори;

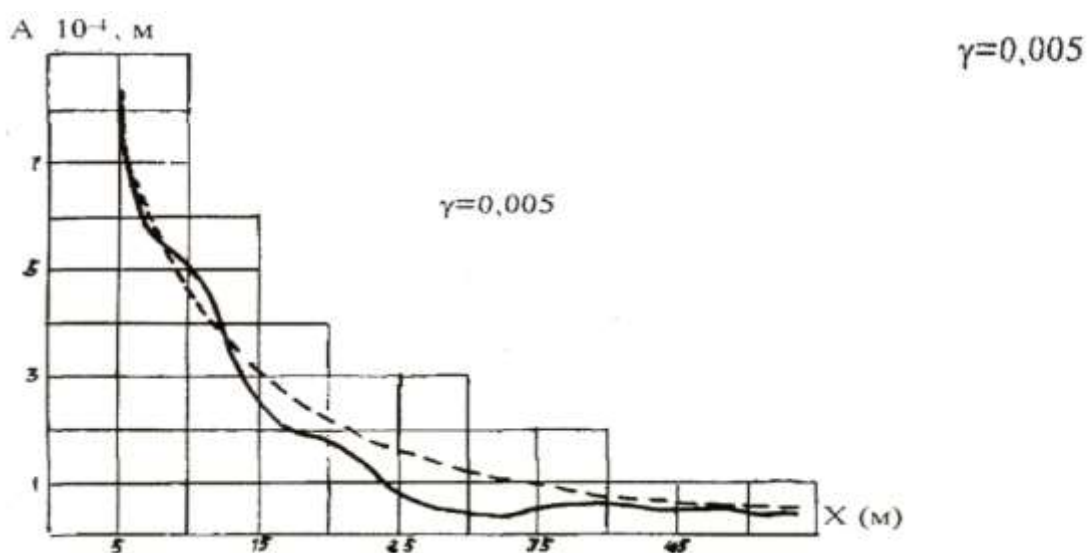
$\{\bar{P}\}$ - ташқи куч амплитудаларининг вектори.

Сонли ҳисоб натижалари 1.6.1, 1.6.2 расмларда келтирилган. Пунктир чизик билан асимптотик ечим графиги кўрсатилган, қора нуқталар эса тажриба натижаларига мос келади.

Графикларнинг тахлили шуни кўрсатадики, сонли усул билан олинган натижалар тажриба натижаларига асимптотик ечим графигига нисбатан яқинроқ келади.



Расм. 1.6.1. Штамп тебраниши таъсирида ер сатхи нуқталарининг тебраниш амплитудалари ўрамаси, асимптотик ечим графиги пунктир чизиқ, дискрет нуқталар тажриба натижаларини англатади.



Расм. 1.6.2.. Штамп тебраниши таъсирида ер сатхи нуқталарининг тебраниш амплитудалари ўрамаси, асимптотик ечим графиги пунктир чизиқ.

2.3 Чексиз эластик ярим текисликнинг чекли динамик модели

Темир йўл поездининг ҳаракати натижасида полотно тебранади ва грунт бўйлаб эластик тўлқинлар тарқалади. Бу тебранишлар, амплитудасининг кам

бўлишига қарамай, темир йўл чизиғига яқин яшовчи аҳолининг саломатлигига катта зарар келтиради, шу билан бирга саноат ва турар жой биноларига ҳамда технологик жараёнларга салбий таъсир қилади.

Экспериментал тадқиқотчилар [13,21] шуни тасдиқлайдики, грунт ва атрофда жойлашган қурилиш конструкцияларининг тебранишлари регуляр бўлмаган кўп компонентали турткилар кўринишида бўлади. Уларнинг частоталари 35-50 Гц диапазонда бўлади, аммо, энг катта чисса берувчи частота 50 Гц атрофида бўлади. Грунт ва бинолар тебранишларининг амплитудалари мкм нинг маълум бир кичик бўлагидан бир неча мкм гача бўлади. Амплитуданинг қиймати қаралаётган нуқтанинг темир йўл чизиғидан қанча узоқда жойлашишига, грунтнинг хоссаларига, жойнинг рельефига ҳамда темир йўл релсларнинг ҳолатига боғлиқ бўлади.

Юқоридаги факторларнинг грунт тебранишларига таъсир этиш даражасини тажриба йўли билан аниқлаш қийин, шунинг учун санаб ўтилган ва бошқа омилларнинг таъсирини ўрганиш учун назарий усулларни ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқдир. Асослар ва грунтларнинг вибрация жараёнини ўрганишда, бу масалани чексиз эластик жисмда тўлқин тарқалиш жараёни деб қараш тўғри бўлади.

Чексизлик тушунчаси масалани аналитик ечишда математик нуқтаи назардан қулай бўлади. Мазкур қўйилган масалани аналитик ечишнинг иложи йўқлиги учун тақрибий ечиш усулларига, чекли айирмалар ёки чекли элементлар усулларига мурожаат қилинади. Бу усуллар билан фақат чекли сондаги нуқталарни қамраб олиш мумкин, шу сабабдан бу усулларни тўғридан тўғри чексиз системаларга қўллаб бўлмайди. Масалани тақрибий усул билан ечиш учун чексиз ярим текисликнинг табиий ҳолатини бузмасдан керакли чекли сохани ажратиб олиб, унинг четларига шундай чегаравий шартлар қўйиладики, бу чегарага келиб тушадиган тўлқинлар ҳеч қандай тўсиқсиз ўтиб кетсин, яъни тўлқиннинг чексизликка кетиши таъминланади.

[17] да стандарт ёпишқоқ чегара номли яхши физик интерпретацияли чегаравий шартлар ишлаб чиқилган. Бунда ярим текисликнинг ташлаб

юборилган қисми нормал ва уринма кучланишлар билан алмаштирилади,
яъни

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= a\rho V_p \mathcal{E} \\ \tau &= b\rho V_s \mathcal{E} \end{aligned} \right\} (1.7.1)$$

бу ерда,

σ ва τ - нормал ва уринма кучланишлар;

\mathcal{E} ва \mathcal{E} - чегарадаги нуқталарнинг нормал ва уринматезликлари;

V_p ва V_s - рвастўлқинларнинг тезликлари;

а ва б - ўлчамсиз параметрлар;

ρ - материалнинг зичлиги.

(1.7.1) чегаравий шартлар чегарага келиб тушадиган тўлқинларни физик жихатдан ютиб, бу билан гўёки энергияни чексизликка қайтмасдан ўтиб кетишини ўзида акс эттиради. [53] ишнинг муаллифлари а, б коэффициентлар устида тадқиқотлар олиб бориб, $a=b=1$ бўлганда чегарада Р тўлқин 98,5% га, S тўлқин эса 95% га ютилишини исботладилар. Агар чегара етарлича узоқ масофада бўлса, Р ва S-тўлқинлар чегарага етиб келмасдан сўнадилар, чегарагача фақат Р эленинг сирт тўлқинлари етиб келади. Бу холда чуқурлик бўйича ўзгарувчи куйидаги ўлчамсиза(ку) ва б(ку) параметрлардан фойдаланишни тавсия этилади:

$$\left. \begin{aligned} a(ky) &= \frac{\eta}{s} \left[1 - (1 - 2s^2) \frac{q'(ky)}{f(ky)} \right] \\ b(ky) &= \eta \left[1 + \frac{f(ky)}{q(ky)} \right] \end{aligned} \right\} (1.7.2)$$

$$\text{Бу ерда, } \eta = V_s / V_R, \quad S = \sqrt{(1 - 2\nu) / 2(1 - \nu)}, \quad k = \omega / V_p \sec \theta,$$

V_R - Рэле тўлқини тезлиги;

$f(ky)$, $q(ky)$ - Рэле тўлқини амплитудасининг чуқурлик бўйича ўзгарувчи компоненталари;

ν - ярим текислик материалынинг Пуассон коэффициентини;

ω - ярим текисликда тарқалаётган гармоник тўлқиннинг айланма частотаси;

θ –тўлқиннинг чегарага тушиш бурчаги.

(1.7.1) чегаравий шартнинг самарадорлиги юқори ва фойдаланиш учун қулайдир. Қаралаётган сохани чекли элементларга бўлиб, масалани ечиш чоғида демферлаш матрицасини шакллаштиришда мос диоганал элементларига (1.7.1) ни ҳисобга олиб, ўзгартиришлар киритилади.

III БОБ. Темир йўл поездлари ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрацияни тарқалишини ўрганиш

3.1 Поездлар ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрациянинг тарқалишини грунтнинг турли хил моделларини ҳисобга олган ҳолда тадқиқ қилиш

Грунтларга динамик кучлар таъсир қилганда уларнинг ҳолати схематик тасавурлардан анча йироқ бўлади. Бундай схематизация айрим ҳолларда амалиёт учун яроқли натижалар берса ҳам грунт моделини танлашда энг ишончли моделларга эътибор қаратиш зарур. Биз қуйида деформация жараёни Больцмана-Вольтернинг ирсий оқувчанликни ҳисобга олувчи моделдан фойдаланамиз. Унга асосан оқувчанлик ва релоксация тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t K(t-\tau)\sigma(\tau)d\tau \quad (5.1.1)$$

$$\sigma(t) = E\sigma(t) + E \int_0^t R(t-\tau)\varepsilon(\tau)d\tau \quad (5.1.2)$$

Бу формулалар оператор кўринишида қуйидагича ёзилади:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} (1 + K^*)\sigma(t) \quad (5.1.3)$$

$$\sigma(t) = E(1 - R^*)\varepsilon(t) \quad (5.1.4)$$

Бу ерда, K^* ва R^* - оқувчанлик ва релоксация операторлари.

Фараз қилайлик, мисол учун $\varepsilon(t)$ даврий функция бўлсин

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \quad (5.1.5)$$

Мос равишда ёзишимиз мумкин

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{i(\omega t + \varphi)} \quad (5.1.6)$$

(5.1.5) ва (5.1.6) ларни (5.1.4)га қўйсак, қуйидаги формулага эга бўламиз

$$\sigma_0 e^{i(\omega t + \varphi)} = E \varepsilon_0 \left(e^{i\omega t} - \int_{-\infty}^t e^{i\omega \tau} R(t - \tau) d\tau \right) \quad (5.1.7)$$

Интеграл ўзгарувчисини $(t - \tau) = z$ билан алмаштириб, қуйидаги формулага эга бўламиз:

$$\sigma_0 e^{i(\omega t + \varphi)} = E \varepsilon_0 (1 - \Gamma_c + i\Gamma_s) e^{i\omega t} \quad (5.1.8)$$

Бу ерда,

$$\Gamma_c = \int_0^{\infty} R(z) \cos \omega z dz \quad (5.1.9)$$

$$\Gamma_s = \int_0^{\infty} R(z) \sin \omega z dz \quad (5.1.10)$$

Қуйидагича белгилашлар киритамиз

$$E'(\omega) = E(1 - \Gamma_c), \quad E''(\omega) = E\Gamma_s \quad (5.1.11)$$

$E' + iE''$ га комплекс модул деб аталади. У ҳолда (5.1.2) тенгламани одатдаги Гук қонунига ўхшатиб, фақат комплекс модул орқали қуйидагича ёзишимиз мумкин

$$\sigma = (E' + iE'') \varepsilon \quad (5.1.12)$$

Маслани чекли элементлар усули билан ечишда материалнинг ирсий хусусиятларини ҳисобга олиш унчалик қийинчилик туғдирмайди.

Бунинг учун $[D]$ матрицани (1.2.14) формулада комплекс массив деб ҳисоблаб, уни (5.1.12) қонунни ҳисобга олган ҳолда шакиллантириш керак.

[9,27] ишларда оқувчанликнинг ирсий назариясида қўлланиладиган турли хил ядролар: даражали, каср-чизикли, экспоненциал, экспоненциал-даражали каби ядролар тадқиқ қилинган. Экспоненциал ядро масалани ечишда содда ва қулай бўлганлиги учун амалий ҳисобларда кўп ишлатилади. Аммо [9] муаллифининг таъкидлашича, бундай ядро билан ҳисобланган масалаларнинг ечими ҳамма вақт ҳам тажриба натижалари билан мос тушавермайди.

Охириги пайтларда А.Р. Ржаницын томонидан таклиф этилган экспоненциал-даражали комбинация ядроси кўпроқ қўлланилмоқда, чунки бу ядро натижаларни тажриба ҳулосалари билан мос тушишини таъминлайди [31]. Бу ҳулосалар биз томонимиздан Больцмана-Вольтеррнинг оқувчанликнинг ирсий назарияси учун грунтнинг эластик ёпишқоқлик хусусиятини ҳисобга олишда А.Р.Ржаницыннинг қуйидаги кўринишдаги ядросини танлашимизга асос бўлди.

$$\Gamma(t) = Ae^{-\beta t} t^{\alpha-1} \quad (5.1.13)$$

Бу ерда релоксация жараёни оддий ва шу билан бирга етарлича умумий бўлган (5.1.13) кўринишида ёзилган, ихтиёрий t учун қуйидаги шарт бажарилади

$$\int_0^t \frac{Ae^{-\beta t}}{t^{1-\alpha}} dt \leq 1 \quad (5.1.14)$$

Бу ядронинг оқувчанлик жараёнини акс эттирувчи қуйидаги кўринишга эга [66]

$$K(t) = \frac{e^{-\beta t}}{t} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[A\Gamma(\alpha)]^n t^{\alpha_n}}{\Gamma(\alpha_n)} \quad (5.1.15)$$

[20] да (1.13), (1.15) функциялар ва уларнинг интеграллари мукаммал жадвал кўринишига келтирилган ҳамда α , β , A параметрларни оқувчанлик эгри чизиғи бўйича аниқлашнинг самарали усуллари ишлаб чиқилган.

бу параметрлар қовушқоқликнинг

$$\bar{\varepsilon}_\sigma(t) = \varepsilon_k(t) / \sigma$$

бўйича олинган графигини назарий йўл билан

$$\bar{\varepsilon}_T(t) = 1 + \int_0^t K(t-\tau) d\tau$$

олинган графикларини солиштириб, логарифмик координатада аниқланади. Для определения α , β , A ларни аниқлаш учун тажртба йўли билан олинган

$$\bar{\varepsilon}_\sigma(t) = \varepsilon(t) / \sigma_k$$

графикни стандарт логарифмик қоғозга чизилади ва назарий олинган график билан таққосланади.

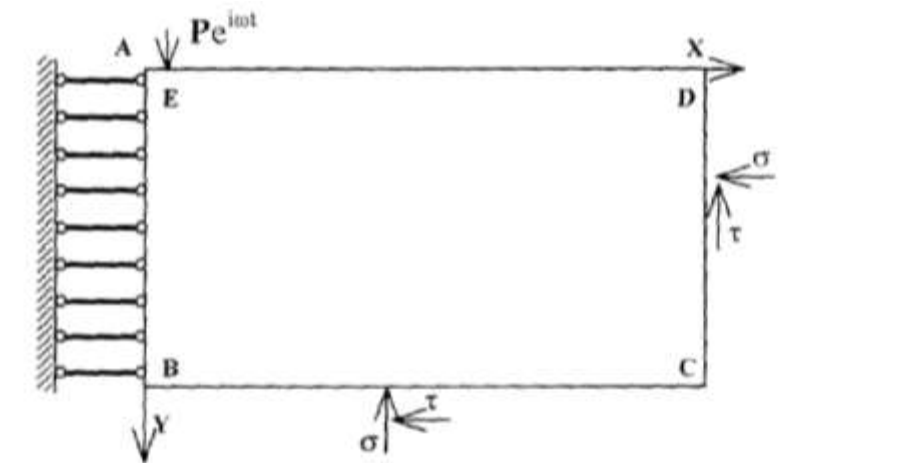
Грунт учун (5.1.13) ядронинг параметрларини аниқлашда [9, 21,] да келтирилган тажриба графикларидан фойдаландик.

Назарий параметрлардан тажриба натижаларига ўтиш қуйидаги формулалар ёрдамида амалга оширилди:

$$K = \frac{t_T}{t_\sigma}, \quad \alpha_\sigma = \alpha_1, \quad \beta_\sigma = K\beta_T, \quad A = K^\alpha A_T$$

Аниқ ҳисоб китоблар эса грунт учун

$A=1,373 \cdot 10^{-2}$, $\beta=1,3 \cdot 10^{-7}$, $\alpha=0,2$ –деб олиб амалга оширилди.



Расм. 5.1.1. Хисоб схемаси.

Темир йўл поездлари ҳаракатидан грунтда ҳосил бўлган тебранишларнинг тарқалиши ҳақидаги масалани эластиклик назариясининг ирсий эластик-ёпишқоқ хусусиятга эга бўлган ярим текисликда тўлқин тарқалиши ҳақидаги масала сифатида қараймиз. На границе АВ чегарада симметрия шarti қўйилади, яъни $x=0$ да

$V=0$. BC ва CD чегараларда мос равишда энергияни ўтказадиган

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= a\rho V_p \& \\ \tau &= b\rho V_s \& \end{aligned} \right\} \text{ и } \left. \begin{aligned} \sigma &= a\rho V_p \& \\ \tau &= b\rho V_s \& \end{aligned} \right\}$$

шартлар қўйилади.

Бу ерда, σ и τ – нормал ва уринма кучланишлар;

$\&$ ва $\&$ чегарадаги нуқталарнинг нормал ва уринма тезликлари;

V_p ва V_s - P и S тўлқинларнинг тезликлари;

a и b – ўлчамсиз параметрлар;

ρ - материал зичлиги.

AD чегарада битта тик қўйилган куч бор, яъни

$$P(x,t) = P_0 e^{-i\omega t} \cdot \delta(x - x_0)$$

Бу ерда, P_0 — берилган куч;

ω - ташқи куч частотаси;

$\delta(x - x_0)$ - дельта-функция

Берилган сохани чекли элементларга бўлгандан кейин системанинг ҳаракат тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$[M]\ddot{u} + (1 - R^*)[K]u = \{P(t)\} \quad (5.1.16)$$

Грунтнинг физик-механик характеристикалари ва ёпишқоқлик параметрлари қуйидагича танлаб олинди:

лёссимон грунт

$$\begin{aligned} E &= 2,2 \cdot 10^8 \text{ Па}; & \rho &= 1,79 \cdot 10^3 \text{ н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4; & \nu &= 0,3 \\ A &= 6,74 \cdot 10^{-2}, & \beta &= 2,43 \cdot 10^{-3}, & \alpha &= 0,25 \end{aligned}$$

қум-шағал

$$\begin{aligned} E &= 2,85 \cdot 10^8 \text{ Па}; & \rho &= 1,87 \cdot 10^3 \text{ н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4; & \nu &= 0,35 \\ A &= 13,73 \cdot 10^{-2}, & \beta &= 1,3 \cdot 10^{-6}, & \alpha &= 0,2 \end{aligned}$$

суглинка

$$\begin{aligned} E &= 4,21 \cdot 10^8 \text{ Па}; & \rho &= 1,8 \cdot 10^3 \text{ н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4; & \nu &= 0,27 \\ A &= 3,33 \cdot 10^{-2}, & \beta &= 3,6 \cdot 10^{-4}, & \alpha &= 0,25 \end{aligned}$$

Олинган сонли натижаларнинг тахлили шуни кўрсатдики, лёссимон грунтларда вибрация тўлқинлари қум-шағал ёки супесдагига нисбатан тезроқ сўнади. Темир йўл ўқидан етарлича узоқ масофада вибрациянинг даражаси грунт хусусиятларига кескин боғлиқ бўлади: мустаҳкам грунтларда вибрациянинг даражаси бўш грунтдагига нисбатан юқори бўлади.

5.1.2 - 5.1.3 расмларда ер сатҳидаги вертикал ва горизонтал кўчишлар амплитудаларини темир йўл ўқига перпендикуляр чизиқ бўйлаб ўзгариши кўрсатилган.

Ер сатхи нуқталари тебраниш амплитудалари ўрамасининг сифат тахлили кўрсатадики, ҳамма графиклар темир йўл ўқидан узоқлашган сари сўниб бориш характерига эга. Ташқи куч частотаси ортиши билан ер сатхи нуқталари амплитудаларининг абсолют қиймати камайиб боради ва сўниш жараёни тезлашади.

Олинган сонли натижаларнинг тахлили қулай бўлиши учун қуйидагича шартли белгилашлар киритамиз:

- бундан кейин темир йўл поезда текис жойда ҳаракатланмоқда деб фараз қилиб олинган натижаларнинг графиклари «А» ҳарфи билан белгиланади;

-темир йўл поезда атрофдан юқори жойлашган платформада ҳаракатланмоқда деб фараз қилиб олинган натижаларнинг графиклари «В» ҳарфи билан белгиланади;

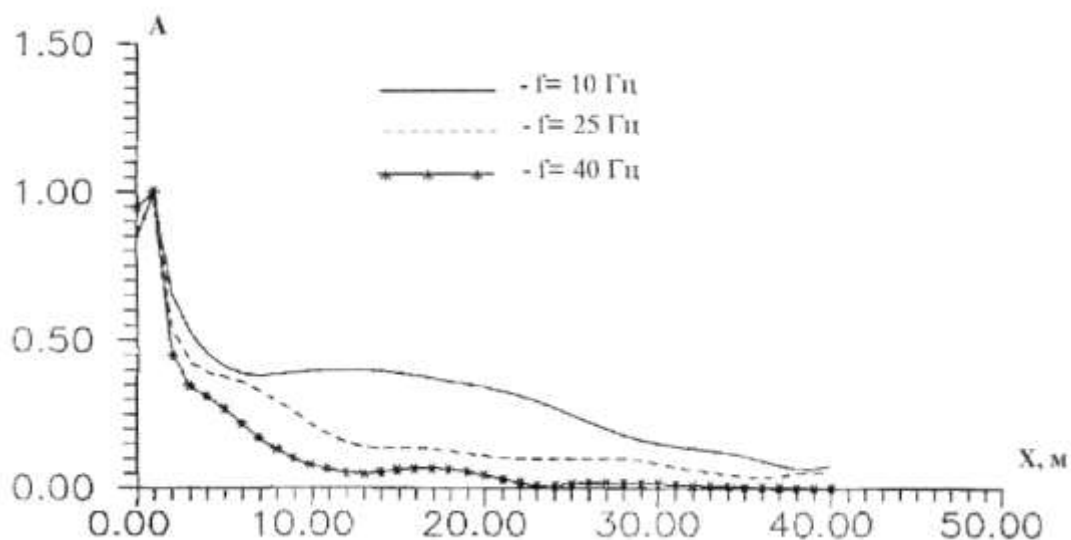
- темир йўл поезда атрофдан паст жойлашган платформада ҳаракатланмоқда деб фараз қилиб олинган натижаларнинг графиклари «С» ҳарфи билан белгиланади;

Қуйида ер сатхи нуқталарининг горизонтал ва вертикал кўчишларнинг ўрамалари солиштирилган.

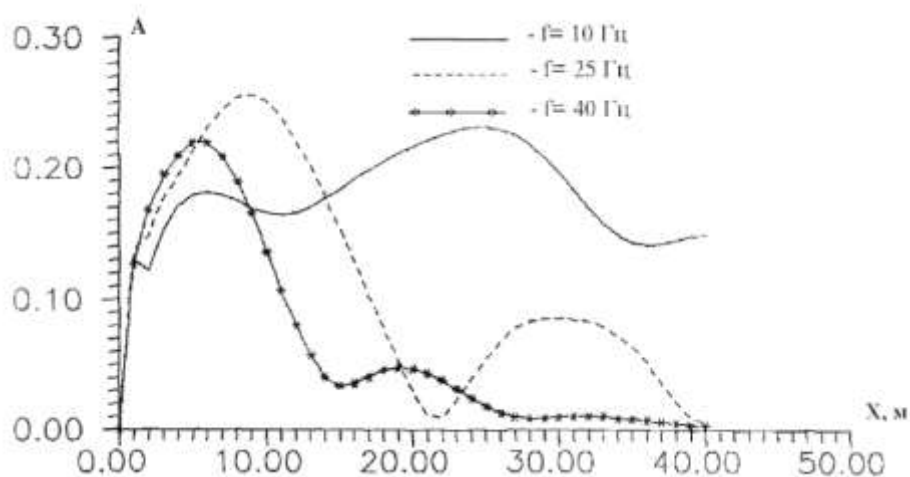
Симметрия ўқига яқин жойлашган сохаларда вертикал кўчишларнинг қиймати горизонтал кўчишларга нисбатан анча катта. Аммо, симметрия ўқидан узоқлашган сари бу фарқ камайиб боради. Таъсир кучининг частотаси $f=10$ Гцразница между огибающими вертикал ва горизонтал кўчишларнинг ўрамалари орасидаги фарқ $x=26$ м масофада йўқолади, кейинчалик горизонтал кўчишларнинг қиймати вертикалга нисбатан катта бўлади.

Частотанинг $f=15$ и 20 Гц қийматларида бу ходиса $x=10$ м бўлганда рўй беради. Худди шунингдек $f=25$ Гц да $x=9$ м бўлганда; $f=30$ Гц да $x=8$ м бўлганда; $f=35$ Гц да $x=6$ м бўлганда; $f=40$ Гц да $x=6$ м бўлганда; $f=45$ Гц да $x=5,5$ м бўлганда; $f=50$ Гц да $x=5$ м бўлганда вертикал ва горизонтал кўчишлар ўрамаларининг тенг бўлиши кузатилади;

Горизонтал кўчишларнинг ўрамаларивертикал кўчишлар ўрамаларига караганда анча монотон ва секинроқ сўнади. Ҳамма натижалар таъсир этаётган кучнинг частотасига жуда боғлиқ.



Расм 5.1.2. Эркин сатх нуқталаритебраниши амплитудаларининг ўзгариш графиги

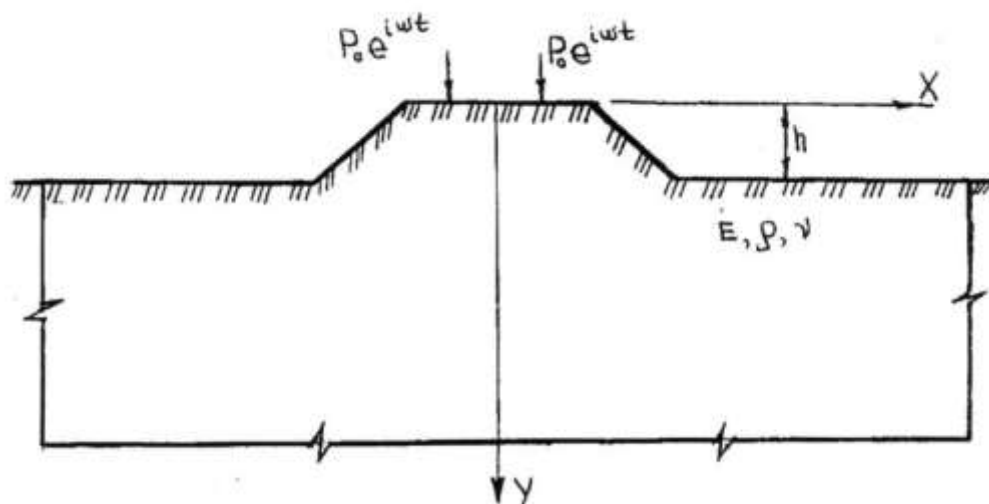


Расм 5.1.3. Горизонтал кўчиш амплитудалари ўрамасининг ўзгариши

3.2.Атрофга нисбатан баландда жойлашган темир йўл полотносидан тебранишларнинг тарқалиши

Темир йўл поездлари ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрация даражасига полотнонинг атрофдаги ер юзига нисбатан баландда жойлашганлигининг таъсирини ўрганиш катта илмий ва амалий аҳамиятга эга.

Ишлаб чиқилган усул ва тузилган дастурлар қатор муҳим масалаларни ечишга имкон беради. Агар тўлқин ярим текисликнинг чегарасидаги трапециясимон баландликка қўйилган кучларнинг таъсиридан пайдо бўлиб, тарқалиш жараёнини ўрганиш зарур бўлса бу катта қийинчилик туғдирмайди. (расм 5.2.1).



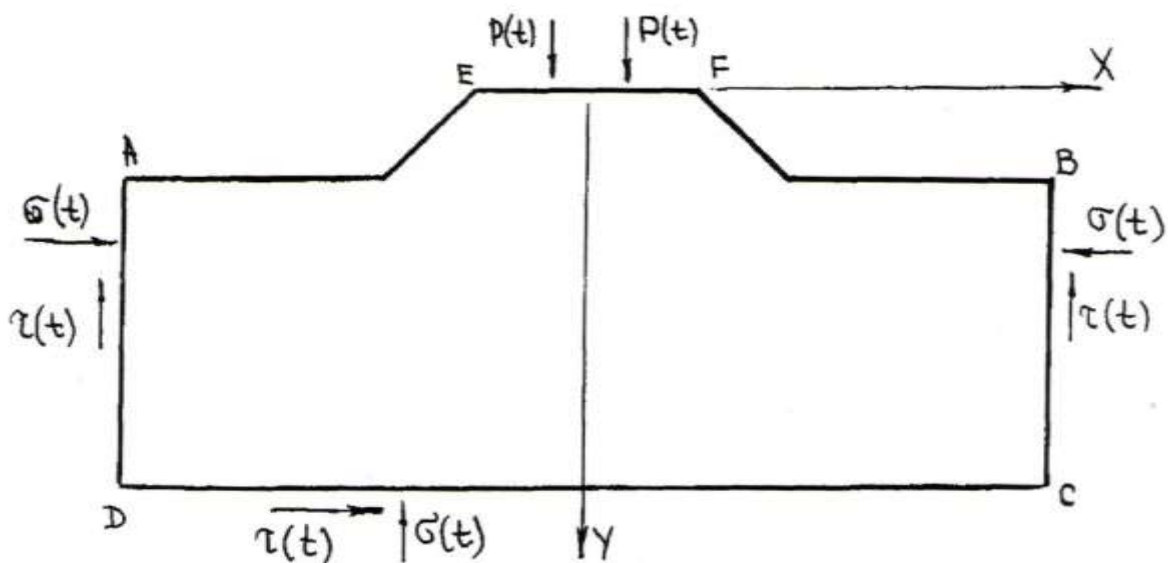
Расм 5.2.1. Ҳисоб схемаси

Бу ҳолда чекли динамик модел кўп бурчакдан иборат бўлади (расм 5.2.2).

На границах AD, DC, CB чизиқларда шундай чегаравий шартлар қўйиладики, бу ерга тушган тўлқинлар ҳеч қандай акс қайтишсиз ўтиб кетсин, Яъни бу чизиқлар устида қуйидаги шартлар бажарилсин:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= a \cdot \rho \cdot V_p \cdot \dot{u} \\ \tau &= b \cdot \rho \cdot V_s \cdot \dot{v} \end{aligned} \right\} \quad (5.2.1)$$

Бу ерда, σ ва τ - нормал ва уринма кучланишлар;
 u ва v - чегарада жойлашган нукталар тезликларининг нормал ва уринма ташкил этувчилари;
 V_p ва V_s — P ва S -тўлқинларнинг тезликлари;
 a ва b —ўлчов бирлигсиз параметрлар;
 ρ - соха материалининг зичлиги.



5.2.2. Ҳисоб схемаси.

EF оралиғига тенг тақсимланган юкқўйилган ажратилган оҳирги объектни 1221 га бўламиз ва қуйидаги формулани ёзамиз

$$[M]\{u\} + (1 - R^*)[K]\{u\} = \{P(t)\} - [G]\{u\} \quad (5.2.2)$$

Бу ерда R^* - Вольтеррани интеграл оператори;

$[M]$ и $[K]$ - массанинг матрицаси ва системанинг қаттиқлиги;

$\{u(t)\}$, $\{P(t)\}$ - нукталарни алмашуви ва ташқи юкни босимлари вектори;

$[G]$ — стандарт бўлган чегарага алоқадор бўлмаган диагонал матрицаси нолга бўлмаган элементлар.

$$\begin{Bmatrix} G(i-1, i-1) \\ G(i, i) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_p \\ V_s \end{Bmatrix} b \Delta t_i \rho_i \quad (5.2.3)$$

бу ерда, b –элемент қалинлиги;

Δl_i - 1- чегара нуқтаси ёнидаги элементларни ўртача узунлиги;

ρ_i -чегара нуқтаси ёнидаги элементларни зичлиги.

Айланма частотаси ω бўлган тик қўйилган гармоник куч

$$[P(t)] = \{P\}e^{i\omega t} \quad (5.2.4)$$

таъсир этганда система реакцияси

$$\left. \begin{aligned} \{u(t)\} &= \{\bar{u}\}e^{i\omega t}, \\ \{\dot{u}(t)\} &= i\omega\{\bar{u}\}e^{i\omega t}, \\ \{u(t)\} &= -\omega^2\{\bar{u}\}e^{i\omega t}, \end{aligned} \right\} (5.2.5)$$

бўлади, яъни система ҳам берилган айланма частота билан тебранади, бу ерда $\{i\}$ - система кўчишининг ўзгармас комплекс амплитудалари вектори.

(5.2.2) ва (5.2.3) ларни система ҳаракат дифференциал тенгламаси (5.2.1) га қўйганимизда куйидаги вақтга боғлиқ бўлмаган комплекс алгебраик тенгламалар системаси пайдо бўлади

$$[K]\{u\} = \{P\} \quad (5.2.6)$$

Бу ерда, $[K]$ – модификацияланган комплекс бикирлик матрицаси ва куйидаги формула билан аниқланади :

$$[\bar{K}] = (1 - R_c + iR_s)[K] + i\omega[\Gamma] - \omega^2[M] \quad (5.2.7)$$

Маълумки, $\omega = 2\pi f$ (f - тебраниш частотаси).

Кейинчалик частота дейилганда f назарда тутилади, ўлчов бирлиги Гц. Чекли элементларни ва уларнинг тугунларини тўғри номерлаб чиқилганда

О.Зенкевичнинг маълум дастурига кўра шакиллантирилган матрица $[K]$ симметрик ва лентасимон бўлади.

Тенгламалар системасини ечиш учун дастур тузилганда ЭХМ хотирасидан самарали фойдаланиш учун $[K]$ комплекс матрицанинг симметриклиги ва лентасимонлиги ҳисобга олинади, яъни ЭХМ хотирасида лентанинг симметрик бўлаги шакиллантирилади.

(5.2.6) тенгламалар системасини Гаусснинг номаълумларни кетма-кета йўқотиш усули билан ечилгандан кейин ўзгармас амплитудаларнинг комплекс вектори

$$\{\bar{u}\}^T = \{\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3, \dots, \bar{u}_N\} \quad (5.2.8)$$

Аниқланади, бу ерда N -сони чекли элементларга бўлинган соҳанинг эркинлик даражасини билдиради. Тебранишларнинг ҳақиқий вектори $\{u(t)\}$ қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\{\bar{u}(t)\} = \operatorname{Re}\{\{u\}e^{i\omega t}\}$$

ёки

$$\{\bar{u}(t)\} = \operatorname{Re}\{\bar{u}\} \cos \omega t - \operatorname{Im}\{\bar{u}\} \sin \omega t$$

$\{u\}$ векторининг қийматларидан фойдаланиб, эркин чегарада ётган дискрет нуқталар комплекс амплитудаларининг абсолют қийматларидан иборат ўраманинг графигини чизиш мумкин. Олинган натижалар (5.2.3 - 5.2.8) расмларда кўрсатилган.

Натижалар шуни кўрсатадики, ер сатҳи тебранишларининг ўрамаси темир йўл чизигидан узоқлашган сари монотон бўлмаган сўниш қонунияти сақланиб қолади.

Энди олинган натижаларни, ярим текисликнинг, яъни чекли динамик моделнинг эркин чегараси тўғри чизиқ деб ечилган масала натижалари билан солиштирамиз.

Грунтдаги тебранишлар даражасини темир йўл полотносининг баланд-пастлиги боғлиқ равишда ўрганиш учун қуйидаги масалаларни ечамиз.

Бу масалаларни ечишда ярим текисликнинг эластиклик модули $E=1,9 \cdot 10^8$ Па ва Пуассон коэффиценти $\nu=0,33$ деб қабул қилинган.

Ажратилган тўрт бурчак соха 738 та тугунли 1360 та учбурчакли элементларга бўлинган, яъни ярим текислик 1476 даражали чекли система билан алмаштирилган. Тартиби 1476 га ва лентасининг кенглиги 34 га тенг бўлган ҳаракат тенгламаси тузилган. Бикирлик матрицаси комплекс бўлганлиги учун амалда ЭХМ хотирасида лентанинг кенглиги $2m = 68$ бўлади.

Чекли элементларнинг ўлчамлари [34] да ишлаб чиқилган талабларга риоя қилган ҳолда амалга оширилди. Олинган натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, чекли элементлар учули билан эластик тўлқинларнинг тарқалиши ҳақидаги масалани ечишда ҳисоб схемасининг турғунлигини таъминлаш учун кўндалангтўлқининг ҳар бир узунлигида камида 10-11 та чекли элемент жойлашиши керак.

Темир йўл полотноси ер сатҳи билан бир хил ва ер сатҳидан баланд жойлашган ҳолларда тарқаладиган вибрация даражаси солиштириб кўрилганда, полотно баландлиги ортиб бориши билан вибрация даражасининг камайиши кузатилади, яъни тебраниш амплитудаси камаяди. Темир йўл ўқидан 5 мм софада $f=10$ Гц, $h=1$ м бўлганда тебраниш амплитудаси 15% га, $h=2$ м – да 21%, $h=3$ м – да 27% га темир йўл ер сатҳи билан бир хил бўлган ҳолдагига нисбатан кам бўлади. $f=15$ Гц да бу фарқ мос равишда 13%, 25%, 29%; ни, $f=20$ Гц да – 14%, 17%, 14% ни ташкил қилади.

$f=40, 50$ Гц бўлганда амплитуданинг кескин камайиши кузатилади (10-77%). Темир йўлдан узоқлашган сари бу фарқ ортиб боради. Мисол учун $f=10$ Гц, $h=1$ м, масофа $x=10$ м бўлганда, тебраниш амплитудаси темир йўл атроф билан битта текисликда ётган ҳолдаги мос нуқта амплитудасига нисбатан 12% га кам бўлади, $h=2$ м бўлганда бу фарқ 21% ни, $h=3$ м бўлганда 32% ни ташкил қилади.

$f=15$ Гц бўлганда, бу фарқлар мос равишда, 8%, 29%, 73% ларни ташкил этади.

Агар таъсир этувчи кучнинг частотаси 25-50 Гц оралиғида бўлганда амплитуданинг жуда катта камайиши, яъни 6 баробаргача камайиши кузатилади

Вибрация даражасини камайтириш учун темир йўл полотносини кўтарилганда, темир йўлдан 20-30 м масофада энг катта ижобий натижага эришилади.

Темир йўл платформаси атрофга нисбатан кўтарилганда унинг ер сатхи нуқталарининг горизонтал кўчишларига таъсирини ўрганиш катта илмий амалий аҳамиятга эга. Горизонтал кўчишларнинг эпюрасини ер сатхи нуқталарининг горизонтал амплитудаларининг максимал қийматлари ўрамаси кўринишида куриш катта қийинчилик туғдирмайди.

Олинган графикларнинг сифат тахлили шуни кўрсатсдики, ер сатхининг геометрик ўзгариши тебранишларнинг тарқалиш жараёнига катта таъсир ўтказади.

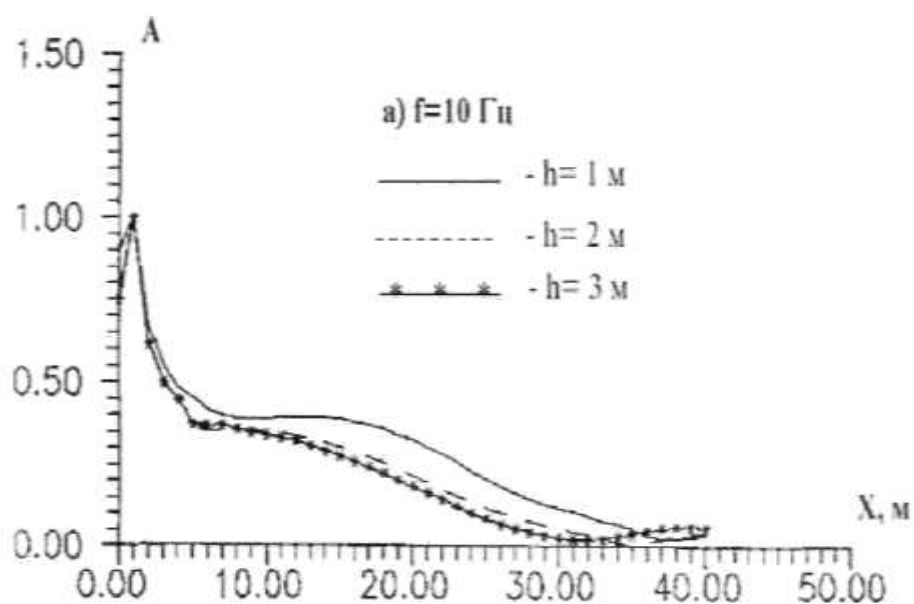
Платформа яқинида амплитудалар ўрамаси кескин ўзгарувчан бўлади, юк қўйилган нуқтадан узоқлашган сари графиклар монотонлашади. симметрия ўқи яқинида горизонтал ва вертикал кўчишларнинг қийматлари кескин фарқ қилади, яъни вертикал кўчишларнинг қийматлари горизонтал кўчишларга нисбатан анча катта бўлади. Аммо масофанинг ортиб бориши билан бу фарқ камайиб боради ва тахминан $x=7$ м дан $x=20$ м гача бўлган масофада, частотага боғлиқ ҳолда бу фарқ йўқолади.

Горизонтал тебранишлар вертикал тебранишларга нисбатан секинроқ сўнади.

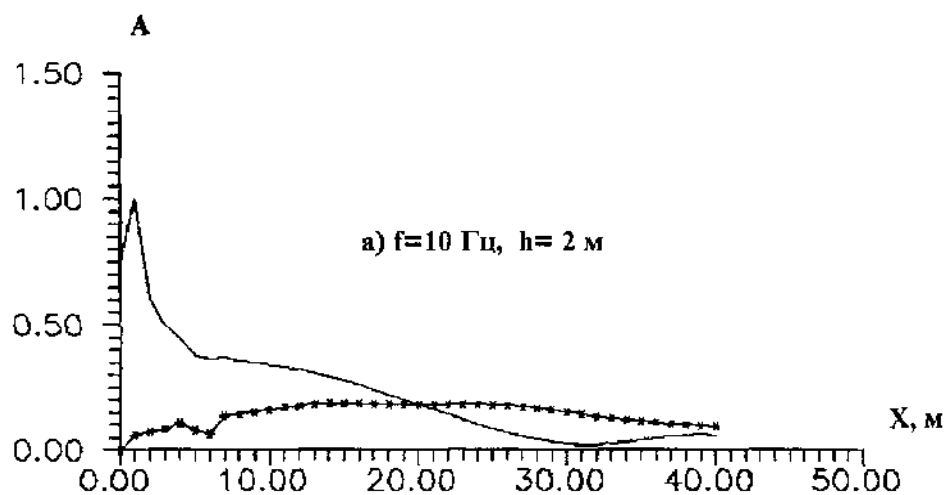
5.2.5 - 5.2.8 расмларда платформа баландлиги

$h=0$ м ва $h=3$ м бўлган ҳолларда графиклар солиштирилган. Бир қарашдаёқ яққол кўринадикки, горизонтал кўчишларнинг амплитудаси платформа баландлиги ортиб борганда камаяди. Юк частотасининг қиймати $f=10$ Гц

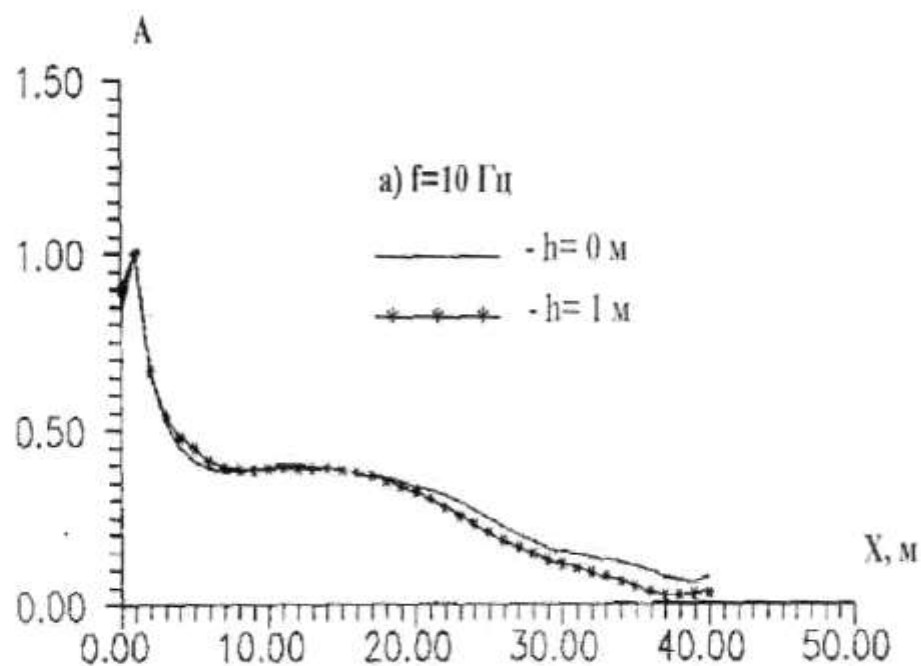
(расм 5.2.8) бўлганда, $x=5$ м масофада амплитудаларнинг $h=3$ м хол учун олинган қийматлари $h=0$ м холдагига нисбатан икки баробар кам бўлади.



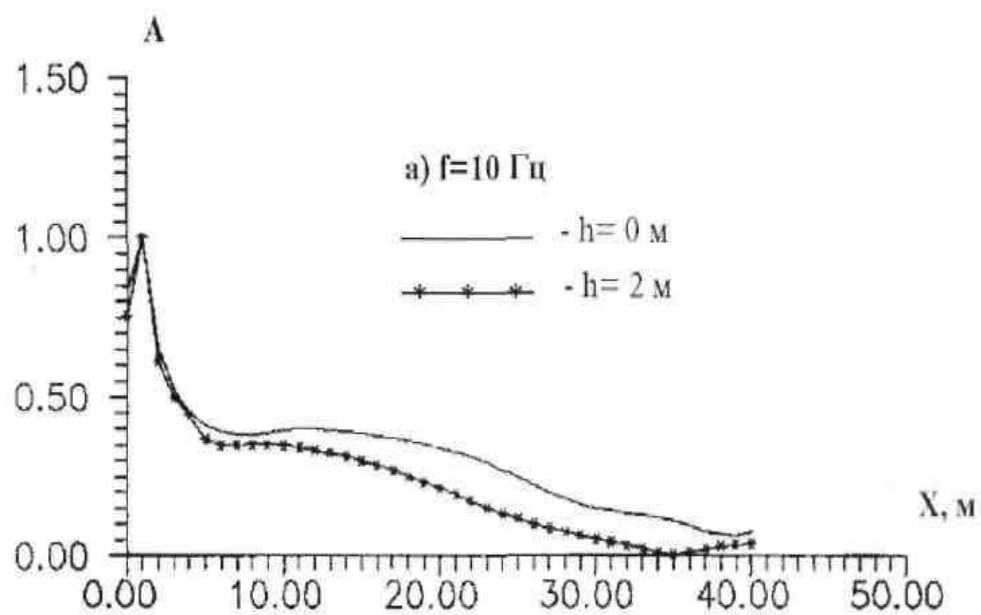
Расм 5.2.3. Турли ҳил баландликдаги платформалар учун олинган натижаларни солиштириш



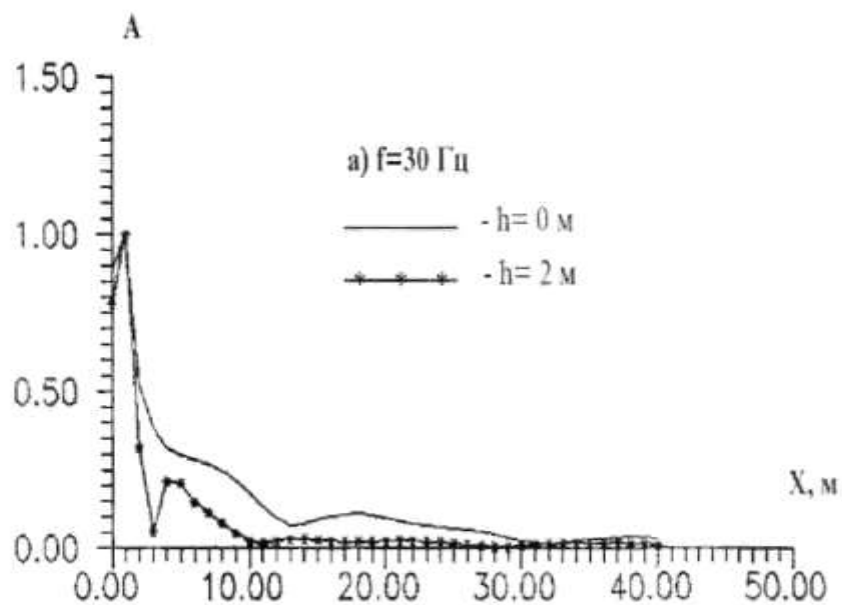
Расм 5.2.4. Ер сатхи нуқталарининг вертикал ва горизонтал тебраниш амплитудалари ўрамасини солиштириш.



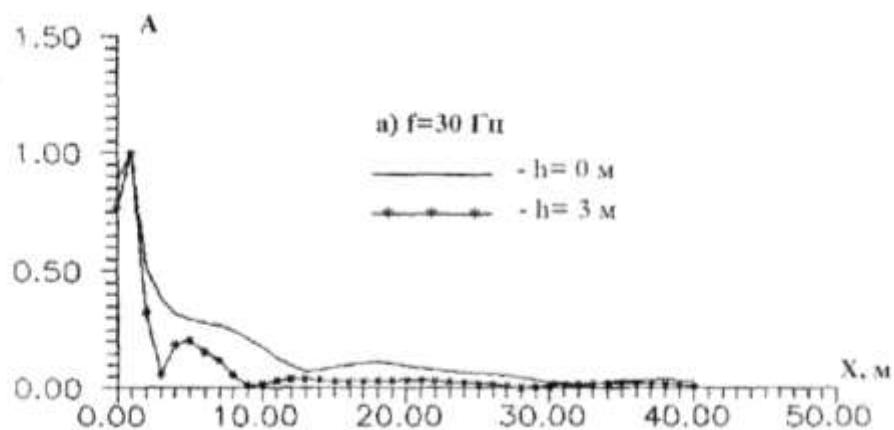
Расм 5.2.5. Ер сатхи нуқталарининг вертикал тебраниш амплитудалари ўрамасини солиштириш.



Расм 5.2.6. Ер сатхи нуқталарининг вертикал тебраниш амплитудалари ўрамасини солиштириш.



Расм 5.2.7. Ер сатхи нуқталарининг вертикал тебраниш амплитудалари ўрамасини солиштириш.



Расм 5.2.8. Ер сатхи нуқталарининг вертикал тебраниш амплитудалари ўрамасини солиштириш.

АСОСИЙ ХУЛОСАЛАР

1. Эластик-қовишқоқлик назариясининг вариацион принципига асосан транспорт системалари ҳаракатидин ҳосил бўлган вибрациянинг грунтда тарқалиши ҳақидаги вариацион-континуал масала қўйилди; тўла энергиянинг функционали қурилди; масаланинг дифференциал ва вариацион қўйилишларининг эквивалент эканлиги исботланди.

2. Ихтиёрий ташқи кучлар таъсирида турғун ва турғун бўлмаган тебранишларни таҳлил қилиш учун чекли элементлар ёрдамида ҳисоблашнинг янги асосланган усули яратилди.

3. Олинган сонли натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатдики, лёссимон грунтларда вибрация тўлқинлари қум-шағал ёки супесдагига нисбатан тезроқ сўнади. Темир йўл ўқидан етарлича узоқ масофада вибрациянинг даражаси грунт хусусиятларига кескин боғлиқ бўлади: мустаҳкам грунтларда вибрациянинг даражаси бўш грунтдагига нисбатан юқори бўлади.

4. Ер сатҳи нуқталари тебраниш амплитудалари ўрамасининг сифат таҳлили кўрсатадики, ҳамма графиклар темир йўл ўқидан узоқлашган сари сўниб бориш характерига эга. Ташқи куч частотаси ортиши билан ер сатҳи нуқталари амплитудаларининг абсолют қиймати камайиб боради ва сўниш жараёни тезлашади.

5. Олинган графикларнинг сифат таҳлили шуни кўрсатдики, ер сатҳининг геометрик ўзгариши тебранишларнинг тарқалиш жараёнига катта таъсир ўтказади.

6. Темир йўл поездаи ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрацияни ерда тарқалишини темир йўл полотносини атрофга нисбатан жойлашини ҳисобга олган ҳолда тадқиқ қилиш методи яратилди. Унинг натижаси сифатида қуйидагиларни қайд қилиш мумкин:

- темир йўл полотносининг атроф ер сатҳига нисбатан жойлашиши поезд ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрация даражасиг кучли таъсир ўтказади;

- Темир йўл полотноси баландлигининг ортиб бориши поезд харакатидан тарқалаётган вибрация даражасини кескин камайтиради;

- Вибрация даражасини камайтириш учун темир йўл полотносини кўтарилганда, темир йўлдан 20-30 м масофада энг катта ижобий натижага эришилади (икки барабар камаяди);

- Платформа яқинида амплитудалар ўрамаси кескин ўзгарувчан бўлади, юк қўйилган нуқтадан узоклашган сари графиклар монотонлашади;

- Горизонтал тебранишлар вертикал тебранишларга нисбатан секинроқ сўнади.

10. Умумий қилиб айтганда диссертацияда олинган натижалар вибрациянинг грунтда тарқалиши, саноат ва фуқаро биноларини ва инсонларни вибрациядан химоя қилиш каби долизарб ва мураккаб масалани ечишнинг янг усули яратилдидеб айтишга имкон беради.

ҒОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Абдуллаев Т.К., Ишонходжаев А.А., Ким В.Ю. Экспериментальные натурные исследования воздействия динамических нагрузок на тоннели мелкого заложения. Динамика осн., фундаментов и 977, с. 15-17. подземных сооружений. Материалы IV Всесоюзн. конф. Ташкент, 1
2. Академия Наук СССР, Государственный научно-исследовательский институт машиноведения. Влияние вибраций на организм человека и проблемы защиты. М.: «Наука», 1974, 278 с.
3. Александров А.В., Потапов В.Д. « Основы теории упругости и пластичности». М.:«Высшая школа» , 1990, 399 с.
4. Бадалов Ф. Б. «О вариационных принципах и методах в наследственной механике деформируемых тел. Проблемы механики. №4, Т.: изд. «ФАН» , 1997 г. с. 3-7.
5. Бадалов Ф.Б. Методы решения интегральных и интегро-дифференциальных уравнений наследственной теории вязкоуп-ругости. Т.:«Мехнат» 1987, 269 с.
6. Бадалов Ф. Б. Методы степенных рядов в нелинейной наследственной теории вязкоупругости. Т.:«ФАН», 1980, 222 с.
7. Борщаговский И.Я. Общая вибрация и ее влияние на организм человека. М.:«Медгиз», 1963, 634 с.
8. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.:«Наука», 1973, 343 с.
9. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.:«Высшая школа», 1978, 447 с.
10. Дашевский М.А. Излучения и отражения упругих волн подкрепленными полостями в сплошной упругой среде при движении пульсирующей нагрузки. Труды ЦНИИСК, вып. 17, 1971, с. 91-115.
11. Дашевский М.А. Распространения волн при колебаниях тоннелей метро. СМ и РС, 1974, № 6, с. 29-34.

12. Дашевский М.А. Колебания грунта вблизи тоннелей метро мелкого заложения. Материалы IV Всесоюзн. конф. В кн.: Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений. Ташкент, 1977, с. 111-114.

13. Дашевский М.А., Ильичев В.А., Поляков В.С. Экспериментальное исследование системы «тоннель-грунт» с помощью вибратора. В кн.: Динамика оснований фундаментов и подземных сооружений. Материалы V Всесоюзн. конф. Ташкент, 8-10 декабря 1981 г., с. 287-288.

14. Ескин Ю.М. Учет полубесконечных оснований при решении динамических задач методом конечных разностей. Материалы IV Всесоюзн. конф. «Динамика оснований и подземных сооружений». Ташкент, 16-18 ноября 1977, с. 29-32.

15. Забылин М.И., Игольников В.В. Исследование параметров упругих волн, распространяющихся в грунтах от промышленных источников. В сб.: «Строительство и архитектура». Изв. № 11, с. 30-37.

16. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: «Мир», 1975, 541с.

17. Ильичев В.А., Юлдашев Ш.С. Результаты численного определения параметров колебания грунта при колебании тоннеля метрополитена мелкого заложения. В кн.: «Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений», т. 2. Материалы V Всесоюз. конф. Ташкент, 8-10 декабря 1981 г.

18. Ильичев В.А., Шехтер О.Я. Определение динамических напряжений и перемещений в упругой полуплоскости от внутреннего источника, имитирующего воздействие тоннеля метрополитена мелкого заложения. В кн.: Динамика и сейсмостойкость оснований и фундаментов. М.: «Стройиздат», 1976, с. 38-41.

19. Ишанходжаев А.А., Юлдашев Ш.С. К проблеме защиты сооружений от вибраций, возникающих при прохождении поездов метрополитена. Тезисы докл. Всесоюзн. конф. «Совершенствование строительных методов расчета зданий и сооружений на динамические воздействия». М.: 1982.

20. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. М.: «Высшая школа», 1976, 277с.
21. Коншин Г.Г. Распространение напряжений в земляном полотне от воздействия поездов. В кн.: Волны в грунтах и вопросы виброметрии. Материалы III Всесоюзн. конф. Ташкент, 1973, с. 143-151.
22. Красников Н.Д. Динамические свойства грунтов к методы их определения. Л.: «Стройиздат», 1970, с. 237.
23. Михлин С. Г. «Вариационные методы в математической физике», М.: «Наука», 1970, 512 с.
24. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: «Наука», 1988, 712 с.
25. Рашидов Т.Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Т.: «Фан», 1973, 160 с.
26. Рашидов Т. Р., Хожиметов Г.Х., Мар данов Б. Колебания сооружений, взаимодействующих с грунтом. Т.: «Фан», 1975.
27. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. М.: «Стройиздат», 1968, 416 с.
28. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН 245-71). Госстрой СССР. М., Стройиздат, 1972, 243 с.
29. Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах (№1304-75). М.: изд. Министерства здравоохранения СССР, 1975, 248 с.
30. Уздин А.М. Об одном варианте использования МКЭ и граничных элементов для расчетов взаимодействия сооружения с основанием. Изв. ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. Т.219, 1990, с. 28-30.
31. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: «Высшая школа», 1983, 288 с.
32. Шемякин Е.И. Динамические задачи теории упругости и пластичности. Новосибирск, НГУ, 1968, 337 с.
33. Юлдашев Ш.С. Расширение расчетной области при решении динамических задач теории упругости методом конечных элементов. ДАН Уз ССР, 1982, N 1, с. 8-10.

34. Юлдашев Ш.С. Численный метод оценки уровня колебания грунта вблизи тоннелей метрополитена с учетом неоднородности грунта. Автореф. канд. тех. наук. Т., 1982., 21 с.

35. Юлдашев Ш.С, Мамадалиев У.М. Ер юзасига якин жой-лашган метрополитенларда поезд харакатланганда тебраниш тул-кинларини атроф-мухитга тарқалиши. Профессор-муаллимлар ва талабаларнинг илмий ишлари. 2 туплам. Наманган, 1993, 368-369 б.

36. Юлдашев Ш.С, Мамадалиев У.М. Метрополитен поездлари харакатидан ер юзасида хосил буладиган тебраниш тулкинларини тоннель чуқурлигига боғлиқлигини ўрганиш. Профессор-муаллимлар, аспирантлар ва талабаларнинг илмий ишлари. 3 туплам. Наманган, 1994, 197-198 б.

37. Юлдашев Ш.С, Мамадалиев У.М. Икки йуллик, халқасимон кесимли метрополитенларда поездлар харакатидан ер юзасида тарқалувчи тебраниш тулкинларини урганиш. Марказий Осиёда бино ва иншоотлар зилзилабардошлигининг долзарб масалалари-халқаро анжуман материаллари. Самарканд, 23-24 май 1997 й., 61 б.

38. Юлдашев Ш.С, Маткаримов П.Ж. и др. Колебание сооружений, взаимодействующих с вязкоупругим грунтом. Тезисы докладов III симпозиума. Тверь, 3-5 сентября 1992 г., с. 62.

39. Юлдашев Ш.С, Мамадалиев У.М., Распространение вибрации при прохождении поездов метрополитена в тоннелях круглого сечения. «Проблемы механики». Т.: «Фан», 1994 г. с. 3-5.

40. Юлдашев Ш.С, Садов СМ. Исследование вибрации при прохождении поездов. «Проблемы механики». Т.:«Фан», 1994, вып.1, с. 26-28.

41. Юлдашев Ш.С, Мубараков Я., Мамадалиев У. Влияние глубины заложения круглого тоннеля на величину амплитуды колебаний поверхности грунта, возникающих при движении поездов метро. «Проблемы механики», Т.: «Фан» АН РУз, №4, 1997, с.13-15.

42. Юлдашев Ш.С, Рашидов Т.Р., Ишанходжаев А.А. «Распространение в грунте вибраций, возникающих от прохождения поездов метрополитена,

при учете перемещения тоннеля относительно грунта». ДАН УзССР, 1984, №5, с. 15-16.

43. Юлдашев Ш.С, Мубораков Я.Н., Садов СМ., «Изучение распространения вибраций от движения поездов, проходящих по оврагу, в зависимости от глубины заложения железнодорожного полотна». «Проблемы механики». Т.:«ФАН» АН РУз, №5, 1998, с. 10-13.

44. Юлдашев Ш.С. Распространение колебаний в неоднородной полуплоскости с внутренним трением. В кн.: «Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений». Т.:«ФАН», 1984, с.53-62.

45. Юлдашев Ш.С, Мубораков Я.Н., Мамадалиев У. Уменьшение упругих волн в грунте при помощи виброзащитного экрана. Проблемы механики. Изд. «ФАН», №6, 1998 г., с. 15-18.

46. Юлдашев Ш.С, Мубораков Я.Н., Мамадалиев У. Изучение влияния глубины заложения круглого тоннеля на величину амплитуды колебаний при прохождении поездов метро. Научный вестник ФерГУ, №1-2, 1997 г., с. 75-77.

47. Юлдашев Ш.С, Маткаримов П. Исследование вынужденных колебаний неоднородных систем с учетом пассивной виброизоляции. Основания, фундаменты и механика грунтов. М., Стройиздат, №2, 1999 г., с. 9-11.

48. Юлдашев Ш.С., Ильичев В.А., Саидов С.М. Исследование распространения вибраций от движения поездов в зависимости от расположения железнодорожного полотна М.:«Стройиздат», №2, 1999г., с. 12-13

49. Юлдашев Ш.С. Распространение вибраций в грунтах от транспортных средств и виброзащитные системы. Докторская диссертация, Т., 1999-й.

50. Haupt A. Numerical Method for the Wave Fields. «Dynamics Response and wave Propagation in Soils» A.A. Bulreta, Rotterdam, 1978, p. 255-278.

51. Haupt W.A. Isolation des Vibrations par Porois Moulees en Beton. In Rotterdam, 1978, p. 251-256.

52. Haupt A. Surface-waves in non-homogeneous half-space. In «Dynamic Response and Wave Propagation in Soils». A.A. Balkema, Rotterdam, 1976, p. 335-368.

53. Lysmer J., Kyhlemeyer L. «Finite Dynamik Model for Infinite Media» Jour Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol 95, No EM 4, August, 1969, p. 859-887.

54. Lysmer J., Waas G. «J. of the Engineering Mechanics Division», 1972, p. 85-105.

55. Lysmer J, Udaka T, Tsai G-F, Seed H B «Flash-A Computer Program for Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems», University of California, Berkeley, Report No EERS 75-30, November, 1975.

56. Rucker W. Measurement and Evaluation of Random Vibrations In «Dynamic Response and Wave Propagation in Soils» A.A. Balkema, Rotterdam, 1978, p. 407-422.

57. Woods R.D. Lumped Parameter Models In «Dynamic Response and Wave Propagation in Soils», A.A. Balkema, Rotterdam, 1978.

58. И. А. Каримов. Ўзбекистон мустақилликка эришиш оstonасида 2011- йил Ўзбекистон нашрети.

59. И. А. Каримов. Асосий вазифамиз ватанамиз тараққиёти ва халқимиз фаровонлигини янада юксалтиришди 2010-йил.

60. И. А. Каримов. Мамлакатимиз тараққиёти ва халқимиз ҳаёт даражасини юксалтириш – барча демократик янгилашни ва иқтисодий ислохатларимизнинг пировард мақсадидир 2007- йил Ўзбекистон.

