

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019. Т/ФМ.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ МИЛЛИЙ
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

МАМАСОЛИЕВ КАЗОКБОЙ

**АСОСДА ЁТУВЧИ КўП ҚАТЛАМЛИ ПЛИТАЛАРНИНГ ИЧКИ
ЗЎРИҚИШ КУЧЛАРИНИ БАҲОЛАШ УЧУН МАТЕМАТИК МОДЕЛ
ВА АНАЛИТИК ҲИСОБЛАШ УСУЛЛАРИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ФИЗИКА – МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент 2023

**Физика-математика фанлари доктори (DSc) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора (DSc) физико-
математических наук**

**Contents of dissertation abstract of doctor (DSc) of physical-mathematical
sciences**

Мамасолиев Казокбой

Асосда ётувчи кўп қатламли плиталарнинг ички зўриқиш кучларини баҳолаш
учун математик модел ва аналитик ҳисоблаш усуллари3

Мамасолиев Казокбой

Математическая модель и аналитические методы оценки внутренних усилий
многослойных плит, лежащих на основании30

Mamasoliev Kazokboy

Mathematical model and analytical methods for assessing the internal forces of
multilayer slabs lying on the base 57

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works61

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019. Т/ФМ.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ МИЛЛИЙ
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

МАМАСОЛИЕВ КАЗОКБОЙ

**АСОСДА ЁТУВЧИ КўП ҚАТЛАМЛИ ПЛИТАЛАРНИНГ ИЧКИ
ЗЎРИҚИШ КУЧЛАРИНИ БАҲОЛАШ УЧУН МАТЕМАТИК МОДЕЛ
ВА АНАЛИТИК ҲИСОБЛАШ УСУЛЛАРИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ФИЗИКА – МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент 2023

Физика – математика фанлари доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2023.1.DSc/FM211 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация “Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз(резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.insmech.uz) ва “Зиёнет” Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Ширинқулов Тошпўлот Ширинқулович

ЎзР ФА академиги, т.ф.д, профессор

Мирсаидов Мирзиёд Мирсаидович

ЎзР ФА академиги, т.ф.д, профессор.

Расмий оппонентлар:

Б.М.Мардонов

физика-математика фанлари доктори, профессор

Б.Э.Хусанов

физика-математика фанлари доктори, профессор

П.Ж.Маткаримов

техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент архитектура–қурилиш университети

Диссертация ҳимояси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ҳузуридаги DSc 02/30.12.2019.T/FM.61.01 рақамли Илмий кенгашининг 2023 йил «__» _____ соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўчаси, 33, 1-мажлислар зали. Тел: (99871) 262-71-52, Факс: (99871) 262-71-32, e-mail insmech@academy.uz)

Диссертация билан Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ахборот – ресурс марказида танишиш мумкин. (№ _____ рақм билан рўйхатдан ўтган.) (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (99871) 262-71-52)

Диссертация автореферати 2023 йил «__» _____ куни тарқатилди.
(2023 йил «__» _____ даги № _____ рақамли реестер баённомаси)

Р.А Абиров

Илмий даража берувч илмий кенгаш раиси,
ф–м.ф.д, к.и.х

М.К.Усаров

Илмий даража берувч илмий кенгаш котиби,
ф–м.ф.д., проф.

Б.Э.Хусанов

Илмий даража берувч илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси ф–м.ф.д., проф

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда барча қуриладиган бинолар, иншоотлар, аэродром ва бошқа объектларнинг мустаҳкамлигини таъминлаш учун уларнинг грунтли асос билан биргаликда ишлашни ҳисобга олган ҳолда лойиҳалаш ҳамда қуриш устувор талаблардан биридир. Шунинг учун турли эластик асосларда ётувчи кўп қатламли плиталарнинг ички зўриқиш кучларини баҳолашнинг математик моделларини ишлаб чиқиш, аналитик ҳисоблаш усулларини ҳамда такомиллашган ҳисоблаш алгоритминини қуришда дунёнинг кўплаб мамлакатлари, жумладан, АҚШ, Хитой, Россия, Японияда ҳамда бошқа мамлакатларда грунтларнинг статик ва динамик юклар таъсиридаги ҳолатини ўрганишга катта эътибор қаратилган.

Жаҳонда эластик асоснинг бир жинслилиги, бир жинсли бўлмаганлиги, комбинацияланганлиги каби турли хусусиятларини эътиборга олган ҳолда кўп қатламли конструктив қурилмалардаги ички зўриқиш кучларининг талаб даражасида бўлишлигини аналитик усулда баҳолай олиш, ҳозирги куннинг долзарб муаммоларидан биридир. Дунёда кўп қатламли конструктив қурилмаларнинг асос билан ўзаро таъсирини эътиборга олиб, кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини етарли аниқликда баҳолашга имкон берувчи математик модел ва аналитик ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш долзарб масалаларидан бири ҳисобланади.

Республикамизда сейсмик хавфсизликни таъминлашнинг янада такомиллаштириш бўйича муҳим ишлар амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 30 майдаги “Ўзбекистон Республикасининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-144 сонли Фармонида бино ва иншоотлар зилзилабардошлигини таъминлашнинг устувор йўналишлари кўрсатиб ўтилган. 2022–2026 йилларда Янги Ўзбекистонни ривожлантириш стратегиясида иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлиги муаммоларини ҳал этиш бўйича илмий тадқиқотларни янада ривожлантириш вазифаси ҳам белгилаб қўйилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, жумладан қатламли конструктив тузилишга эга қурилмаларнинг асос билан бирга ишлашда иншоот элементларининг ички зўриқиш факторларини асоснинг турли хусусиятларини инобатга олган ҳолда баҳолашни амалга ошириш учун математик модел ҳамда соддалаштирилган аналитик ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017-йил 9 августдаги ПҚ-3190-сонли "Сейсмология, сейсмик чидамли қурилиш ҳамда Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлиги соҳасида илмий тадқиқотлар олиб боришни такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида"ги, 2020-йил 30-июндаги ПҚ-4794-сонли "Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш

тизимини тубдан такомиллаштириш чора тадбирлари тўғрисида"ги ва 2022 йил 30 майдаги ПФ-144-сон Фармони “Ўзбекистон Республикасининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги қарорлари, шунингдек ушбу соҳага оид бошқа маъмурий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларнинг бажарилишини таъминлашда мазкур диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг IV “Математика, механика ва информатика” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи¹. Структуравий тузилишига кўра дискрет ўзгарувчи қатламлардан иборат турли қурилиш конструкция элементлари, шу жумладан қобиклар, пластинкалар ва плиталар бинолар, йўллар, кўприклар, тўғонлар, ер ости иншоатлари қурилишларида ишлатиладиким, улар қурилманинг кўзда тутилган даражадаги ишлаш қобилиятини ошириши ва таъминлаши талаб қилинади. Ушбу қурилмаларнинг ёки қурилма элементларининг ҳисоб ишларида аниқлаштирилган ва такомиллаштирилган усулларни ишлаб чиқишга қаратилган илмий тадқиқотлар бўйича жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, яъни: University of Leeds (Buyuk Britaniya), California Institute of Technology (USA), Southwest Jiatong University (China), Purdue University (USA), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Germany), McGill University (Canada), Shenyang Aerospace University (China), Rensselaer Polytechnic Institute (USA), Chinese University of Science and Technology (China), Dordrecht (Netherlands), Changzhou State University (China), Busan National University (Korea), University of Massachusetts Amherst (USA), Queen’s University, Belfast (Northern Ireland), Петербургский Политехнический университет (Россия), Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова (Россия), Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана (Россия), Институт теоритический и прикладной механики АН Российской Федерации, Институт прикладной математики и механики Национальная АН Украины, Пермский государственный университет, Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти, Ўзбекистон Миллий университети, Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти

¹ Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи, <https://www.dissercat.com/catalog/mekhanika>; <http://www.mathnet.ru>; <http://link.springer.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; www.scholar.google.com; Free axisymmetric vibration of FMG circular plates// Applied Mathematics and Mechenics-2009/ - Volume 30. –Issue 9, -Pp/ 1077-1082; Изгиб двухслойной балки с нежестким контактом между слоями/ ПММ. -2011, Т,75, Вып, 1, -с, 112-121; Изв РАН, МТТ, -2016, №5 –с. 22-35; Изв РАН, МТТ, -2017, №2 –с. 32-45; Angie C. And others. Beams on elastic foundations – A review of railway applications and solutions. Transportation Geotechnics. Volume 33, March 2022, ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

Миллий тадқиқот университети, Самарқанд давлат университети (Ўзбекистон) томонидан амалга оширилиб келинмоқда.

Ҳар хил бошланғич ва чегара шартларда турли геометрик ва механик характерли пластинкаларнинг статик ва динамик кучлар таъсирида эгилиши, шунингдек, тебранишини таҳлил қилиш ва ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш Washington University (USA), Seattle University (USA), Blacksburg University (USA), Parij University (France), Hunan University (China) Darmstadt Institute of mechanics (Germany), Zagreb University (Croatia), университетларида; турли хусусиятларга эга бўлган эластик асосда ётувчи плиталарнинг кучланганлик - деформацияланганлик ҳолатини моделлаштириш, таҳлил қилиш ва ҳисоблаш усулларини янада такомиллаштириш Tongji (China), Shanghai (China), Darmtadi (Germany), МГУ (Россия) университетларида; қатламли пластинкаларни, плиталарни ҳисоблашда даражали қаторларнинг ҳамда ортогональ кўпхадларнинг қўлланилишига асосланган назария ва ҳисоблаш усуллари Poznan University of Life Sciences (Poland), University of Leeds (Buyuk Britaniya) Indian Institute of Technology Bombay (India), University of Massachusetts Amherst (USA), Dordrecht (Netherlands) МГСУ (Россия), С-ПТУ (Россия), БНТУ (Белорус), Ўзбекистон ФА қошидаги Механика ва иншоотларнинг сейсмик мустақамлиги институти, Ўзбекистон Миллий университети, Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти Миллий тадқиқот университети, Самарқанд давлат университети каби илмий тадқиқот марказларида олиб борилмоқда.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикасининг кўплаб масалаларини ўрганиш ва тадқиқ қилишда қаралаётган объектнинг муҳим ҳисобланган параметрларини маълум механик ҳамда математик қонуниятларга асосан назарий таҳлил қилиш билан уларнинг амалий аҳамиятини очиб беришга қаратилган. Қайд этилган масалаларда қатламли конструктив тузилишга эга қурилмаларнинг асос билан бирга ишлашда қурилма элементларининг ички зўриқиш факторларини асоснинг турли хусусиятларини инобатга олган ҳолда баҳолашни амалга ошириш учун математик модел ҳамда содалаштирилган аналитик ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш бугунги куннинг долзарб муаммолардан ҳисобланади.

Грунтли асослар билан ўзаро таъсирда бўлган турли иншоотларнинг мустақамлигини баҳолаш ишлари ҳозирги давр талаби бўлиб қолди. Бу соҳадаги кенг қамровли илмий тадқиқот ишларини амалга оширган олимлардан М.Т.Ўразбаев, Т.Р.Рашидов, Т.Ш.Ширинкулов, Ё.Н.Мубараков, Т.Б.Бўриев, М.М.Мирсаидов, К.С.Султанов, Г.Н.Ҳожметов, З.Г.Тер-Матросян, Б.М.Мардонов, И.М.Мирзаев, З.С.Сирождидинов, Б.Х.Хусанов, Н.А.Ситович, Ю.К.Зарецкий, С.С.Вялов ва бошқаларни кўрсатиш мумкин.

Қаттиқ жисм билан ташқи муҳитнинг ўзаро таъсирида бўлган системалар механикасининг статик ва динамик масалаларини моделлаштириш жараёнига қаратилган илмий изланишлар олиб борган ва

олиб бораётган олимлардан А.А.Ржаницин, Ү.Токочу, Ма Chizu-Ching, А.З.Хасанов, В.Б.Флорин, Я.Штаерман, Й.Н.Работнов, Г.К.Клейн, Б.Н.Баршевский, Б.И.Крилов, А.А.Абдусаттаров, А.Б.Ахмедов, Р.Ш.Индаминов ва бошқаларнинг ишларини кўрсатиш мумкин.

Эластик пластинка ва плиталарнинг эгилиши ҳамда тебранишига оид масалаларнинг турли чегара шартларда уларнинг муҳим механик ҳамда геометрик параметрларини ҳисобга олиш билан амалга оширилган илмий изланишлар билан Ф.Б.Бадалов, Т.М.Мавлонов, Б.М.Марданов, Х.Х.Худойназаров, А.Х.Холжигитов, М.К.Ўсаров, К.Исмайлов, О.А.Егоривеч, И.Г.Филлипов, E.Gorera, Е.Б.Алтухов, I.Lewinski, A.B.Kudin, A.N.Sofiyev, Б.М.Сеймон, L.N.Donnet ва бошқалар шуғилланишган.

Бир қатламли ва кўп қатламли пластинка ва плиталарнинг асос билан муносабатига доир контакт масалаларда ички зўриқишларни баҳолашга оид илмий, тадқиқот ишлари Г.Я.Попов, В.М.Сеймов, Т.Ш.Ширинкулов, М.М.Мирсаидов, И.А.Симвулиди, И.А.Ржаницин, В.З.Власов, Н.Н. Леонтев, Й.И.Новичков, И.Г.Филлипов, J.Takekova, J.Awrejeewisd, Р.А.Абдураимов, Б.Е.Хусанов, Б.И.Крилов, И.И.Сафаров ва бошқаларга тегишли.

Кейинги бир неча ўн йилликлар ичида эластик асосда ётувчи қатламли конструкцияларнинг асос билан биргаликда ишлашида муҳим аҳамиятга молик параметрларини баҳолашга қаратилган назарий ишланмаларни яратиш асосий тадқиқот йўналишларидан бири ҳисобланади. Қайд этилган йўналиш бўйича Г.Я.Попов, Т.Ш.Ширинкулов, М.М.Мирсаидов ва уларнинг ўқувчилари томонидан эластик асоснинг бир жинслилиги, бир жинсли бўлмаганлиги, комбинацияланганлиги каби турли хусусиятларини инобатга олган ҳолда унинг чўкишини аниқлашга хизмат қиладиган математик моделлар ва мос усуллар ишлаб чиқилган.

Эластик асосда ётувчи қатламли плиталарнинг ички зўриқиш кучларини ташқи кучларга боғлаган ҳолда текшириш ва баҳолаш, бундай конструкцияларнинг кутиладиган даражада ишлашини таъминлаш имкониятларини беради. Бу соҳада кўплаб амалда қўлланилаётган илмий тадқиқот ишлар мавжудлигига қарамасдан изланиш натижаларини янада мукамаллаштиришга эҳтиёж пайдо бўлмоқда.

Шунинг учун, мазкур диссертация тадқиқоти эластик асос билан контакт муносабатдаги кўп қатламли плиталарга доир масалаларни ечиш учун плита ва тўлдирувчи қатламларнинг дискрет ўзгарувчи бикирликларини инобатга олган ҳоллар учун математик модел ишлаб чиқишга бағишланган. Тадқиқотда ишлаб чиқилган моделга мувофиқ асоснинг бир жинслилиги, бир жинслимаслиги, комбинацияланганлиги каби турли хусусиятларига мос классик ортогонал кўпҳадларнинг қўлланилишига асосланган аналитик ҳисоблаш усуллари ва уларни амалга ошириш алгоритмлари ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган усулларнинг амалий масалаларни ечиш, натижаларини эса амалётда қўллаш мумкинлиги кўрсатилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган муассасасининг илмий-тадқиқор ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислар институти, Миллий тадқиқот унверситетидаги Ўзбекистон Республикасининг 2021-2026 йилларга мўлжалланган №ФЗ-20200929327-сонли “Грунтли тўғонлар мустаҳкамлигининг ишончли технологияси ва назариясини грунтнинг чизиқлимас филтирланиши ва намлигини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқиш” мавзусидаги Фундаментал гранти ва давлат буюджетидаги 2021-2023 йилларга мўлжалланган “Грунтли иншоотлар мустаҳкамлиги ва динамикасини материалнинг чизиқлимас деформацияланишини инаботга олган ҳолда ҳисоблашнинг истиқболли усуллари ишлаб чиқиш” ҳамда Мирзо Улуғбек номидаги Самарқанд давлат архитектура-қурилиш университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг “Суюқлик, газ ва плазма ҳамда диформацияланувчан қаттиқ жисм механикасининг дозарб муаммолари” мавзусидаги тадқиқот ишлари доирасида бажарилган.

Тадқиқот мақсади. Эластик асосда ётувчи кўп қатламли плиталарнинг эгилишига доир масалаларнинг математик моделларини ишлаб чиқиш ва ечиш усуллари тақомиллаштириш; масалаларни ечиш учун аналитик усулларни ишлаб чиқиш; масалани ечишда оддий ортогонал кўпҳадларни тадбиқ қилиш билан плиталардаги ички зўриқиш кучларини баҳолаш; плиталар орасидаги тўлдирувчи қатламнинг плиталардаги зўриқишларга таъсирини таҳлил қилиш; эластик асоснинг бир жинслилиги, бир жинсли бўлмаганлиги, комбинацияланганлиги каби турли хусусиятларининг плиталарга таъсирини аниқлаш; асоснинг реактив кучланишлари билан плиталардаги зўриқиш кучлалари орасидаги боғланишларни таҳлил қилиш ва баҳолашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ташқи куч таъсирида эгилувчи кўп қатламли плиталар билан эластик асос орасидаги муносабатга доир контакт масалаларнинг математик моделини ишлаб чиқиш;

асосининг бир жинслилиги, бир жинсли бўлмаганлиги, комбинацияланганлиги каби характерли хусусиятларини инаботга олиб классик ортогонал кўпҳадларга асосланган аналитик ҳисоблаш усуллари яратиш;

ишлаб чиқилган математик модел ва ечиш усулини қаралаётган масалаларни ечишда қўллаш мумкин эканлигини асослаш;

асосининг қайд этилган характерли хусусиятларининг плиталардаги ички зўриқиш кучларига таъсирини аниқлаш;

плиталар орасидаги тўлдирувчи қатламларнинг ва асоси реактив босимларининг плиталардаги ички зўриқиш кучларига таъсирини баҳолаш;

ишлаб чиқилган усулга мувофиқ ҳисоблаш ишлари учун мукаммаллаштирилган аналитик ҳисоблаш алгоритминини яратиш;

тадқиқот ишларининг натижаларига мувофиқ хулоса ва тавсияларини олиш ва ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти сифатида ҳар хил статик юкланган ва турли механик хусусиятли кўп қатламли плиталар билан эластик ярим фаза муносабатига доир масалаларнинг назарий текширилиши ҳисобланади.

Тадқиқот предмети. Ҳар иккисининг орасида тўлдирувчи қатлам бўлган бир нечта плиталарнинг эластик асос билан икки томонлама ўзаро таъсирини ҳар хил статик юкланишлар ва турли механик ва геометрик параметрларни ҳисобга олган ҳолда текширишни ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Эластиклик назариясининг умумий тартибдаги қонунларига асосланган ҳолда қаралаётган масалалар кўчишга доир интегро-дифференциал тенгламаларнинг ёпиқ системасига келтирилган. Эластик асоснинг чўкишини аниқлашдаги интеграл тенгламадаги ядро ортаганал кўпҳадларнинг қаторига тарқатилган. Асоснинг реактив кучланишлари номаълум коэффицентли ортогонал кўпҳадларнинг қатори кўринишида қабул қилинган. Масала чексиз алгебраик тенгламалар системасини ечишга келтирилган. Чексиз алгебраик тенгламалар системасининг регулярилик кўрсатилиб, редукция усулида ечилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

грунтлар билан ўзаро таъсирда бўлган кўп қатламли плиталар эгилишида ҳосил бўладиган ички зўриқиш кучларини грунтларнинг бир жинсли, бир жинсли бўлмаган ва комбинациялашган хусусиятларини эътиборга олиб баҳолаш учун математик модель ишлаб чиқилган;

грунтлар билан ўзаро таъсирда бўлган кўп қатламли плиталар эгилишида ҳосил бўладиган ички зўриқиш кучларини грунтларнинг турли хусусиятларини эътиборга олган ҳолда баҳолаш учун ортогонал кўпҳадларга асосланган янги аналитик усул ва алгоритм ишлаб чиқилган;

эгилиш жараёнида плиталарда содир бўладиган ички куч факторларини баҳолаш учун яратилган аналитик усул ва келтириб чиқарилган чексиз алгебраик тенгламалар системасининг ягона ва мавжудлиги кўрсатилган;

кўп қатламли плита ва грунтли асос орасидаги уринма кучланишни эътиборга олган ҳолда плиталарда ҳосил бўладиган ички кучларни баҳолаш учун Якоби ва Гегенбауэр кўпҳадларига асосланган янги формула ишлаб чиқилган;

грунтли асос билан ўзаро таъсирда бўлган кўп қатламли плитали конструкция элементларида ҳосил бўладиган ички зўриқиш кучларини баҳолаш усули ишлаб чиқилган;

тўлдирувчининг бикрлик коэффиценти ошиши бир жинсли бўлмаган асосларда ётувчи плиталардаги ички зўриқиш кучларини камайтириши ва асосдаги реактив кучларнинг қайта тақсимланишига олиб келиши аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси:

Плиталарнинг бикирлик коэффицентлари дискрет ўзгарувчан бўлган ҳол учун уларнинг эгилишини аниқловчи дифференциал тенгламалар системаси олиниб, системанинг аналитик кўринишдаги умумий ечимлари аниқланган;

турли хусусиятли асоснинг плиталардаги ички зўриқиш кучларига таъсирини аниқловчи формулалар ва ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

эластик асоснинг ҳар хил хусусиятларига мос ҳолда тўлдирувчи қатламнинг плиталарга таъсири баҳоланган;

асоснинг бир жинслилик, бир жинсли бўлмаганлик ва комбинациялашганлик хусусиятларига мос келувчи реактив кучланишларнинг тарқалиш қонуниятлари классик ортогонал кўпҳадлар ёрдамида аниқланган;

лойиҳа - ҳисоб ишларини бажариш учун мукамаллаштирилган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

ҳисоб ишларида ҳисобланаётган номаълум миқдорнинг аниқлигини таъминлаш учун лозим бўлган сонли чекланиш миқдорлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Замонавий бино ва иншоотларни лойиҳалаш ва қуриш жараёнидаги амалий эҳтиёжларни инаботга олиш асосида шакллантирилган масалалар ечимларининг тўғрилиги қатъий математик усуллар ёрдамида исботланган. Масалани ечиш учун тақдим этилган интегро-дифференциал тенгламалар системаси ва уларнинг аналитик ечимларининг ишончлилиги, систематик текширишлар, бошқа ўхшаш тадқиқотлар натижалари билан, хусусан Т.Ш.Ширинкулов, В.М.Сеймов, Г.Я. Поповларнинг назарлари ва назария асосида олинган натижалари билан таққосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти:

Грунтлар билан ўзаро таъсирда бўлган кўп қатламли плиталар эгилишида ҳосил бўладиган ички зўриқиш кучларини грунтларнинг бир жинсли, бир жинсли бўлмаган ва комбинациялашган хусусиятларини эътиборга олиб баҳолаш учун математик модель, ишлаб чиқилган янги аналитик усул ва олинган янги формула, ташқи муҳит билан ўзаро таъсирда бўлган конструкция элементларида ҳосил бўладиган зўриқиш кучларини ва мустақамликни баҳолаш асоси яратилган;

Ишлаб чиқилган усул, келгусида деформацияланувчи қаттик жисм механикаси масалалари бўйича кўпҳадларга асосланган аналитик усулларни ишлаб чиқишда асос бўлиб хизмат килади;

Олинган илмий натижалар плиталарнинг ҳар хил хусусиятга эга бўлган асос билан ўзаро таъсирга оид бўлган амалий масалаларни ечишда ҳосил буладиган ички кучларни баҳолашда асос бўлиб хизмат килади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти:

Ўзаро таъсирда бўлган кўп қатламли плиталар ва турли хусусиятга эга бўлган асосли конструкцияларда статик кучлар таъсирида ҳосил бўладиган ички зўриқиш куч факторларини баҳолаш имкониятини берадиган математик

модель, аналитик ҳисоблаш усули ва инженерик ишларини бажаришда ишлатиш имкониятини берадиган формулалар яратилган.

Статик кучлар таъсирида кўп қатламли плитали конструкция элементларида турли грунтли асос билан узаро таъсири натижасида ҳосил бўладиган жараёнларни олдиндан айтиб бериш имкониятини бериб, янги механик натижаларни ҳосил бўладиган ички кучларни қандай яхши томонга ўзгартириш мумкинлиги кўрсатиш имкониятини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Қаттиқ жисмлардан ташкил топган қатламли конструкцияларнинг асос билан контакт муносабатига доир назарияни ривожлантириш бўйича ишлаб чиқилган математик модел, ҳисоблаш усулларининг такомиллаштирилган алгоритмларини қўллаш асосида:

Плиталар орасида жойлашган тўлдирувчи қатлам ҳамда грунтли асос турли хусусиятларининг плиталардаги ички зўриқиш кучларига таъсирини аниқлаш усули кўп қаватли биноларни лойиҳалашда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш ва уй-жой коммунал хўжалиги вазирлигининг 2023 йил 24 августдаги, 08-06/8408-сонли маълумотномаси). Тадқиқот натижаларидан фойдаланишпойдевор плиталаридаги ички зўриқиш кучларини 1.23 марта камайтиришга эришилган;

эластик асосда ётувчи кўп қатламли плиталарининг эгилишига доир контакт масалаларни ечиш учун ишлаб чиқилган Якоби кўпҳадини Гегенбауэр кўпҳадлари билан боғловчи формуладан аналитик ечим олишда фойдланилган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш ва уй-жой коммунал хўжалиги вазирлигининг 2023 йил 24 августдаги, 08-06/8408-сонли маълумотномаси). Тадқиқот натижалари ултрасферик кўпҳаднинг 3 та қўшилувчиси билан ҳисоблашда сонли ечимни 10^{-2} аниқликда куришимконини берган.

Диссертация ишининг илмий-назарий ва амалий хулосалари асосида “70730304 – Қурилиш конструкциялари, махсус жиҳозлар ва муҳандислик тизимлари монтажи” магистратура мутахассислигининг “Қурилиш конструкцияларини ҳисоблаш ва тадқиқ этишда математик моделлаштириш” фани дастурини ишлаб чиқишда фойдаланилган. (Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлигининг 2023 йил 8 февралдаги, 02/01-01-17- сонли маълумотномаси). Натижада янги ишлаб чиқилган фан дастуридан магистратура босқичи талабаларига “Қурилиш конструкцияларини ҳисоблаш ва тадқиқ этишда математик моделлаштириш” фанини ўргатишда университетлар миқёсида қўлланилган.

Тадқиқод натижалари курилаётган кўп қаватли турар жой биноларини лойиҳалаш ва куриш жараёнида ҳисоблаш натижаларини янада аниқроқ олиш имконини берди. (Маълумотнома “O‘ZSHAHARSOZLIK LITI” DUK(2023 йил 21 август)). Натижада бионинг грунтли асосга мос

жойлашадиган ўрни учун дастлабки техник ишлов бериш жараёнида сарфланган вақтни 7 % гача, сарфланган сармояни эса 6 % гача тежаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси.

Мазкур илмий тадқиқот ишининг натижалари 5 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида, Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислар институт Миллий тадқиқот унверситети “Назарий ва қурилиш механикаси” кафедраси қошидаги “Механика муаммолари” бўйича ОТМ Республика илмий семинарида (2022 йил, 14 май, баённома №5.), Ўз.Р. ФА қошидаги М.Т.Ўрозбоев номидаги М ва ИСМИ даги “Конструкция ва иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлиги” бирлашган илмий семинарида (2022 йил, 28 сентябрь, баённома №14) маъруза қилинган ва муҳокамасидан ўтган.

Тадқиқотнинг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 26 та илмий иш чоп этилган бўлиб улардан 2 таси монография, 16 таси илмий мақола, 1 таси интеллектуал мулк ҳуқуқи гувоҳномаси, 7 таси халқаро ва республика миқёсидаги илмий-амалий конференция ҳамда семинарларнинг материаллари тўпломларида чоп этилган. Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги қошидаги ОАКнинг фан доктори (DSc) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 14 та мақола, шулардан 4 таси хорижий, 10 таси республика миқёсидаги нашрларда чоп этилган. 2 та илмий мақола халқаро илмий-тадқиқот конкурсларининг илмий мақолалар тўпламларида чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, 5 та боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар руйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 196 бетни ташкил қилади.

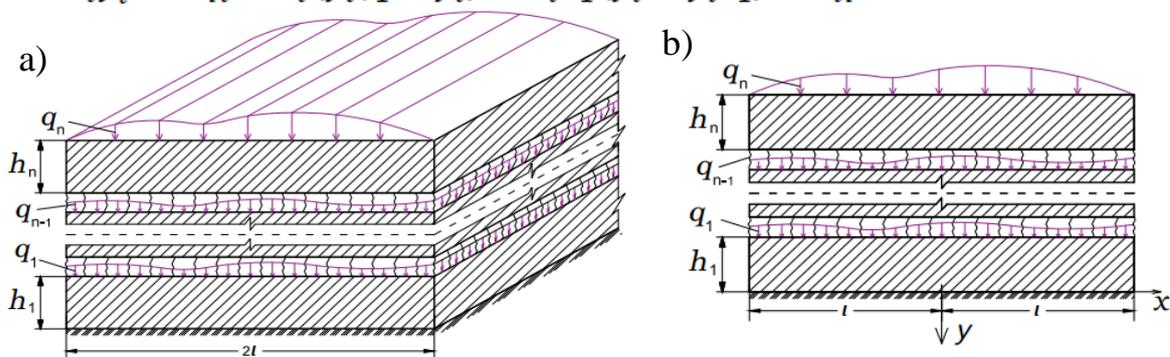
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертация ишининг кириш қисмида дастлаб илмий тадқиқот мавзусининг долзарблиги ва зарурати тўғрисидаги маълумотлар келтирилган. Шундан сўнг, тадқиқотнинг мақсади, ечими топилиши лозим бўлган асосий муаммолар баён қилинган. Мавзу бўйича қаралган масалаларнинг ечилиш усуллари, химояга олиб чиқиладиган асосий янгиликлари тавсифланган ва санаб ўтилган. Ишда олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти ҳамда жорий қилинганлиги, шунингдек апробацияси, матбуотда эълон қилинганлиги, тузилиши ва ҳажми баён этилган.

Диссертациянинг “Кўп қатламли плиталарнинг бир жинсли асос билан бирга деформацияланишининг математик модели ва ички кучларни аниқлаш усули” деб номланган биринчи боби бешта параграфдан иборат. Бобнинг биринчи параграфида девормацияланувчи грунтли асос билан ўзаро контактда бўлган қурилмалардаги ички кучларни баҳолаш усуллари оид илмий тадқиқот ишларининг қисқача таҳлилий шарҳи келтирилган.

Иккинчи параграф масаланинг қўйилиши ва математик моделлаштиришга бағишланган. Унда эластик асосда ётувчи, ораларида эластик тўлдирувчи қўйилган, устма-уст жойлашувчи n та полоса-плита (1-расм, а) ва балка-плита (1-расм, б) ларнинг ҳисобланиш схемасига мувофиқ балка-плиталарнинг y_i эгилишини ифодаловчи

$$D_i y_i^{IV} = q_i + k_i(y_{i+1} - y_i) - k_{i-1}(y_i - y_{i-1}) - \delta_i p, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$



1-расм. Устма-уст жойлашувчи n та а) полоса-плитани, б) балка-плитани ҳисоблаш схемаси.

дифференциал тенгламалар системаси келтирилган. Бу ерда D_i, k_i – мос равишда плита ва тўлдирувчи қатламларнинг дискрет ўзгармас бикирлик коэффициентлари; q_i - координатадан боғлиқ ўзгарувчи ташқи куч; p - эластик асоснинг нормал реактив кучланиши;

$$k_n = k_0 = 0; \quad \delta_i = 1, \text{ агар } i = 1; \quad \delta_i = 0, \quad \text{агар } i \neq 1 \text{ бўлса.} \quad (2)$$

Эластик асоснинг V чўкишини аниқловчи

$$V = \alpha \int_{-l}^l p(s) \ln \frac{1}{|x - s|} ds, \quad \alpha = const \quad (3)$$

интеграл тенглама ва асос билан икки томонлама контакт муносабатдаги балка-плитанинг контакт шартлари

$$y_i(x) = V(x), \quad -l \leq x \leq l \quad (4)$$

кўринишда олинган. Келтирилган (1), (3), (4) тенгликлар қаралаётган масалани ечувчи асосий интегро-дифференциал тенгламалар системасини ташкил қилади. Биринчи бобнинг учинчи параграфидида масаланинг номаълумларини аниқлшга қаратилган асосий интегро-дифференциал тенгламалар системасининг умумий ечимларини олиш усули кўрсатилган. Таклиф қилинган усул асоснинг номаълум реактив кучланишини Чебишевнинг номаълум коэффициентли кўпхадларининг қатори кўринишида кидиришга асосланган. Шу асосда масала номаълум коэффициентларга нисбатан чексиз алгебраик тенгламалар системасини таҳлил қилишга келтирилиши кўрсатилган.

Биринчи бобнинг тўртинчи параграфи масалани ечиш усулининг асосланишига бағишланган. Соддалик учун икки қатламли балка-плитага доир масала ихтиёрий, ҳеч бўлмаганда бўлакли узлуксиз, функционал конуниятли ташқи кучлар учун умумий ҳолда ечилиб,

$$a_n + \sum_{n=0}^{\infty} a_n A_n = \alpha \frac{A_k}{2n}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (5)$$

кўринишдаги A_n - номаълум коэффициентларга нисбатан чексиз алгебраик тенгламалар системаси ҳосил қилинган. Бу системадаги маълум $a_n, a_{n,k}$ - коэффициентлар учун қуйидаги

$$|a_n| < \infty; \quad \sum_{n=0}^{\infty} a_{n,k} = S_n < 1, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

шартларнинг бажарилиши математик исботланган. Исботланган (6) кўринишдаги баҳоланишлар уларга мос (5) чексиз алгебраик тенгламалар системасининг регуляр эканлигини билдиради. Бу эса чексиз алгебраик тенгламалар системаси (5) ягона яқинлашувчи ечимга эга эканлигини ва демак қаралаётган масаланинг корректлигини, ишлатилган усул билан яқинлашувчи ечимни керакли аниқликда топиш мумкинлигини тасдиқлайди.

Биринчи бобнинг бешинчи параграфида узлуксиз текис тақсимланган куч билан юкланган икки қатламли балка-плитанинг асос билан узлуксиз контакт муносабатига доир масала шунингдек сонли мисол ечиб кўрсатилган. Бу ерда плиталарнинг симметрия марказида ва четки нуқталарида мос равишда қуйидаги

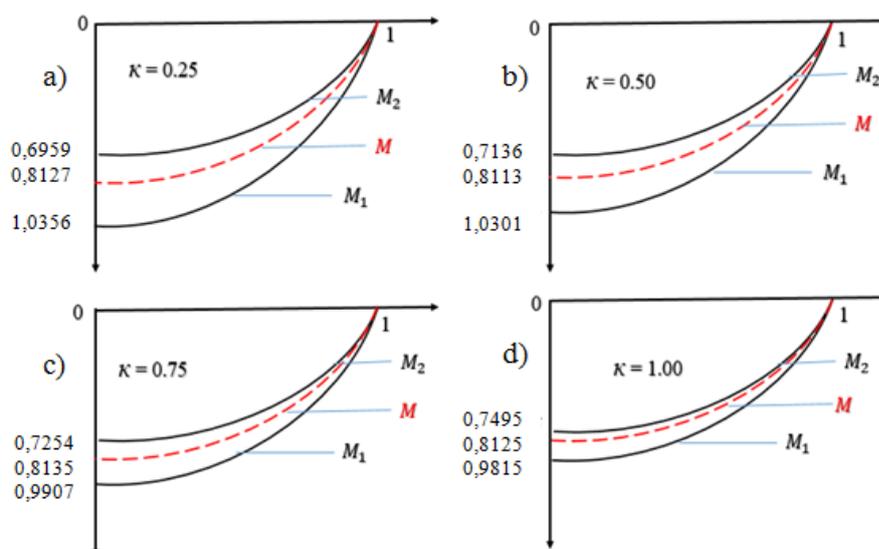
$$y'_i = 0, y_i''' = 0 \text{ ва } y_i'' = 0, y_i''' = 0, \quad i = 1, 2 \quad (7)$$

чегара шартларини қаноатлантирувчи хусусий ечимлари топилган. Келтирилган (5) кўринишдаги системанинг қайд этилган шартларига мос a_k , ва $a_{n,k}$ коэффициентлари аниқланган. Регуляр системани редукция усулида ечиш тартибига мувофиқ системанинг дастлабки бешта номаълумга нисбатан дастлабки бешта тенгламалар системаси ажратиб олинган. Ажратиб олинган системанинг плиталар ҳамда асоснинг қуйидаги геометрик ва механик

$$l = 500\text{см}; \quad h_1 = h_2 = 45\text{см}; \quad \nu_1 = \nu_2 = 0.167; \\ E_1 = E_2 = 1.25 \cdot 10^5 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2}; \quad \nu_0 = 0.3; \quad E_0 = 5 \cdot 10^2 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2} \quad (8)$$

параметрларига мос ечимларини тўлдирувчи қатлам бикирлик $k(kg/sm^3)$ коэффициентининг турли $0.25; 0.50; 0.75; 1.00; 1.25$ қийматларига мос ечимлари ҳисоблаб топилган.

Системанинг топилган ечимларига мос келувчи биринчи M_1 , иккинчи M_2 ва таққослаш учун битта M балка-плиталар эгувчи моментларининг графиклари 2- расмлар кўринишида келтирилган.



2-расм. Тўлдирувчи қатлам бикирлик коэффициентининг турли қийматларига мос келувчи балка-плиталар эғувчи моментларининг графиклари.

Қаралган масалага мос сонли мисол натижаларига асосан бир жинсли асосда ётувчи кўп қатламли плиталарнинг ички зўриқиш кучлари, тўлдирувчи қатламнинг бикирлиги ошиши билан, бир-бирига микдор жиҳатдан яқинлашиши каби характерли хулосалар олинган. Ҳисоблаш натижалари 1-жадвал кўринишида келтирилган.

1-Жадвал

Алгебраик тенгламалар системаси ечимларининг сон қийматлари

$k(kg/sm^3)$	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
A_0/q	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239
A_2/q	-0,299585	-0.300485	-0.300577	-0.300619	-0.300673
A_4/q	-0.003142	-0.003198	-0.003213	-0.003345	-0.003471
A_6/q	0.000273	0.000265	0.000269	0.000271	0.000289
A_8/q	0.000067	0.000069	0.000072	0.000074	0.000081

Диссертациянинг иккинчи боби “Асосда ётувчи кўп қатламли плиталардаги ички кучларни асос билан плита орасидаги урунма кучланиш ҳисобга олинган ҳолда баҳолаш” деб номланади. Бу бобда эластик асос билан икки томонлама узлуксиз контакт муносабатга энг қуйида жойлашган плита билан асос орасидаги нормал кучланишдан ташқари урунма кучланиш ҳам мавжуд деб қаралади. Ушбу урунма кучланишнинг плиталардаги ички зўриқиш факторларига таъсири текширилиб тегишли хулосалар олинган.

Иккинчи бобнинг биринчи параграфи масаланинг қўйилиши ва математик моделлаштирилишига бағишланган. Келтирилган 1- расмдаги ҳисоблаш схемалари ҳамда белгилашлардан фойдаланилган. Шунинг учун масалани ечувчи асосий тенгламалар:

балка-плиталарнинг вертикал y_i ва горизонтал u_τ кўчишларини аниқловчи дифференциал тенгламалар системаси

$$D_i y_i^{IV} = q_i + k_i(y_{i+1} - y_i) - k_{i-1}(y_i - y_{i-1}) - \delta_i(p + 0.5h_1\tau'), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

$$u_\tau = \alpha_3 \int_0^x \int_0^x \tau(s) ds + B_1 x + B_2 - 0.5h_1 y_1'; \quad (10)$$

асос нуқталарининг вертикал V , горизонтал U кўчишини аниқловчи интеграл тенгламалар системаси

$$V = \alpha_1 \int_{-l}^l p(s) \ln \frac{1}{|x-s|} ds + \alpha_2 \int_{-l}^l \text{sign}(x-s) \tau(s) ds; \quad (11)$$

$$U = \alpha_1 \int_{-l}^l \tau(s) \ln \frac{1}{|x-s|} ds + \alpha_2 \int_{-l}^l \text{sign}(x-s) p(s) ds; \quad (12)$$

асос билан балка-плитанинг ўзаро контакт шартлари

$$y_{1(x)} = V(x); \quad u_{\tau(x)} = U(x), \quad -l \leq x \leq l \quad (13)$$

кўринишларда берилган. Масалани ечувчи келтирилган ушбу интегро-дифференциал тенгламалар тенгламаларнинг ёпиқ системасини ташкил қилади.

Иккинчи бобнинг иккинчи параграфида қаралаётган масаладаги номаълумларни аниқлаш усули келтирилган. Эластик асоснинг қидирилаётган нормал ҳамда уринма кучланишларини номалум коэффицентли Чебишев кўпхадларининг қатори кўринишида излаш усули қўлланилган.

Усулга мувофиқ масаланинг барча номалумлари иккита номалум коэффицентли қаторлар орқали ифодаланади. Бу номалум коэффицентларни топиш учун ўзаро боғлиқ иккита чексиз алгебраик тенгламалар системаси ҳосил қилинади. Соддалик учун иккита балка-плиталар учун номаълум A_n, B_n коэффицентларга нисбатан қуйидаги кўринишда бўлган

$$a_{1,k} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{1,n,k} A_n + b_{1,n,k} B_n) = \pi^2 \alpha_1^2 \frac{A_k}{2k}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (14)$$

$$a_{2,k} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{2,n,k} A_n + b_{2,n,k} B_n) = \pi^2 \alpha_1^2 \frac{B_k}{2k}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (15)$$

чексиз алгебраик тенгламалар системаси ҳосил қилинади. Бу ерда $a_{i,k}, a_{i,n,k}, b_{i,n,k}, i = 1, 2$ – малум коэффицентлар.

Иккинчи бобнинг учинчи параграфида ишлатилган усулнинг математик асосланиши амалга оширилган. Бунинг учун (13) системанинг регуляригини тасдиқловчи қуйидаги тенгсизликлар олинган

$$|a_{1,k}| \leq \frac{a_1}{2k} p_{k-1}; \quad |a_{2,k}| \leq \frac{a_2}{2k} p_{k-1}; \quad S_k = \sum_{n=0}^{\infty} (|a_{1,n,k}| + |a_{2,n,k}| + |b_{1,n,k}| + |b_{2,n,k}|) \leq \left\{ l^4 (D_1 + D_2)^{-1} \left[\sum_{n=3}^{\infty} p_{n-3} + D_2 l^{-4} u (3 + 0.5 h_1 l^{-1}) \sum_{n=2}^{\infty} p_{n-2} \right] + [\alpha + 0.5 h_1 l^3 (D_1 + D_2)^{-1} + D_2 l^{-4} u] \sum_{n=1}^{\infty} p_{n-1} \right\} p_{k-1}; \quad (16)$$

шунингдек,

$$|a_{1,k}| \rightarrow 0, \quad |a_{2,k}| \rightarrow 0, \quad S_k \rightarrow 0, \quad \text{агар } k \rightarrow \infty. \quad (17)$$

Бу ерда a_1, a_2, u – ўзгармаслар; p_k – Якоби кўпхаднинг нормаси.

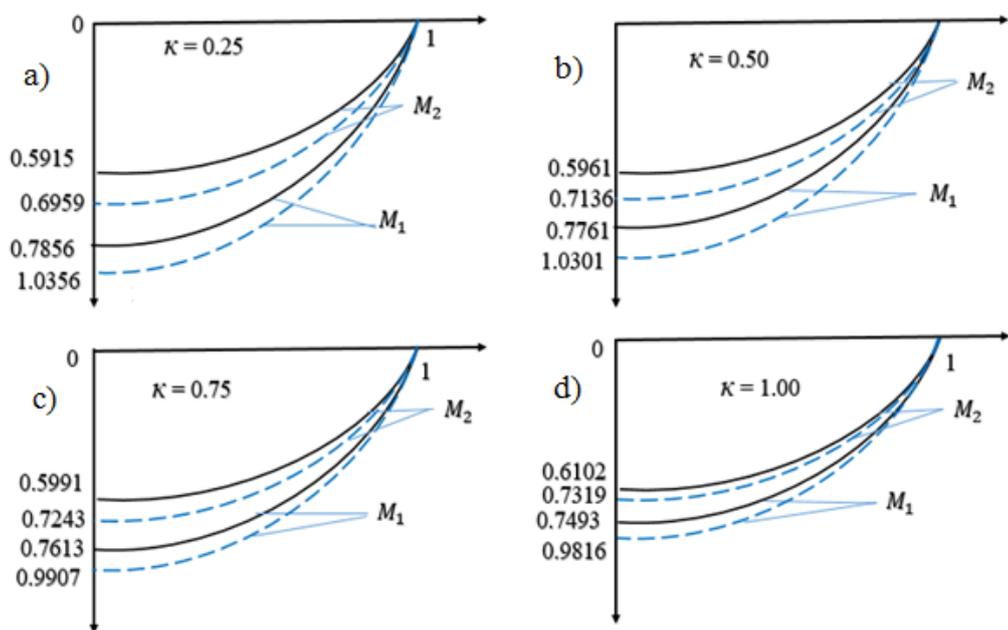
Иккинчи бобнинг тўртинчи параграфида текис узлуксиз тақсимланган ташқи куч таъсиридаги икки қатламли балка-плита билан эластик асоснинг асосдаги уринма кучланиши ҳисобга олингандаги масала (7) кўринишдаги чегара шартларда ечилган. Ечилган масалага мос чексиз алгебраик тенгламалар системаси ечимларига мувофиқ, плиталардаги ички зўриқиш кучларини миқдорий текшириш ва баҳолаш учун (8) кўринишдаги параметрлар бўйича сонли мисол ечиб кўрилган. Сонли мисол натижалари сифатида тўлдирувчининг турли бикирлик коэффициентларига мос келувчи 9 та номалумли алгебраик тенгламаларнинг сонли ечимлари 2-жадвалда келтирилган.

2-Жадвал.

Алгебраик тенгламалар системаси ечимларининг сон қийматлари

$k(kg/sm^3)$	0.25	0.5	0.75	1.00	1.25
A_0/q	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239
A_2/q	-0.308264	-0.306441	-0.304161	-0.302753	-0.301269
A_4/q	-0.041247	-0.040962	-0.037824	-0.033472	-0.031643
A_6/q	0.002193	0.002081	0.001973	0.001746	0.001385
A_8/q	0.0003427	0.0003165	0.0002761	0.0002472	0.0002169
B_1/q	0.817618	0.806977	0.793185	0.784676	0.778634
B_3/q	-0.427618	-0.421738	-0.415627	-0.410698	-0.407164
B_5/q	-0.044363	-0.041764	-0.037954	-0.031761	-0.030118
B_7/q	0.001394	0.001169	0.000875	0.000554	0.000347

3-расмда биринчи M_1 , иккинчи M_2 балка-плиталарнинг эгувчи моментлар учун графиклар келтирилган.



3-расм. Уринма кучланиш ҳисобга олинганда, тўлдирувчи қатлам бикирлик коэффициентининг турли қийматларига мос келувчи балка-плиталар эгувчи моментларининг графиклари.

Графикларда таққослаш учун, узликли чизиклар билан уринма кучланиш ҳисобга олинмаган ҳоллардаги эгувчи моментлар белгиланган.

Боб сўнгида қаралган масала бўйича асосдаги уринма кучланиш ҳамда тўлдирувчи қатламнинг плиталардаги ички зўриқиш факторларга таъсири юзасидан таҳлилий хулосалар берилган.

Диссертациянинг учунчи бобида “Кўп қатламли плиталарнинг комбинациялашган асос билан контакт муносабатларини моделлаштириш” деб номланган мавзудаги масала қаралган. Бу ерда эластик асоснинг мумкин бўлган қўшимча чўкишини инобатга олиш ва унинг қатламли плиталарга таъсири текшириш юзасидан олинган тадқиқот ишлари тўртта параграф орқали келтирилган.

Учинчи бобнинг биринчи параграфи масаланинг қўйилиши ва математик моделлаштирилишига бағишланган. Моделлаштириш жараёнида келтирилган 1- расмларга мос ҳисоблаш схемалари ва уларда ишлатилган белгилашларга асосланиб олинган дифференциал тенгламаларнинг (1) системаси ҳамда контакт шартни ифодаловчи (3) тенглик айнан шундай кўринишда олинган. Эластик асоснинг V чўкишини аниқловчи интеграл тенглама, Штаерман гипотезасига кўра асоснинг чўкишини аниқловчи Гарбинов-Посадов ҳамда Циммерман-Винклер формулаларининг комбинациясидан иборат бўлган, қуйидаги

$$V = \theta \int_{-l}^l p(s) \ln \left(\frac{1}{|x-s|} \right) ds + \lambda p(x) \quad (18)$$

кўринишда олинган. Бу формулада θ, λ – ўзгармаслар бўлиб, улар эластиклик модули, Пуассон коэффисиенти ҳамда сирт структурасидан боғлиқ миқдорлардир. Келтирилган (1), (3), (18), тенгликлар қаралаётган масалани ечувчи асосий тенгламалар системасини ташкил қилади.

Учинчи бобнинг иккинчи параграфида қаралаётган масаланинг номаълумларини аниқлаш усули келтирилган. Бу ерда (18) формуладаги интеграл ядроси учун Чебишевнинг биринчи тур $T_n(x)$ кўпҳадларига асосланган, маълум

$$\ln\left(\frac{1}{|x-s|}\right) = -\ln 2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} T_n(x) T_n(s), \quad x \neq s \quad (19)$$

ёйилмадан фойдаланилган. Ёйилма ҳар бир кўшилувчиси ўзгарувчилар бўйича ажралган ифодани ташкил қилганлиги учун математикадан маълум “ажралган ядро усули” (метод выраждённых ядер) усулидан фойдаланилган. Биринчи марта қўлланилаётган ушбу усулнинг қулайлик томонларини ёритиш мақсадида соддалик учун дастлаб битта, кейин иккита қатламли балка – плиталар билан комбинацияланган эластик асоснинг контакт муносабатига оид масалалар умумий ҳолда ечиб кўрсатилган. Умумий ечимни олишда Фредгольмнинг иккинчи тур интеграл тенгламаларини ажралган ядро усулида ечиш тартиблари ҳамда шартларига тўлиқ амал қилган ҳолда иш юритилган. Натижада масаланинг қидирилаётган асос чўкиши ҳамда реактив кучланиши шунингдек плиталардаги ички зўриқиш кучларини номаълум ўзгармас A_n коэффицентлар орқали ифодалаш мумкинлиги кўрсатилган.

Номаълум A_n коэффицентларни топиш учун (5) кўринишдаги аммо ундан маълум коэффицентлари билан фарқланувчи чексиз алгебраик тенгламалар системаси олинган.

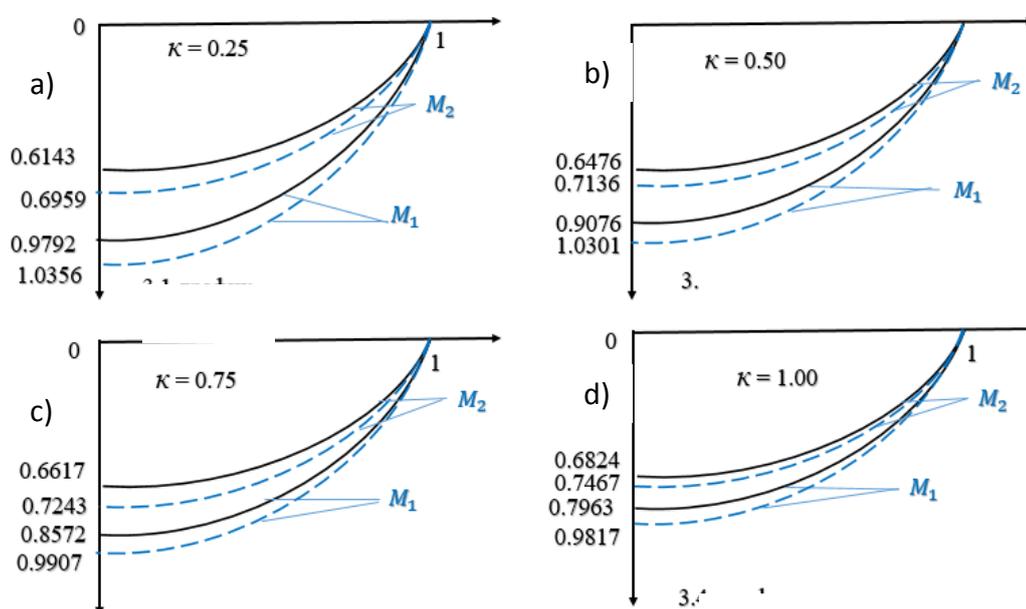
Учинчи бобнинг учинчи параграфида қўлланилган усулнинг асосланиши кўрсатилган. Келтирилган (5) кўринишдаги чексиз алгебраик тенгламалар системасининг регулярилик шартлари текширилган. Текшириш натижасида

$$|a_k| < \infty, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} |a_{n,k}| < \gamma_n \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\gamma_n}{n} < \infty, \quad \gamma_n \rightarrow 0, \quad \text{агар } k \rightarrow \infty \quad (20)$$

баҳолашлар олинган. Олинган баҳолашлар (5) кўринишда келтирилган системанинг регулярилик эканлиги тасдиқлайди.

Учинчи бобнинг тўртинчи параграфида узликсиз текис тақсимланган куч билан юкланган икки қатламли балка – плитанинг комбинацияланган эластик асос билан муносабатига оид масала (7) кўринишдаги чегара шартларда ечиб кўрсатилган. Олинган ечимларни сонли таҳлил қилиш мақсадида тўлдирувчи қатламнинг турли қийматлари ва асоснинг $\lambda = 0,2 \text{ см}^3/\text{кг}$ параметрли хусусияти ҳамда (8) кўринишдаги қийматларига мос сонли мисол ечиб кўрсатилган.

4-расмда биринчи M_1 ва иккинчи M_2 балка – плиталарнинг эгувчи моментлари учун графиклар κ коэффициентнинг $\kappa=0,25; 0,50; 0,75$ ҳамда 1.00 га тенг қийматлари учун келтирилган. Графикларда таққослаш учун узлукли чизиқ билан комбинацияланмаган асосга мос графиклар белгиланган.



4-расм. Тўлдирувчи қатлам бикирлик коэффициентининг турли қийматларига мос келувчи балка-плиталар эгувчи моментларининг графиклари.

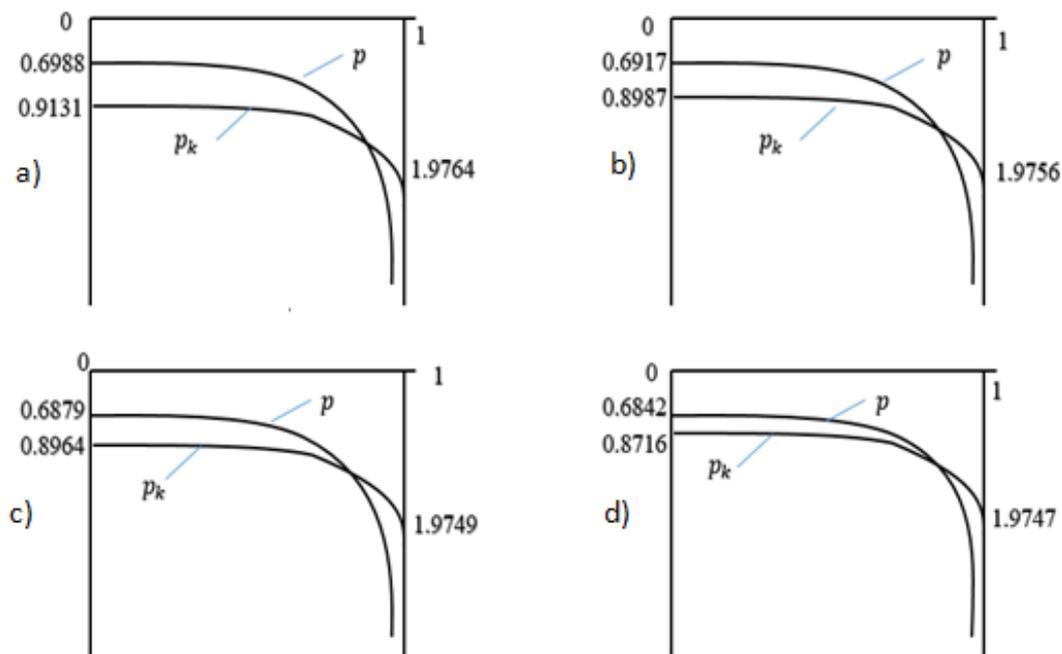
Сонли мисол натижалари (5) кўринишдаги системанинг редукция усулига асосланган дастлабки учта ечимларининг сонли ечимлари 3-жадвалда келтирилган.

3-Жадвал

Алгебраик тенгламалар системаси дастлабки учта ечимларининг сонли ечимлари

λ	k	A_0	A_2	A_4
0.2	0.25	$8,2473 \cdot 10^{-1}$	$-1,3961 \cdot 10^{-3}$	$9,8319 \cdot 10^{-5}$
0.2	0,75	$7,8601 \cdot 10^{-1}$	$-1,3165 \cdot 10^{-3}$	$9,5711 \cdot 10^{-5}$
0.2	1,25	$7,5749 \cdot 10^{-1}$	$-1,2774 \cdot 10^{-3}$	$9,2976 \cdot 10^{-5}$

Асоснинг нормал кучланишлари учун келтирилган (5-расмлар) графикларда p ва p_k орқали мос равишда комбинацияланмаган ва комбинациялашган асос кучланишлари белгиланган. Боб сўнгида ушбу бобда ечилган масалаларга оид таҳлилий хулосалар ёзилган.



5-расм. Асос реактив босимларининг графиклари.

Диссертациянинг “Бир жинсли бўлмаган асосда жойлашган кўп қатламли плиталардаги ички кучларни баҳолаш” деб номланувчи тўртинчи бобида кўп қатламли плиталарнинг ички зўриқиш кучларига бир жинсли бўлмаган эластик асоснинг тасирини назарий тадқиқ қилиш амалга оширилган бўлиб, у тўртта параграфлардан иборат тузилишга эга.

Тўртинчи бобнинг биринчи параграфда масаланинг қўйилиши ва математик моделлаштирилиши кўрсатилган. Масаланинг қўйилишига мос ҳисоблаш схемалари ва тегишли белгилашлар юқорида келтирилган. 1-расмлардаги каби олинган. Шунинг учун кўп қатламли балка – плиталарнинг эгилишини ифодаловчи дифференциал тенгламалар системаси ва контакт шартлар учун мос равишда (1) ва (2) тенгликлар олинган. Бир жинсли бўлмаган эластик асоснинг эластиклик (деформация) модули учун қуйидагича

$$E = E_m y^m, \quad 0 \leq m < 1 \quad (21)$$

Г.Клейн модули олинган. Бир жинсли бўлмаган эластик асоснинг V чўкишини аниқловчи тенглама

$$V = \frac{\Theta_m}{m} \int_{-l}^l \frac{p(s)}{|x-s|^m} ds \quad (22)$$

кўринишда олинган. Ушбу қайд этилган ҳамда ёзилган интеграл – дифференциал тенгламалар ситемаси қаралаётган масалани ечувчи асосий тенгламалар бўлиб, улар тенгламаларнинг ёпиқ системасини ташкил қилади.

Тўртинчи бобнинг иккинчи параграфида масаланинг асосий тенгламаларини ечиш усули келтирилган.

Таклиф қилинган усул бир жинсли бўлмаган асоснинг номаълум реактив кучланишини номаълум A_n коэффициентли ултрасферик кўпхадларнинг катори кўринишида олишга асосланган. Натижада масалани ечувчи тенгламалар системасининг барча ечимлари ушбу номаълум коэффициентлар орқали ифодаланади. Номаълум коэффициентларни топиш учун номаълумлари ушбу коэффициентлардан иборат бўлган аммо маълум коэффициентлари фарқли бўлган (5) кўринишдаги чексиз алгебраик тенгламалар системаси ҳосил қилинган. Ҳосил қилинган чексиз алгебраик тенгламалар системасининг ечимлари редукция усулидан фойдаланиб топилган.

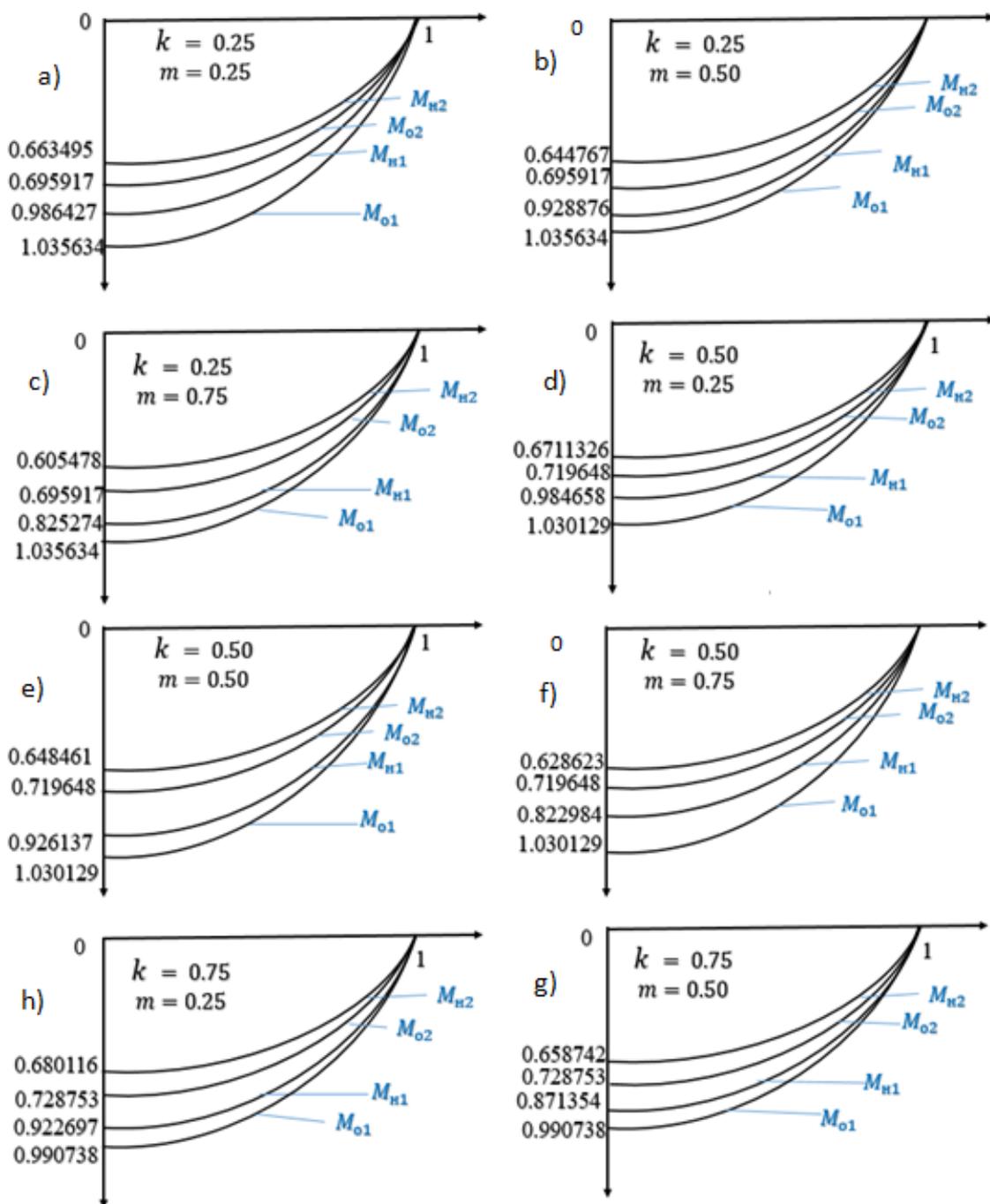
Тўртинчи бобнинг учинчи параграфида масаланинг ечилиши учун қўлланилган усулнинг асослилиги назарий жиҳатдан исботланган. Бунинг учун системанинг маълум коэффициентлари учун қуйидаги

$$\left(\frac{m}{2} + k\right)^{-1} |a_k| \rightarrow 0, \left(\frac{m}{2} + k\right)^{-1} \sum_{n=1}^{\infty} |a_{n,m}| = S_m \rightarrow 0, \text{ агар } k \rightarrow \infty \quad (23)$$

муносабатларнинг бажарилиши исботланган. Назарий исботланган (23) муносабатлар чексиз алгебрик тенгламалар системасининг регуляр эканлигини ва қўлланилган усулнинг тўғри эканлигини тасдиқлайди.

Тўртинчи бобнинг тўртинчи параграфида узликсиз текис тақсимланган ташқи куч билан юкланган икки қатламли балка – плитанинг бир жинсли бўлмаган эластик асосда эркин ётиши ҳақидаги масала (7) кўринишдаги чегара шартларда ечиб кўрсатилган. Олинган ечимларга мос (5) кўринишдаги системанинг маълум коэффициентлари учун тегишли ифодалар қурилган.

Келтирилган сон қийматларга асосланиб балка – плиталарнинг ички зўриқиш кучларини баҳолаш мақсадида бир жинсли ва бир жинсли бўлмаган асосга мос келувчи биринчи ҳамда иккинчи балка – плиталарнинг M_{o1} , M_{o2} ва M_{n1} , M_{n2} эгувчи моментлари графиклари 6-расмлар кўринишида келтирилган. Боб сўнгида эластик асоснинг бир жинсли бўлмаганлигини инобатга олиш унда ётувчи кўп қатламли плиталардаги ички зўриқиш кучларининг камайишига олиб келиши ҳақидаги олинган таҳлилий хулоласалар келтирилган.



6-расм. Асоснинг бир жинсли бўлмаганлик ва тўлдирувчи қатлам бикирлик коэффициентларининг турли қийматларига мос келувчи балка-плиталар эгувчи моментларининг графиклари.

Қаралаётган масalani сонли таҳлил қилиш мақсадида (8) параметрлар ва асоснинг бир жинсли бўлмаганлик m коэффициенти ҳамда тўлдирувчи қатламнинг бикирлик k коэффициентларининг турли сон қийматларига мос алгебраик тенгламалар системасининг дастлабки тўртта ечимларининг сонли қийматлари 4-жадвал кўринишида келтирилган.

Алгебраик тенгламалар системаси дастлабки тўртта ечимларининг сонли қийматлари

k	m	A_0/q	A_2/q	A_4/q	A_6/q
0.25	0.25	1.481254	-0.315476	0.128645	0.010763
	0.50	1.669334	-0.343691	0.132736	0.012449
	0.75	1.840725	-0.31765	0.143546	0.012943
0.50	0.25	1.481254	-0.336642	0.137447	0.011346
	0.50	1.669334	-0.365564	0.139871	0.014538
	0.75	1.840725	-0.37884	0.154632	0.015469
0.75	0.25	1.481254	-0.339751	0.137985	0.011964
	0.50	1.669334	-0.371246	0.146945	0.014879
	0.75	1.840725	-0.38126	0.158765	0.015966

Диссертациянинг бешинчи боби “Бир жинсли бўлмаган асос билан ўзаро контактда бўлган кўп қатламли плиталардаги ички кучларни баҳолашда асосдаги уринма кучланишни ҳисобга олиш” деб номланган. Эластик асоснинг бир жинсли бўлмаганлик хусусияти унинг чуқурлиги бўйича (20) формула билан берилган қонуниятли деб олиниб, асос билан бевосита контактда бўлган плита орасида нормал кучланишдан ташқари уринма кучланиш ҳам инобатга олинган.

Бешинчи бобнинг биринчи параграфида масаланинг қўйилиши ва математик моделлаштирилиш жараёни амалга оширилган. Масалани ечувчи тенгламаларни олишда 1.1-расмларда келтирилган ҳисоблаш схемалари ва улардаги белгилашлар балка-плиталар нуқталарининг вертикал u_i , горизонтал u_x кўчишларини аниқловчи тенгламалар (9), (10) кўринишда олинган. Эластик бир жинсли бўлмаган асос нуқталарининг вертикал V , горизонтал U кўчишларини топиш учун

$$V = \alpha_1 \int_{-l}^l \frac{p(s)}{|x-s|^m} ds + \alpha_2 \int_{-l}^l \frac{\text{sig}(x-s)}{|x-s|^m} \tau(s) ds, \quad x \neq s \quad (24)$$

$$U = \alpha_1 \int_{-l}^l \frac{\tau(s)}{|x-s|^m} ds - \alpha_2 \int_{-l}^l \frac{\text{sig}(x-s)}{|x-s|^m} p(s) ds, \quad x \neq s \quad (25)$$

кўринишга эга интеграл тенгламалар системаси, масалага мос контакт шартлар (13) кўринишда олинган. Олинган (9), (10), (13), (24), (25) тенгликлар масалани ечувчи асосий интегро-дифференциал тенгламалар бўлиб, улар ёпиқ тенгламалар системасини ташкил қилади.

Бешинчи бобнинг иккинчи параграфида Гегенбауэрнинг ультросферик кўпҳадларига асосланган усул ёрдамида қаралаётган масалани ечиш кўрсатилган. Бу ерда (24), (25) интеграл тенгламаларнинг ядролари учун маълум, қуйидаги

$$\frac{1}{|x-s|^m} = \frac{2^m \Gamma(\frac{m}{2} + 1)}{\Gamma(m) \cos \frac{m\pi}{2}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{m}{2} + i\right) C_i^{\frac{m}{2}}(x) C_i^{\frac{m}{2}}(s); \quad (26)$$

$$\frac{\text{sig}(x-s)}{|x-s|^m} = \frac{\pi 2^{m-1}}{\Gamma(m) \sin \frac{m\pi}{2}} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma^2(m+i)}{\Gamma^2(\frac{m}{2} + i)} P_i^{(\frac{m}{2}-1, \frac{m}{2})}(x) P_i^{(\frac{m}{2}, \frac{m}{2}-1)}(s); \quad (27)$$

ёйилмалардан фойдаланилган. Бу тенгликларда $C_i^\alpha(x)$, $P_i^{(\alpha, \beta)}(x)$ – мос равишда Гегенбауэр ва Якоби кўпхадлари. Масалани ечиш учун асоснинг номаълум нормал ҳамда уринма кучланишларини мос равишда A_n ҳамда B_n номаълум коэффициентли Гегенбауэр кўпхадларининг қатори кўринишида олишга асосланган усул қўлланилган. Усулга мувофиқ масаланинг тенгламаларга мос барча ечимлари номаълум A_n , B_n коэффициентлар орқали ифодаланиши кўрсатилган. Ушбу коэффициентларни аниқлаш учун

$$a_{1,i} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{1,n,j} A_n + b_{1,n,j} B_n) = \left(\frac{m}{2} + j\right) a_{0,j} A_j + \sum_{n=0}^{\infty} B_{n,j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (28)$$

$$a_{2,i} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{2,n,j} A_n + b_{2,n,j} B_n) = \left(\frac{m}{2} + j\right) a_{0,j} B_j - \sum_{n=0}^{\infty} A_{n,j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (29)$$

кўринишга эга бўлган чексиз алгебраик тенгламалар системаси ҳосил қилинган. Тенгламаларда $a_{r,i}$; $a_{r,n,j}$; $b_{r,n,j}$ – маълум коэффициентлардан иборат.

Бешинчи бобнинг учинчи параграфида масалани ечиш учун қўлланилган усулнинг асосланиши кўрсатилган. Чексиз алгебраик тенгламалар (28), (29) системанинг маълум ҳисобланувчи коэффициентлари ҳамда маълум коэффициентлар йиғиндисига мос абсолют қаторлар учун қуйидаги баҳолашлар олинган:

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} |a_{1,j}| < a_1 \alpha_j < \infty; \left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} |a_{2,j}| < a_2 \alpha_j < \infty. \quad (30)$$

$$a_1, a_2 = \text{const}, \alpha_j \rightarrow 0, \quad \text{агар } j \rightarrow \infty. \quad (31)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |a_{1,n,j}| < S_1 \alpha_j < \infty; \left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |a_{2,n,j}| < S_2 \alpha_j < \infty; \quad (32)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |b_{1,n,j}| < S_3 \alpha_j < \infty; \left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |b_{2,n,j}| < S_4 \alpha_j < \infty; \quad (33)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| \sum_{n=0}^{\infty} d_{2n,n-j} d_{2n,0} \left\| C_{2n}^{\frac{m}{2}} \right\| \leq S_5 \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| < \infty; \quad (34)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| \sum_{n=0}^{\infty} d_{2n,n-j} \sum_{k=0}^n d_{2n,n-k} \left\| C_{2k}^{\frac{m}{2}} \right\| \leq S_6 \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| < \infty. \quad (35)$$

Бу ерда S_n , $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ўзгармас миқдорлар бўлиб, улар яқинлашувчи абсолют қаторларнинг йиғиндилари; $\left\| C_{ij}^m \right\|$ – Гегенбауэр кўпҳадининг нормаси, d_{ij} – ўзгармас маълум коэффициентлар. Кўрсатилган (30)-(35) тенгсизликлар (28), (29) чексиз алгебраик тенгламалар системасининг регуляр система эканлигини, қаралаётган масalani ечиш учун ишлатилган усулнинг тўғри эканлигини тасдиқлайди.

Бешинчи бобнинг тўртинчи параграфида таклиф қилинган усулнинг қўлланилишига оид масалалар ечиб кўрсатилган. Дастлаб битта қатламли балка-плиталарнинг бир жинсли бўлмаган асос билан муносабатида контактдаги уринма кучланиш инobatга олинган ҳолга доир масалага мос эгилиш тенгламаларининг умумий кўринишлардаги ечими, сўнгра текис тақсимланган ташқи куч таъсирига мос (7) чегара шартларни қаноатлантирувчи хусусий ечими олинган. Параметрларнинг (8) кўринишдаги қийматларига мос сонли мисол ечиб кўрсатилган. Икки қатламли балка-плитага оид масаланинг умумий ечими ва чегара шартларини қаноатлантирувчи хусусий ечимлари ҳамда (8) кўринишдаги миқдорларга мос сонли мисол ечиб кўрсатилган.

Сонли мисол натижалари сифатида асоснинг турли бир жинсли бўлмаганлик коэффициентларига мос келувчи (28), (29) системаларнинг дастлабки етти та номаълумларининг сон қийматлари ва уларга мос келувчи симметрия марказидаги уринма кучланишсиз $M_{6,1}$, уринма кучланишли $M_{c,1}$ асос учун эгувчи моментларнинг максимал қийматлари 5-жадвал ва 6-жадвал кўринишида келтирилган.

5-жадвал

Алгебраик тенгламалар системаси ечимларининг сон қийматлари.

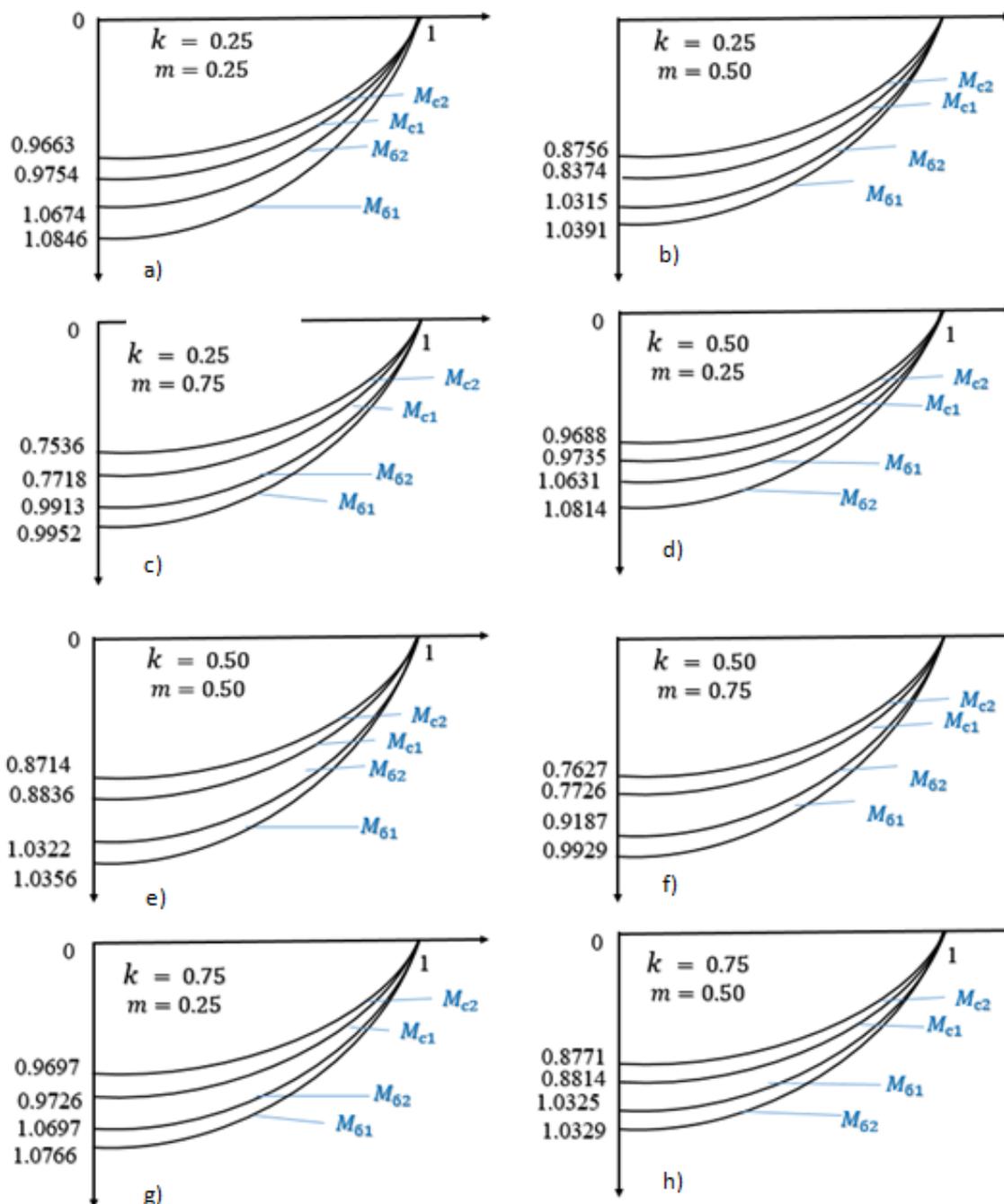
m	A_0/q	B_1/q	A_2/q	B_3/q	A_4/q	B_5/q	A_6/q
0.25	0.740675	0.409814	-0.176617	-0.083851	0.092561	-0.017856	-0.007354
0.50	0.834626	0.416932	-0.197452	-0.097463	0.095487	-0.018309	-0.007869
0.75	0.920360	0.427683	-0.206857	-0.130468	0.099763	-0.019574	-0.008273

6-жадвал

Эгувчи моментларнинг максимал сон қийматлари.

m	Эгувчи $M_{6,1}$, $M_{c,1}$ моментларнинг сон қийматлари	
	$M_{6,1}(0)/(ql^2)$	$M_{c,1}(0)/(ql^2)$
0.25	0.69230756	0.60841927
0.50	0.63861953	0.54124623
0.75	0.55637869	0.31759136

Мисолнинг натижалари сифатида балка-плиталарнинг эгувчи моментларининг графиклари 7-расмлар орқали кўрсатилган.



7-расм. Асоснинг бир жинсли бўлмаганлик ва тўлдирувчи қатлам бикирлик коэффициентларининг турли қийматларига мос келувчи балка-плиталар эгувчи моментларининг графиклари.

Ҳисоблаш натижаларига мувофиқ тўлдирувчи қатламнинг бикирлик ҳамда асоснинг бир жинсли бўлмаганлик коэффициентларининг турли

қийматларига мос келувчи (28), (29) системаларнинг дастлабки 7 та номаълумларининг сон қийматлари 5.3-жадвал кўринишида берилган.

7-Жадвал

Алгебраик тенгламалар системаси дастлабки еттита ечимларининг сон қийматлари

k	m	A_0/q	B_1/q	A_2/q	B_3/q	A_4/q	B_5/q	A_6/q
0.25	0.25	1.48125	0.81947	-0.26758	-0.16567	0.06917	-0.02963	0.00349
	0.50	1.66925	0.95386	-0.29619	-0.17694	0.07228	-0.03634	0.00478
	0.75	1.84072	0.97164	-0.31765	-0.19183	0.08635	-0.03967	0.00619
0.50	0.25	1.48125	0.81973	-0.26764	-0.16376	0.06935	-0.02987	0.00356
	0.50	1.66925	0.95434	-0.29657	-0.17712	0.07253	-0.03609	0.00487
	0.75	1.84072	0.97216	-0.31784	-0.19195	0.08664	-0.03973	0.00841
0.75	0.25	1.48125	0.81986	-0.26785	-0.16588	0.06951	-0.02993	0.00371
	0.50	1.66925	0.95481	-0.29673	-0.17756	0.07269	-0.03681	0.00498
	0.75	1.84072	0.97289	-0.31796	-0.19814	0.06676	-0.03986	0.00659

Ушбу графикларда биринчи ва иккинчи балка-плиталарнинг эгувчи моментлари учун, уринма кучланишсиз M_{61} ва M_{62} , уринма кучланишли асосга мос M_{c1} ва M_{c2} , белгилашлар ишлатилган.

Сонли мисол натижалари бўйича асосдаги уринма кучланиш ҳисобга олинганда асоснинг бир жинсли бўлмаганлик коэффицентининг ошиб бориши плиталардаги эгувчи моментлар сезиларли камайишига олиб келиши ҳақидаги бешинчи боб бўйича хулосалар олинган.

АСОСИЙ ХУЛОСАЛАР

1. Эластик асос билан ўзаро контактда бўлган кўп қатламли плиталарнинг бир жинсли, бир жинсли бўлмаган ва комбинациялашган асосларда ётишида, асосдаги нормал ва уринма кучланишларни ҳисобга олган ҳолда плиталарнинг эгилишларини баҳолаш учун математик модел ишлаб чиқилган.

2. Асос билан контакт муносабатда бўлган кўп қатламли плиталарнинг ички зўриқиш кучларини баҳолашда асоснинг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда плиталардаги эгилишни баҳолаш учун ортогонал кўпҳадларни қўллашга асосланган аналитик усул ва мукаммалаштирилган ҳасоблаш алгоритми яратилган.

3. Кўп қатламли плита билан комбинацияланган асос муносабатида асоснинг чўкишини аниқловчи Фредгольм интеграл тенгламасининг аналитик ечими ажралган ядро усулида олиниб, усулнинг қулайлиги мисоллар ёрдамида кўрсатилган.

4. Кўп қатламли плиталарнинг эгилишини баҳолаш учун ишлаб чиқилган усулга мувофиқ масалаларнинг, келтирилган чексиз алгебраик

тенгламалар системасининг назарий таҳлилларига таяниб, ягона яқинлашувчи ечими мавжудлиги асосланган.

5. Кўп қатламли плиталарнинг эгилишини турли характерли асослар билан контактларини ҳисобга олиб баҳолашда, келиб чиқадиган чексиз алгебраик тенгламалар системасининг регуляр эканлиги назарий асосланган ва системалар редукция усулида ечилиб, аналитик усулнинг қулайлиги кўрсатилган.

6. Асос билан кўп қатламли плиталар орасидаги уринма кучланиш ҳисобга олинган ҳолда бир жинсли бўлмаган асос нуқталарининг кўчишларини аниқловчи интеграл тенгламаларни ечиш жараёнида қуйидаги янги натижалар олинган:

Якоби кўпҳадларини Гегенбауэрнинг ультросферик кўпҳадлари орқали ифодаловчи янги формула аниқланган;

Интеграл тенгламага мос келувчи сингуляр интеграллар учун Гегенбауэрнинг ультросферик кўпҳадларидан ташкил топган хос функциялар соҳаси аниқланган;

Интеграл тенглама ядроси учун Гегенбауэрнинг ультросферик кўпҳадлари йиғиндиси орқали ифодаловчи янги қаторга ёйилмаси қурилган.

7. Асоснинг реактив кучланишлари ортогонал кўпҳадлар қатори кўринишида қидирилганда, тегишли лойиҳалаш ишларини етарли аниқликда тез бажаришга ёрдам берадиган, қатор қўшилувчи ҳадларининг етарли сонлари бўйича тавсиялар берилган.

8. Тўлдирувчи қатлам бикирлик коэффициентининг ўзгариши плиталардаги ички зўриқиш кучларининг сезиларли ўзгаришига, хусусан бикирлик коэффициентининг ортиши плиталардаги зўриқиш кучларининг миқдор жиҳатидан бир-бирига яқинлашига олиб келиши кўрсатилган.

9. Асос билан плита орасидаги уринма кучланишни инобатга олиш плиталардаги ички зўриқиш кучларининг сезиларли камайишига олиб келиши аниқланган.

10. Асоснинг бир жинсли бўлмаганлик хусусиятининг ортиши плиталардаги ички зўриқиш кучларининг камайишига, асос реактив кучланишларининг қайта таксимланишига олиб келиши кўрсатилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ
МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

МАМАСОЛИЕВ КАЗОКБОЙ

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ОЦЕНКИ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛИТ
ЛЕЖАЩИХ НА ОСНОВАНИИ**

01.02.04 –Механика деформируемых твердых тел

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

Ташкент 2023

Тема диссертации доктора (DSc) наук зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Министерстве Высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, под номером B2023.1.DSc/FM211 .

Диссертация выполнена в “Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства” Национальном исследовательском университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекском, русском, английском (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.insmech.uz) и в Информационно - образовательном портале “Зиёнет” (www.ziynet.uz).

Научные консультанты:

Ширинкулов Тошпулот Ширинкулович

Академик АН РУз, д.т.н., профессор

Мирсаидов Мирзиёд Мирсаидович

Академик АН РУз, д.т.н., профессор

Официальные оппоненты:

Б.М.Мардонов

доктор физико-математических наук, профессор

Б.Э.Хусанов

доктор физико-математических наук, профессор

П.Ж.Маткаримов

доктор технических наук, профессор

Ведущее предприятие:

Ташкентский архитектурно-строительный университет

Защита диссертации состоится «__» _____ 2023 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений. (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33, зал заседаний-1. Тел.(99871) 262-71-52; Факс: (99871) 262-71-32, e-mail: instmech@academy.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института механики и сейсмостойкости сооружений (зарегистрирована за №_____). (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел. (99871) 262-71-52.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2023 года.

(реестр Протокола рассылки №__ от «__» _____ 2023 года).

Р.А. Абиров

Председатель ученого совета, присваивающего научную степень, д.ф.-м.н., с.н.с.

М.К. Усаров

Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., проф.

Б.Э.Хусанов

Председатель научного семинара при ученом совете, присваивающего научную степень д.ф.-м.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в целях обеспечения устойчивости зданий, сооружений, аэродромов и других строящихся объектов проектирование и строительство их с учетом взаимодействия надземной части с основанием является одним из основных приоритетных требований. Поэтому разработка математических моделей для оценки внутренних усилий многослойных плит, лежащих на различных упругих основаниях, построение аналитических методов расчета и усовершенствованный алгоритм расчета имеют большое значение для изучения состояния грунтов под воздействием статических и динамических нагрузок во многих странах мира, включая США, Китай, Россия, Япония и других стран.

В мире возможность удовлетворительной аналитической оценки наличия внутренних напряжений в многослойных конструктивных устройствах, с учетом различных характеристик упругого основания, такие как однородность, неоднородность, а также комбинированности, является одной из актуальных проблем. Одним из актуальных вопросов в мире является разработка математической модели и аналитических методов расчета, позволяющих с достаточной точностью оценивать напряженно-деформированного состояния с учетом взаимодействия многослойных конструкцией с основанием.

В нашей республике реализуются крупные проекты по дальнейшему совершенствованию систем обеспечения сейсмической безопасности. В указе Президента Республики Узбекистан от 30 мая 2022 года "О мерах по дальнейшему совершенствованию системы сейсмической безопасности Республики Узбекистан" ПФ-144" указаны приоритетные направления обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений. В стратегии развития в 2022-2026 годах Нового Узбекистана также поставлена задача дальнейшего развития научных исследований по решению проблем сейсмостойкости сооружений. Реализации этих задач, включая разработку математической модели и упрощенных методов аналитического расчета для оценки факторов внутренних напряжений элементов конструкции при эксплуатации устройств со слоистой структурой с учетом различных характеристик основания, является одной из важных задач.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит обеспечению Указа Президента Республики Узбекистан № 30.05.2022 УП-144 "О мерах по дальнейшему совершенствованию системы сейсмической безопасности Республики Узбекистан", РП-3190 от 9 августа 2017 года "О сейсмологии, сейсмостойком строительстве и совершенствовании научных исследований в области сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан", РП-№ 4794 от 30 июня 2020 года, "О мерах коренного совершенствования системы обеспечения сейсмической

безопасности населения и территории Республики Узбекистан" и других административных и правовых документах, относящихся к этой области.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления IV «Математика, механика и информатика» развития науки и технологий Республики.

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации¹. По своему конструктивному строению, различные элементы строительных конструкций, состоящие из дискретных переменных слоев, в том числе оболочек, пластинок и плит, применяются при строительстве зданий, дорог, мостов, дамб, подземных сооружений. Для указанных несущих систем необходимо повышение и обеспечение эксплуатационной надежности на должном уровне. Ведущие мировые научные центры и высшие учебные заведения, такие как University of Leeds (Buyuk Britaniya), California Institute of Technology (USA), Southwest Jiatong University (China), Purdue University (USA), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Germany), McGill University (Canada), Shenyang Aerospace University (China), Rensselaer Polytechnic Institute (USA), Chinese University of Science and Technology (China), Dordrecht (Netherlands), Changzhou State University (China), Busan National University (Korea), University of Massachusetts Amherst (USA), Queen's University, Belfast (Northern Ireland), Петербургский Политехнический университет (Россия), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Россия), Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Россия), Иститут теоритический и прикладной механики АН Российский Федерации, Институт прикладной математики и механики Национальная АН Украины, Пермский государственный университет, Институт механики и сейсмостойкости сооружений, Национальный университет Узбекистана, Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Национальный исследовательский университет, Самаркандский государственный университет (Узбекистан), осуществляют полномасштабные научные исследования, направленные на разработку уточненных и усовершенствованных методов расчета несущих конструктивных систем и их элементов. Проблемами изгиба пластин с различными геометрическими и механическими характеристиками под действием статических и динамических сил при различных начальных и граничных условиях, а также механическими характеристиками под действием статических и динамических сил при различных начальных и граничных условиях, а также совершенствованием методов анализа и расчета

¹ Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации, <https://www.dissercat.com/catalog/mekhanika>; <http://www.mathnet.ru>; <http://link.springer.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; www.scholar.google.com; Free axisymmetric vibration of FMG circular plates// Applied Mathematics and Mechenics-2009/ - Volume 30. –Issue 9, -Pp/ 1077-1082; Изгиб двухслойной балки с нежестким контактом между слоями/ ПММ. -2011, Т,75, Вып, 1, -с, 112-121; Изв РАН, МТТ, -2016, №5 –с. 22-35;

Изв РАН, МТГ, -2017, №2 –с. 32-45; Angie C. And others. Beams on elastic foundations – A review of railway applications and solutions. Transportation Geotechnics. Volume 33, March 2022, и другие источники.

вибрации занимаются ученые из Washington University (USA), Seattle University (USA), Blacksburg University (USA), Parij University (France), Hunan University (China) Darmstadt Institute of mechanics (Germany), Zagreb University (Croatia). Дальнейшим совершенствованием методов моделирования, анализа и расчета напряженно-деформированного состояния пластин, лежащих на упругом основании с различными характеристиками занимаются исследованием научно-исследовательских центров Tongji (China), Shanghai (China), Darmtadi (Germany), МГУ (Россия). Разработкой теории и методов расчета, основанных на использовании градуированных рядов и ортогональных полиномов при расчете слоистых пластинок и плит занимаются специалисты в университетах Poznan University of Life Sciences (Poland), University of Leeds (Buyuk Britaniya) Indian Institute of Technology Bombay (India), University of Massachusetts Amherst (USA), Dordrecht (Netherlands) МГСУ (Россия), С-ПТУ (Россия), БНТУ (Беларусь), Института механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, Национального университета Узбекистана, Ташкентского института гидромелиорации и инженеров-механизаторов сельского хозяйства, Национального исследовательского университета, Самаркандского государственного университета.

Степень изученности проблемы. Изучение и исследование многих вопросов механики деформируемого твердого тела направлено на выявление их практической значимости при теоретическом анализе важных расчетных параметров рассматриваемого объекта на основе известных механических и математических закономерностей. Разработка математических моделей и упрощенных методов аналитического расчета для оценки факторов внутренних напряжений элементов строительных систем при совместной работе с основанием и систем со слоистой конструктивной структурой с учетом различных характеристик основания, являются одними из актуальных задач.

Оценка прочности различных конструкций, взаимодействующих с грунтовыми основаниями, стала требованием современной эпохи. Основапологающими научными исследованиями по данному направлению являются работы М.У. Уразбаева, Т.Р. Рашидова, Т.Ш. Ширинкулова, Ё.Н. Мубаракова, Т.Б. Буриева, М.М. Мирсаидова, К.С. Султанова, Г.Х. Хожметова, З.Г. Тер-Матросяна, Б.М. Мардонова, И.М. Мирзаева, З.С. Сирождидинова, Б.Х. Хусанова, Н.А. Цитовича, Ю.К. Зарецкого, С. С. Вялова и др.

Учеными, которые проводили и проводят научные исследования, ориентированные на процесс моделирования статических и динамических задач механики систем, взаимодействующих с твердым телом и внешней средой являются А.А. Ржаницин, Y. Tokovy, Ma Chizu-Ching, А.З. Хасанов,

В.Б. Флорин, Я. Штаерман, Й.Н. Работнов, Г.К. Клейн, Б.Н. Баршевский, Б.И. Крылов, А.А. Абдусаттаров, А.Б. Ахмедов, Р.Ш. Индаминов и др.

Научными исследованиями вопросов изгиба и вибрации упругих пластин и плит при различных граничных условиях, с учетом их важных механических и геометрических параметров, занимались Ф.Б. Бадалов, Т.М. Мавлонов, Б.М. Марданов, Х.Х. Худойназаров, А.Х. Холжигитов, М.К. Ёсаров, К.И. Исмаилов, О.А. Егорычев, И.Г. Филлипов, E.Gorera, Е.Б. Алтухов, I.Lewinski, A.V. Kudin, A.N. Sofiyev, Б.М. Сеймон, L.N. Donnet и др.

Научно-исследовательские работы по оценке внутренних напряжений в контактных задачах однослойных и многослойных пластин и плит с основанием, проведены Г.Я. Поповым, В.М. Сеймовым, Т.Ш. Ширинкуловым, М.М. Мирсаидовым, И.А. Симвулиди, И.А. Ржаницыным, В.З. Власовым, Н.Н. Леонтьевым, Ю.И. Новичковым, И.Г. Филлиповым, Дж. Такековой, Дж. Авредживисда, Р.А. Абдураимовым, Б.Е. Хусановым, Б.И. Крыловым, И.И. Сафаровым и др.

В последние несколько десятилетий, одним из основных направлений исследований, являются теоретические разработки, направленные на оценку параметров, имеющих значение при эксплуатации слоистых конструкций на упругом основании. По этому направлению Г.Я. Поповым, Т.Ш. Ширинкуловым, М.М. Мирсаидовым и их последователями разработаны математические модели и соответствующие методы определения осадки упругого основания с учетом различных свойств, таких как однородность, неоднородность, комбинированность и пр.

Оценка внутренних сил многослойных плит на упругом основании, по отношению к внешним силам, дает возможность обеспечить ожидаемые характеристики таких конструкций. Несмотря на то, что в этой области проведено множество практических научных исследований, существует необходимость в проведении дальнейших совершенствовании исследований.

В связи с этим, данное диссертационное исследование посвящено разработке математической модели для решения контактных задач о взаимодействии упругого основания и многослойных плит, учитывающей дискретную переменность жесткостей слоев плит и заполнителя. В соответствии с разработанной моделью разработаны аналитические методы расчета и алгоритмы их реализации, основанные на использовании классических ортогональных полиномов, подходящих для различных свойств основания, таких как однородность, неоднородность, комбинированность. Показано, что разработанные методы позволяют решать практические задачи, а полученные результаты могут быть использованы на практике.

Связь диссертационного исследования с исследовательскими планами ВУЗа, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках фундаментального гранта Республики Узбекистан на период 2021-2026 годы № ФЗ-20200929327 на тему “Разработка надежной технологии и теории прочности земляных плотин с учетом нелинейной фильтрации и влажности почвы” и по гос.бюджетной

теме “Разработка перспективных методов расчета прочности и динамики грунтовых сооружений с учетом нелинейного деформирования материалов” – 2021-2023 гг. в Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Национальном исследовательском университете, а также в рамках научно-исследовательских работ Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета имени Мирзо Улугбека по теме «Актуальные проблемы механики жидкости, газа и плазмы и деформируемого твердого тела».

Цель исследования состоит в совершенствовании методов разработки и решения математических моделей задач, связанных с изгибом многослойных плит, лежащих на упругом основании; в разработке аналитических методов решения задач; оценке внутренних сил в плитах при решении задачи путем применения простых ортогональных полиномов; в анализе влияния слоя заполнителя между слоями плит на напряжения в пластинах; в определении влияния различных свойств упругого основания, таких как однородность, неоднородность, комбинированность, на напряженно деформированное состояние плит; в анализе и оценка связей между реактивными напряжениями основания и внутренними усилиями в плитах.

Задачи исследования:

разработка математической модели контактных задач с взаимосвязи многослойных плит и упругого основания под действием внешних сил;

разработка методов аналитического расчета на основе классических ортогональных полиномов с учетом характерных свойств основания, таких как однородность, неоднородность, комбинированность;

обоснование приемлемости разработанной математической модели и метода решения для решения рассматриваемых задач;

определение влияния отмеченных характерных свойств основания на внутренние усилия в плитах;

оценка влияния слоев заполнения между плитами и реактивных давлений основания на силы внутреннего напряжения в плитах;

создание усовершенствованного аналитического алгоритма расчет по разработанной методике;

разработка выводов и рекомендаций по результатам научно-исследовательской работы.

Объектом исследования являются многослойные плиты с различными механическими свойствами, загруженные различными статическими нагрузками и лежащие на упругим полупространств.

Предметом исследования является изучение двустороннего взаимодействия многослойных плит (с прослойками заполнителя между ними) с упругим основанием с учетом различных статических нагрузок и различных механических и геометрических параметров.

Методы исследования. На основе законов общего порядка теории упругости, рассматриваемые вопросы представлены в замкнутой системе

интегро-дифференциальных уравнений перемещений. Ядро в интегральном уравнении для определения осадки упругого основания, распространено по ряду ортогональных полиномов. Реактивные напряжения основания взяты в виде ряда ортогональных полиномов с неизвестными коэффициентами. Задача сводится к исследованию и решению системы бесконечных алгебраических уравнений. Показана регулярность системы бесконечных алгебраических уравнений, которая решена методом редукции.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель оценки внутренних усилий при изгибе многослойных плит взаимодействующие с грунтом с учетом однородности, неоднородности и комбинированных свойств грунта;

разработаны новый аналитический метод и алгоритм на основе ортогональных многочленов для оценки внутренних усилий при изгибе многослойных плит взаимодействующие с грунтом с учетом различных свойств грунта;

показаны единственность и существование созданного аналитического метода и полученной системы бесконечных алгебраических уравнений для оценки внутренних силовых факторов, возникающих в плитах в процессе изгиба;

разработана новая формула на основе многочленов Якоби и Гегенбауера для оценки внутренних усилий возникающие в плитах с учетом касательных напряжений между многослойных плит и грунтом;

разработан метод оценки внутренних усилий возникающие в конструктивных элементах многослойных плит взаимодействующие с грунтовым основанием;

определено, что увеличение коэффициента упругости заполнителя приведет к уменьшению внутренних усилий в плитах, покоящиеся на неоднородном основании и перераспределению реактивных сил основания.

Практические результаты исследования:

получена система дифференциальных уравнений, определяющая изгиб плит, для случая, когда коэффициенты жесткости плит являются дискретными переменными, и определены общие решения системы в аналитическом виде;

разработаны формулы и алгоритм расчета для определения влияния основания с различными характеристиками на внутренние силы в плитах;

получена оценки влияние слоя заполнителя на напряженно деформированное состояние плиты при различных характеристиках упругого основания;

проанализированы законы распределения реактивных напряжений, соответствующие характеристикам однородности, неоднородности и комбинированности основания, с использованием классических ортогональных полиномов;

разработан усовершенствованный алгоритм расчета для выполнения проектно- расчетных работ.

определены пределы численного ограничения, необходимые для обеспечения точности вычисления неизвестных величин в практических расчетных работах.

Достоверность результатов исследования. Строгими математическими методами доказана правильность решений задач, сформированных на основе учета потребностей практики в процессе проектирования и строительства современных зданий и сооружений. Представленная для решения задачи система интегро-дифференциальных уравнений и достоверность их аналитических решений, сравниваются систематическими проверками, с результатами других подобных исследований, в частности, с теориями Т.Ш. Ширинкулова, В.М. Сеймова, Г.Я. Попова и результатами, полученные на основе теории.

Научная значимость результатов исследования:

Разработанная математическая модель, аналитический метод и полученная новая формула для оценки внутренних усилий при изгибе многослойных плит взаимодействующие с грунтом с учетом однородности, неоднородности и комбинированных свойств грунта служат основой для оценки усилия в элементах конструкций взаимодействующие с окружающей средой и их прочности.

Разработанный метод служит в будущем основой при разработке аналитических методов на основе многочленов решения задач механики деформируемого твердого тела.

Решение прикладных задач отражает новых механических эффектов при взаимодействии плит с основанием.

Практическая значимость исследования:

Созданы математическая модель, аналитический метод расчета и формулы, позволяющие оценить силовые коэффициенты внутренних напряжений, создаваемых статическими силами во взаимодействии многослойных плит и базовых конструкций с различными свойствами.

При формировании многослойных плит в результате работы под действием статических сил, совместно с различным грунтовым основанием, получены новые механические результаты, позволяющие прогнозировать процессы, происходящие в плитах, с учетом свойств элементов конструкции, то есть показано, как можно изменить в лучшую сторону возникающие внутренние силы.

Внедрение результатов исследований.

На основе полученных результатов математической модели, методов расчета по усовершенствованному алгоритму по развитию теории контактных взаимодействий слоистых конструкций, состоящих из твердых тел:

Применен метод определения внутренних усилий в плитах обусловленные различными свойствами грунтового основания и заполнителя между слоями плит (Справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан от 24 августа 2023 года №

08-06/8408). В результате использования результатов исследований достигнуто снижение сил внутренних напряжений в фундаментных плитах в 1,23 раза;

При получении аналитического решения была использована формула, связывающая полиномов Гегенбауэра с полиномами Якоби, которые применяются при решении контактных задач об изгибе многослойных плит, лежащие на упругом основании. Результаты исследований позволили построить решения с точностью 10^{-2} с тремя членами ультрасферического полинома. (Справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан от 24 августа 2023 года № 08-06/8408).

Научно-теоретических и практические выводы диссертационной работы были использованы при разработке программы предмета «Математическое моделирование в расчетах и исследований строительных конструкций» магистерской специальности «70730304 – Монтаж строительных конструкций, специального оборудования и инженерных систем» (справка № 01-02-01-17 Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан от 08 февраля 2023г.). Предмет, вновь разработанный по результатам исследований, использован при преподавании курса “Математическое моделирование в расчетах и исследовании строительных конструкций” студентам магистратуры.

Результаты проведенных исследований позволили повысить точность вычислений при проектировании и строительстве здания («O‘ZSHAHARSOZLIK LITI» ДУК (21 августа 2023 года)). В результате удалось сэкономить время, требуемое для первичной технической обработки места расположения здания в соответствии с грунтовым основанием до 7%, а затраченных средств капитального.

вложения до 6%. **Апробация результатов исследований.** Результаты данной научно-исследовательской работы были представлены на 5 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях, заслушаны и обсуждены на Республиканском научном семинаре «Проблемы механики» при кафедре «Теоретическая и строительная механика» Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства Национального исследовательского университета (Протокол №5. От 14 мая 2022 г.), на объединенном научном семинаре «Сейсмостойкость конструкций и сооружений» при институте механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Урозбоева АН РУз (Протокол №14. От 28 сентября 2022 г.).

Публикации исследования. По теме диссертации опубликована 26 научная работа, из них, - 2 монографии, 16 научных статей, 1 свидетельство о праве интеллектуальной собственности, 5 опубликованы в сборниках материалов международных и республиканских научно-практических конференций и семинаров. В научных изданиях, рекомендованных к

публикации основных научных результатов докторских диссертаций ВАК при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан опубликовано 14 статей, из них 4 – в зарубежных изданиях, 10 – в изданиях республиканского уровня. 2 научные статьи опубликованы в сборниках научных статей международных научных конкурсов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из Введения, 5 глав, Заключения, Списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 196 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертационной работы представлены сведения об актуальности и востребованности темы научного исследования. Излагается цель исследования, основные проблемы, которые необходимо решить. Описаны и перечислены методы решения рассмотренных проблем по теме исследования, основные результаты, выносимые на защиту. Описана научная и практическая значимость полученных в работе результатов, а также их внедрение, опубликованность в печати, структура и объем.

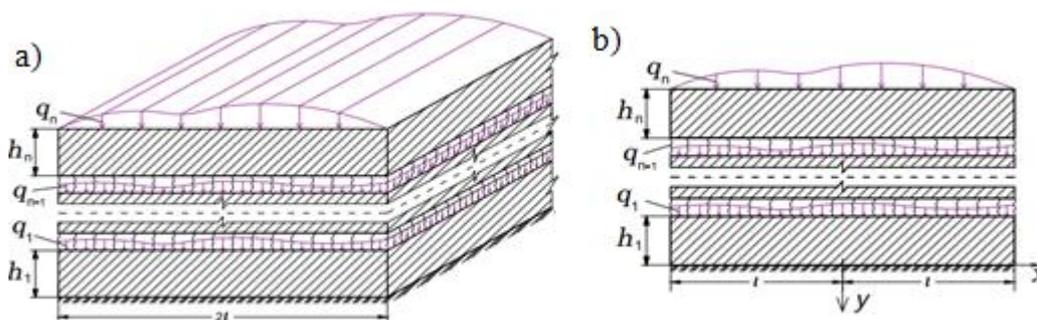


Рис.1-Расчетная схема размещенных друг на друге n полос-плиты а); балочных-плит б).

Первая глава диссертации под названием «Математическая модель деформирования многослойных пластин с однородным основанием и метод определения внутренних усилий» состоит из пяти параграфов. В первом параграфе главы представлен краткий аналитический обзор научно-исследовательских работ, относящихся к способам оценки внутренних сил в сооружениях, находящихся во взаимном контакте с деформируемым грунтовым основанием.

Второй параграф посвящен постановке задачи и математическому моделированию. Приведена система дифференциальных уравнений, выражающая изгиб y_i балочных плит, на основе расчётных схем n - слойных плит-полос (Рис.1, а) и балочных плит (Рис.1 б), лежащих на упругом основании, и имеющих между ними упругие заполнители:

$$D_i y_i^{IV} = q_i + k_i(y_{i+1} - y_i) - k_{i-1}(y_i - y_{i-1}) - \delta_i p. \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Здесь: D_i, k_i - дискретные постоянные коэффициенты жесткости слоев плиты и заполнителя, соответственно; q_i - переменная внешняя сила в зависимости от координаты; p - нормальное реактивное напряжение упругого основания;

$$k_n = k_0 = 0; \quad \delta_i = 1, \text{ если } i = 1; \quad \delta_i = 0, \quad \text{если } i \neq 1. \quad (2)$$

Определение осадки упругого основания V взят в виде интегрального уравнения:

$$V = \alpha \int_{-l}^l p(s) \ln \frac{1}{|x-s|} ds, \quad \alpha = const \quad (3)$$

а условия контакта балочных плит в двустороннем контакте с основанием, в виде:

$$y_1(x) = V(x), \quad -l \leq x \leq l. \quad (4)$$

Приведенные равенства (1), (3), (4) образуют основную систему интегро-дифференциальных уравнений, решающих рассматриваемую задачу.

В третьем параграфе первой главы показан способ получения общих решений системы основных интегро-дифференциальных уравнений, направленный на определение неизвестных задачи. Предлагаемый метод основан на поиске неизвестного реактивного напряжения в виде ряда многочленов Чебышева с неизвестными коэффициентами. На этом основании показано, что задача может быть сведена к анализу системы бесконечных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов.

Четвертый параграф первой главы посвящен обоснованию метода решения задачи. Для простоты решая задачи о двухслойных балочных плитах загруженных произвольными действующими внешними силами хотя бы кусочно-непрерывного функционального закономерностями, получена бесконечная система алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов A_n , в виде:

$$a_n + \sum_{n=0}^{\infty} a_n A_n = \alpha \frac{A_k}{2n}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (5)$$

Математически доказано, что для известных коэффициентов $a_n, a_{n,k}$ в этой системе выполняются следующие условия:

$$|a_n| < \infty; \quad \sum_{n=0}^{\infty} a_{n,k} = S_n < 1, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Доказательства оценок вида (6) показывают, что система бесконечных алгебраических уравнений (5) регулярна. Это подтверждает тот факт, что система бесконечных алгебраических уравнений (5) имеет единственное сходящееся решение, а значит, и корректность рассматриваемой задачи и

сходящееся решение может быть найдено с требуемой точностью с использованием данного метода.

В пятом параграфе первой главы приведено решение задачи и численный пример о двухслойных балочных плитах, имеющих непрерывно контактные связи с основанием, нагруженной непрерывной равномерно распределенной внешней нагрузкой. Найдены частные решения для центра симметрии и в краевых точках плиты, удовлетворяющие, соответственно, граничным условиям:

$$y_i' = 0, y_i''' = 0 \text{ на } y_i'' = 0, y_i''' = 0, \quad i = 1, 2. \quad (7)$$

Определены коэффициенты a_k , и $a_{n,k}$ системы приведенного вида (5), соответствующие указанным условиям. В соответствии с процедурой решения регулярной системы методом редукции были выделены относительно первых пяти неизвестных первые пять уравнений системы.

Решения выделенной системы вычислено, соответствующие различным значениям 0.25; 0.50; 0.75; 1.00; 1.25 коэффициента жесткости $k(kg/cm^3)$, для следующих геометрических и механических параметров плиты и основания

$$l = 500\text{см}; \quad h_1 = h_2 = 45\text{см}; \quad \nu_1 = \nu_2 = 0.167; \\ E_1 = E_2 = 1.25 \cdot 10^5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}; \quad \nu_0 = 0.3; \quad E_0 = 5 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (8)$$

Графики изгибающих моментов первой M_1 , второй M_2 балочных плит соответствующие найденным решениям системы и для сравнения M балочной плите, представлены на рисунке 2.

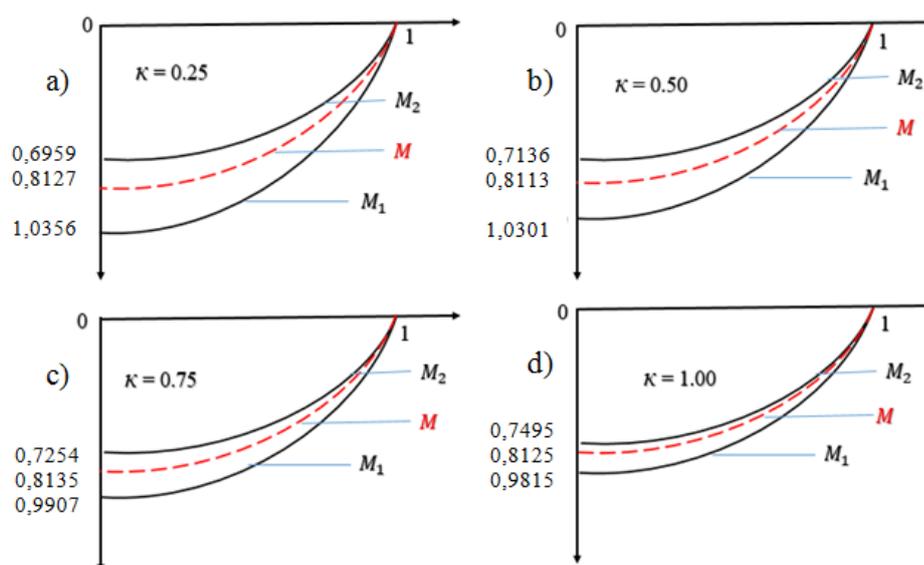


Рис.2. Графики изгибающих моментов в балочных плитах, соответствующих различными значениями коэффициента жесткости слоя заполнителя.

Результаты расчетов приведены в виде таблицы 1.

Таблица 1

Численные значения решений системы алгебраических уравнений

$k(kg/sm^3)$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
A_0/q	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239
A_2/q	-0,299585	-0,300485	-0,300577	-0,300619	-0,300673
A_4/q	-0,003142	-0,003198	-0,003213	-0,003345	-0,003471
A_6/q	0,000273	0,000265	0,000269	0,000271	0,000289
A_8/q	0,000067	0,000069	0,000072	0,000074	0,000081

По результатам численного примера по рассматриваемой задаче установлено, что внутренние усилия в многослойных плитах, лежащих на однородном основании, по числовым значениям сближаются друг к другу с увеличением жесткостей заполнителя.

Вторая глава диссертации называется «Оценка внутренних усилий в многослойных плитах, лежащих на основании, с учетом касательного напряжения между основанием и плитой». Предполагается что кроме нормальных напряжений, между нижней плитой, имеющие двухсторонние непрерывные контактные связи с основанием. Было проверено влияние этого касательного напряжения на факторы внутренних усилий в плитах и сделаны соответствующие выводы возникают и касательные напряжения.

Первый параграф второй главы посвящен постановке и математическому моделированию задачи. Используются расчетные схемы и обозначения, приведённые на рис.1. Поэтому основными уравнениями, решающими задачу, являются: система дифференциальных уравнений, определяющая вертикальные y_i и горизонтальные u_τ перемещения балочных плит

$$D_i y_i^{IV} = q_i + k_i(y_{i+1} - y_i) - k_{i-1}(y_i - y_{i-1}) - \delta_i(p + 0.5h_1\tau'), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

$$u_\tau = \alpha_3 \int_0^x \int_0^x \tau(s) ds + B_1 x + B_2 - 0.5h_1 y_1'; \quad (10)$$

система интегральных уравнений, определяющая вертикальные V и горизонтальные U перемещение поверхностных точек основания

$$V = \alpha_1 \int_{-l}^l p(s) \ln \frac{1}{|x-s|} ds + \alpha_2 \int_{-l}^l \text{sign}(x-s) \tau(s) ds; \quad (11)$$

$$U = \alpha_1 \int_{-l}^l \tau(s) \ln \frac{1}{|x-s|} ds + \alpha_2 \int_{-l}^l \text{sign}(x-s) p(s) ds; \quad (12)$$

условия взаимного контакта балочных плит с основанием, в виде

$$y_1(x) = V(x); \quad u_\tau(x) = U(x), \quad -l \leq x \leq l \quad (13)$$

Эти интегро-дифференциальные уравнения представляют собой замкнутую систему уравнений. Во втором параграфе второй главы дается способ определения неизвестных рассматриваемой задачи. Использовался метод поиска искомых нормальных и касательных напряжений упругого основания в виде ряда полиномов Чебышева с неизвестными коэффициентами. Согласно этому методу, все неизвестные задачи представляются рядами с двумя неизвестными коэффициентами. Для нахождения этих коэффициентов образуются две взаимосвязанные бесконечные алгебраические системы уравнений. Для простоты, для двух балочных плит относительно неизвестных A_n и B_n образуется бесконечная система алгебраических уравнений в виде:

$$a_{1,k} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{1,n,k}A_n + b_{1,n,k}B_n) = \pi^2 \alpha_1^2 \frac{A_k}{2k}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (14)$$

$$a_{2,k} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{2,n,k}A_n + b_{2,n,k}B_n) = \pi^2 \alpha_1^2 \frac{B_k}{2k}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (15)$$

Здесь $a_{i,k}$, $a_{i,n,k}$, $b_{i,n,k}$, $i = 1, 2$ — известные коэффициенты.

В третьем параграфе второй главы приводится математическое обоснование использованного метода. Для этого получены следующие неравенства, подтверждающие регулярности системы (13).

$$\begin{aligned} |a_{1,k}| \leq \frac{a_1}{2k} p_{k-1}; \quad |a_{2,k}| \leq \frac{a_2}{2k} p_{k-1}; \quad S_k = \sum_{n=0}^{\infty} (|a_{1,n,k}| + |a_{2,n,k}| + |b_{1,n,k}| + \\ + |b_{2,n,k}|) \leq \left\{ l^4 (D_1 + D_2)^{-1} \left[\sum_{n=3}^{\infty} p_{n-3} + D_2 l^{-4} u(3 + 0.5h_1 l^{-1}) \sum_{n=2}^{\infty} p_{n-2} \right] + \right. \\ \left. + [\alpha + 0.5h_1 l^3 (D_1 + D_2)^{-1} + D_2 l^{-4} u] \sum_{n=1}^{\infty} p_{n-1} \right\} p_{k-1}; \quad (16) \end{aligned}$$

а также

$$|a_{1,k}| \rightarrow 0, \quad |a_{2,k}| \rightarrow 0, \quad S_k \rightarrow 0, \quad \text{если } k \rightarrow \infty. \quad (17)$$

Здесь, a_1, a_2, u - постоянные; p_k — норма многочлена Якоби.

В четвертом параграфе второй главы решается задача о двухслойных балочных плитах под действием равномерной непрерывно распределенной внешней нагрузки при граничных условиях вида (7), с учётом касательного напряжения упругого основания. В соответствии с решениями системы бесконечных алгебраических уравнений, соответствующей решаемой задаче, решался численный пример по параметрам вида (8) для численной проверки и оценки внутренних усилий в плитах.

В таблица 2 приведены численные решения 9 неизвестных алгебраических уравнений, в качестве результатов численного примера

соответствующих различным значениям коэффициентов жесткостей заполнителя.

Таблица 2

Численные значения решений систем алгебраических уравнений

$k(kg/sm^3)$	0.25	0.5	0.75	1.00	1.25
A_0/q	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239	1.273239
A_2/q	-0,308264	-0,306441	-0,304161	-0,302753	-0,301269
A_4/q	-0,041247	-0,040962	-0,037824	-0,033472	-0,031643
A_6/q	0,002193	0,002081	0,001973	0,001746	0,001385
A_8/q	0,0003427	0,0003165	0,0002761	0,0002472	0,0002169
B_1/q	0,817618	0,806977	0,793185	0,784676	0,778634
B_3/q	-0,427618	-0,421738	-0,415627	-0,410698	-0,407164
B_5/q	-0,044363	-0,041764	-0,037954	-0,031761	-0,030118
B_7/q	0,001394	0,001169	0,000875	0,000554	0,000347

Графики изгибающих моментов M_1 и M_2 балочных-плит, представлены на рисунке 3. Для сравнения на графиках изгибающие моменты в случаях, когда касательные напряжения не учитываются, отмечены прерывистыми линиями.

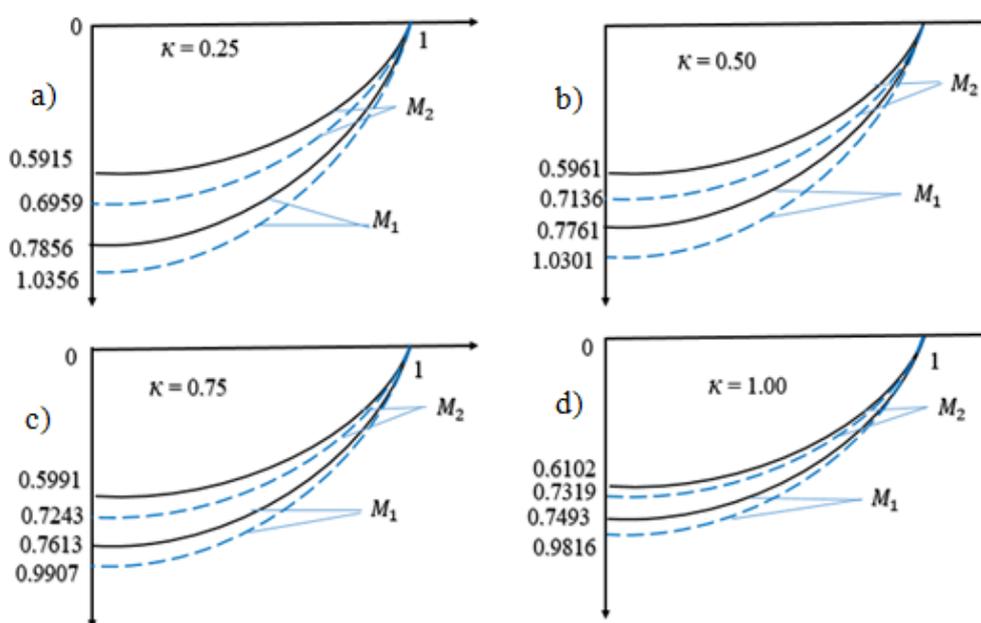


Рис.3 Графики изгибающих моментов в балочных плитах, соответствующих различным значениям коэффициента жесткости заполнителя с учетом касательного напряжения.

В конце главы на основе анализа полученных приведены выводы о влиянии касательных напряжений между основанием и заполнителем на факторы внутренних усилий плит.

Третья глава диссертации посвящена проблеме «Моделирование контактных отношений многослойных пластин с комбинированным основанием».

Здесь исследования осадки комбинированного основания и его влияние на многослойные плиты, представлен в четырех параграфах. Первый параграф третьей главы посвящен постановке и математическому моделированию задачи. В процессе моделирования была принята система дифференциальных уравнений (1), полученная на основе расчетных схем, соответствующих рисунку 1, и использованных обозначений, а также равенство (3), представляющее контактное состояние.

Интегральное уравнение, определяющее осадку V упругого основания, состоящее из комбинации формул Горбунова-Посадова и Циммермана-Винклера, по гипотезе Штаермана, получена в виде:

$$V = \theta \int_{-l}^l p(s) \ln \left(\frac{1}{|x - s|} \right) ds + \lambda p(x). \quad (18)$$

В этой формуле θ, λ – постоянные, являются величинами, зависящими от модуля упругости, коэффициента Пуассона и структуры поверхности. Приведенные равенства (1), (3), (18) образуют систему основных уравнений, решающих рассматриваемую задачу.

Во втором параграфе третьей главы представлен метод определения неизвестных рассматриваемой задачи. Здесь, для интегрального ядра в формуле (18), использовано известное разложение, основанное на полиномах Чебышева первого рода $T_n(x)$:

$$\ln \left(\frac{1}{|x - s|} \right) = -\ln 2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} T_n(x) T_n(s), \quad x \neq s. \quad (19)$$

Поскольку каждое слагаемое разложения образует выражение, разделенное по переменными, был использован известный из математики «метод вырожденных ядер». С целью выяснения аспектов удобства этого метода, применяемого впервые, для простоты рассматривается задача для однослойной, а затем, двухслойной балочной плиты, имеющих контактные взаимосвязи с комбинированным основанием. Получены решения задачи, имеющие общий характер. При получении общего решения задачи, процесс интегрирования интегральных уравнений Фредгольма второго типа, был проведён в полном соответствии с процедурами и условиями метода вырожденных ядер. В результате показано, что искомые осадки и реактивные давления основания, а также внутренние усилия в плитах, могут быть выражены неизвестными постоянными коэффициентами A_n . Для нахождения неизвестных коэффициентов A_n получена система бесконечных алгебраических уравнений вида (5), но отличающаяся от нее известными коэффициентами.

В третьем параграфе третьей главы приведено обоснование используемого метода. Проверены условия регулярности системы бесконечных алгебраических уравнений приведенного вида (5). В результате проверки получены оценки:

$$|a_k| < \infty, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} |a_{n,k}| < \gamma_n \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\gamma_n}{n} < \infty, \quad \gamma_n \rightarrow 0, \quad \text{агар } k \rightarrow \infty \quad (20)$$

Полученные оценки подтверждают, что система, приведенная в виде (5), является регулярной.

В четвертом параграфе третьей главы решается контактная задача о взаимодействии двухслойных балочных плит, нагруженных равномерной непрерывно распределенной нагрузкой, с комбинированным упругим основанием в граничных условиях вида (7). Для численного анализа полученных решений, приведен численный пример, соответствующий различным значениям коэффициента жёсткости заполнителя, параметрическим свойствам основания $\lambda = 0,2 \text{ см}^3/\text{кг}$ и значениям параметров вида (8).

На рисунке 4 представлены графики для изгибающих моментов M_1 и M_2 балочных плит.

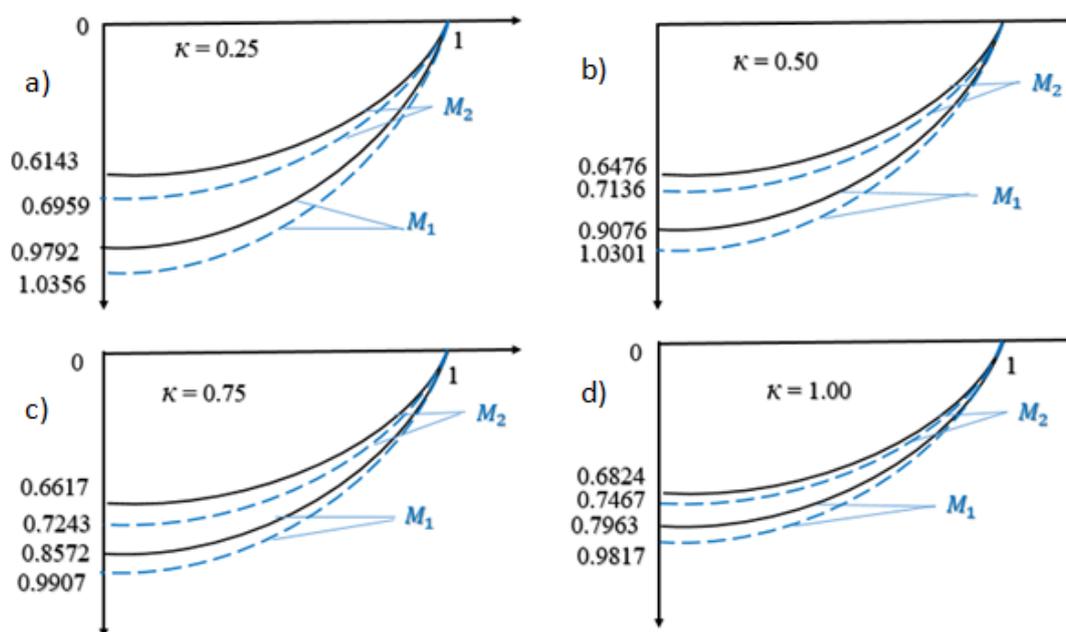


Рис.4 Графики изгибающих моментов в балочных плитах, соответствующих значениям коэффициента жесткости заполнителя

В таблице 3 приведены числовые значения первых трех неизвестных системы уравнений вида (5) по результатам численного расчета.

Таблица 3

Численные значения первых трех решений системы алгебраических уравнений

λ	k	A_0	A_2	A_4
0,2	0,25	$8,2473 \cdot 10^{-1}$	$-1,3961 \cdot 10^{-3}$	$9,8319 \cdot 10^{-5}$
0,2	0,75	$7,8601 \cdot 10^{-1}$	$-1,3165 \cdot 10^{-3}$	$9,5711 \cdot 10^{-5}$
0,2	1,25	$7,5749 \cdot 10^{-1}$	$-1,2774 \cdot 10^{-3}$	$9,2976 \cdot 10^{-5}$

На рисунке 5 представлены графики реактивных давлений основания. Для сравнения, на приведенных графиках прерывистыми линиями обозначены кривые, соответствующие некомбинированному основанию. В конце главы изложены аналитические выводы по решенным задачам.

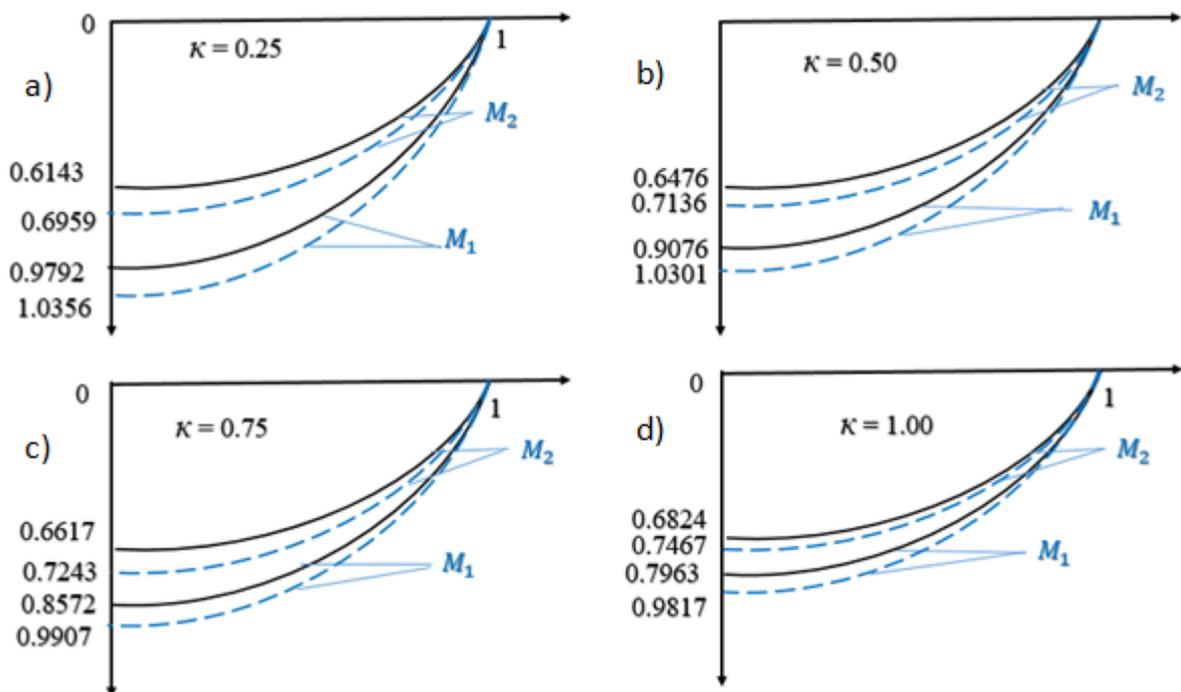


Рис.5 Графики реактивных давлений основания

В конце главы изложены аналитические выводы по решенным задачам.

В четвертой главе диссертации, под названием «Оценка внутренних усилий в многослойных плитах, расположенных на неоднородном основании», включающей 4 параграфа, проведено теоретическое исследование влияния неоднородного упругого основания на внутренние усилия в многослойных плитах.

В первом параграфе четвертой главы приведена постановка и математическое моделирование задачи. Расчетные схемы, соответствующие постановке задачи, и соответствующие обозначения, приняты в соответствии с приведенными выше на рис.1. Таким образом, получены равенства (1) и (2)

для системы дифференциальных уравнений, описывающих изгиба многослойных балочных плит и условия контакта, соответственно. Для модуля упругости (деформации) неоднородного упругого основания получен следующий модуль Г.Клейна:

$$E = E_m y^m, \quad 0 \leq m < 1 \quad (21)$$

Уравнение, определяющее осадку неоднородного упругого основания V получено в виде:

$$V = \frac{\Theta_m}{m} \int_{-l}^l \frac{p(s)}{|x-s|^m} ds \quad (22)$$

Эта зафиксированная и записанная система интегро-дифференциальных уравнений является основными уравнениями, решающими рассматриваемой задачу, и они образует замкнутую систему уравнений.

Во втором параграфе четвертой главы представлен метод решения основных уравнений задачи. Предлагаемый метод основан на получении неизвестного реактивного напряжения неоднородного основания в виде ряда ультрасферических многочленов с неизвестными коэффициентами A_n . В результате все решения системы уравнений, решающей задачу, выражаются этими неизвестными коэффициентами. Для нахождения неизвестных коэффициентов составляется система бесконечных алгебраических уравнений вида (5), в которой неизвестные состоят из этих коэффициентов, но отличающихся от известных коэффициентов. Решения полученной системы бесконечных алгебраических уравнений найдены методом редукции. В третьем параграфе четвертой главы теоретически доказывается правомерность использованного для решения задачи метода. С этой целью, для известных коэффициентов системы, доказано выполнение следующих соотношений:

$$\left(\frac{m}{2} + k\right)^{-1} |a_k| \rightarrow 0, \left(\frac{m}{2} + k\right)^{-1} \sum_{n=1}^{\infty} |a_{n,m}| = S_m \rightarrow 0, \quad \text{при } k \rightarrow \infty. \quad (23)$$

Теоретически доказанные соотношения (23) подтверждают регулярность системы бесконечных алгебраических уравнений и правомерность используемого метода.

В четвертом параграфе четвертой главы решается задача о двухслойной балочной плите, нагруженной непрерывной равномерно распределенной внешней нагрузкой, свободно лежащей на неоднородном упругом основании в граничных условиях вида (7). Получены соответствующие выражения для некоторых коэффициентов системы вида (5), соответствующих полученным решениям.

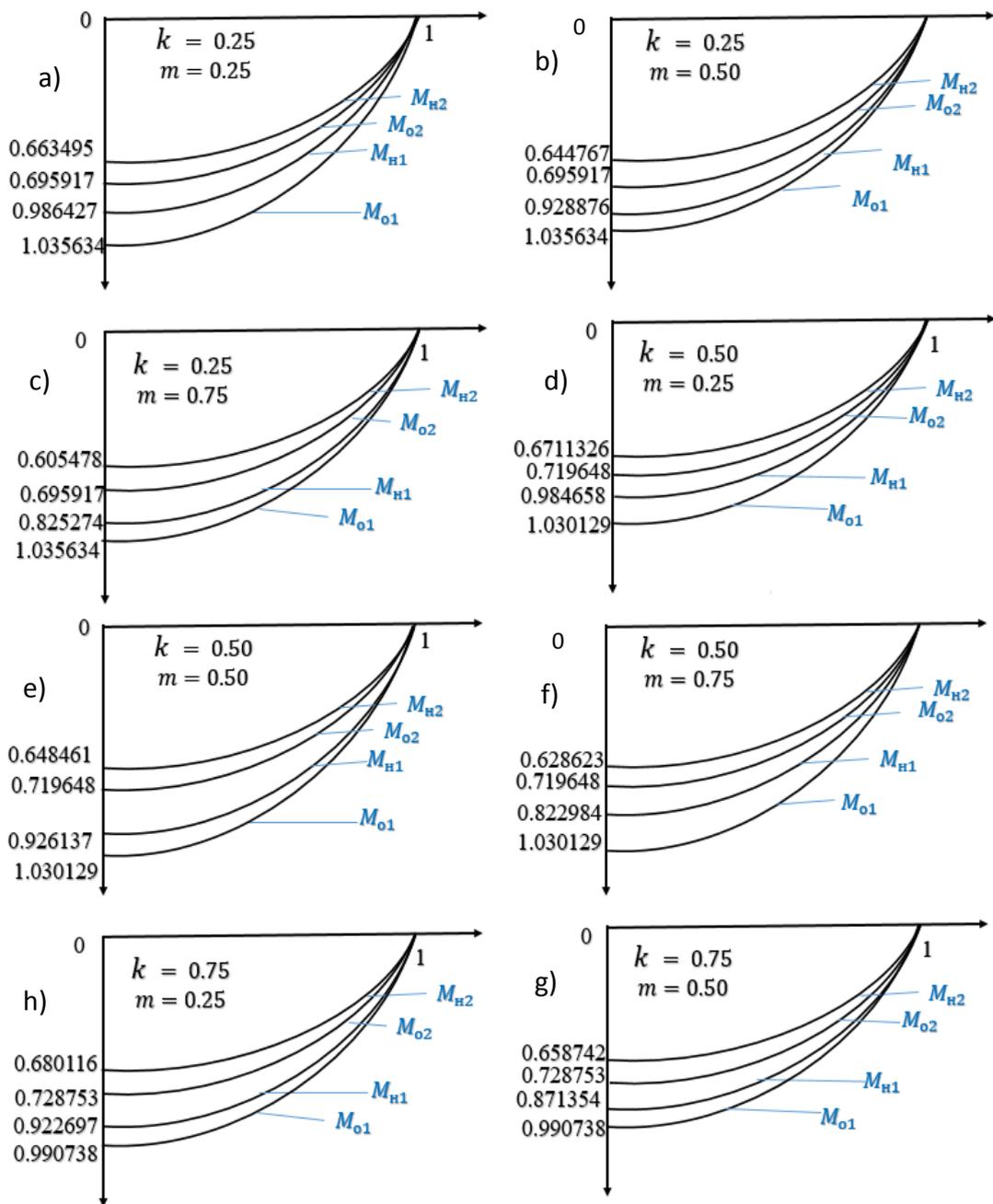


Рис.6 Графики изгибающих моментов в балочных плитах, соответствующие различным значениям коэффициентов неоднородности основания и жесткости слоя заполнителя.

С целью численного анализа рассматриваемой задачи, численные значения первых четырех решений системы алгебраических уравнений, соответствующие различным численным значениям параметров (8), коэффициента неоднородности m основания, а также коэффициенты жесткости k слоя заполнителя, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Численные значения первых четырех неизвестных системы алгебраических уравнений

k	m	A_0/q	A_2/q	A_4/q	A_6/q
0.25	0.25	1.481254	-0.315476	0.128645	0.010763
	0.50	1.669334	-0.343691	0.132736	0.012449
	0.75	1.840725	-0.31765	0.143546	0.012943
0.50	0.25	1.481254	-0.336642	0.137447	0.011346
	0.50	1.669334	-0.365564	0.139871	0.014538
	0.75	1.840725	-0.37884	0.154632	0.015469
0.75	0.25	1.481254	-0.339751	0.137985	0.011964
	0.50	1.669334	-0.371246	0.146945	0.014879
	0.75	1.840725	-0.38126	0.158765	0.015966

Графики изгибающих моментов M_{01} , M_{02} и $M_{н1}$, $M_{н2}$ в первой и второй балочных плитах, соответствующие однородному и неоднородному основанию, с целью оценки внутренних усилий в балочных плитах, основанной заданным числовым значениям, представлены на рисунке 6 между плитами, непосредственно контактирующими с основанием, помимо нормальных напряжений учитываются еще и касательные напряжение. В конце главы представлены аналитические выводы о том, что учет неоднородности упругого основания приводит к уменьшению внутренних усилий в лежащих на нем многослойных плитах.

Пятая глава диссертации имеет название «Учет касательных напряжений в основании при оценке внутренних усилий в многослойных плитах, находящихся во взаимном контакте с неоднородным основанием». Принято, что свойства неоднородности упругого основания по его глубине изменяются по закономерности, выраженной формулой (20), а

В первом параграфе пятой главы приведена постановка задачи и процесс математического моделирования. Уравнения, определяющие вертикальные y_i и горизонтальные u_x перемещения точек балочных плит, как решающие задачу, соответствующих расчетным схемам, на рисунке 1, и их обозначения получены в виде уравнений (9), (10). Для нахождения вертикальных V и горизонтальных U перемещений точек упруго-неоднородного основания, получены системы интегральных уравнений, вида:

$$V = \alpha_1 \int_{-l}^l \frac{p(s)}{|x-s|^m} ds + \alpha_2 \int_{-l}^l \frac{\text{sig}(x-s)}{|x-s|^m} \tau(s) ds, \quad x \neq s, \quad (24)$$

$$U = \alpha_1 \int_{-l}^l \frac{\tau(s)}{|x-s|^m} ds - \alpha_2 \int_{-l}^l \frac{\text{sig}(x-s)}{|x-s|^m} p(s) ds, \quad x \neq s, \quad (25)$$

а контактные условия, соответствующие задаче, получены в виде (13)

Полученные равенства (9), (10), (13), (24), (25) являются основными интегро-дифференциальными уравнениями, решающими задачу и образуют замкнутую систему уравнений.

Во втором параграфе пятой главы показан метод решения рассматриваемой задачи, основанный на ультрасферических многочленах

Гегенбауэра. Здесь для ядер интегральных уравнений (24), (25) использованы следующие известные разложения:

$$\frac{1}{|x-s|^m} = \frac{2^m \Gamma(\frac{m}{2} + 1)}{\Gamma(m) \cos \frac{m\pi}{2}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{m}{2} + i\right) C_i^{\frac{m}{2}}(x) C_i^{\frac{m}{2}}(s); \quad (26)$$

$$\frac{\text{sig}(x-s)}{|x-s|^m} = \frac{\pi 2^{m-1}}{\Gamma(m) \sin \frac{m\pi}{2}} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma^2(m+i)}{\Gamma^2(\frac{m}{2} + i)} P_i^{(\frac{m}{2}-1, \frac{m}{2})}(x) P_i^{(\frac{m}{2}, \frac{m}{2}-1)}(s). \quad (27)$$

В этих равенствах $C_i^\alpha(x)$, $P_i^{(\alpha, \beta)}(x)$ – соответственно, многочлены Гегенбауэра и Якоби.

Для решения задачи использовался метод, основанный на получении неизвестных нормальных и касательных напряжений основания в виде рядов по полиномам Гегенбауэра с неизвестными коэффициентами A_n и B_n , соответственно. Согласно принятой методике показано, что все решения задачи, соответствующие уравнениям, выражаются через неизвестные коэффициенты A_n, B_n . Для определения этих коэффициентов образована система бесконечных алгебраических уравнений вида:

$$a_{1,i} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{1,n,j} A_n + b_{1,n,j} B_n) = \left(\frac{m}{2} + j\right) a_{0,j} A_j + \sum_{n=0}^{\infty} B_{n,j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (28)$$

$$a_{2,i} + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{2,n,j} A_n + b_{2,n,j} B_n) = \left(\frac{m}{2} + j\right) a_{0,j} B_j - \sum_{n=0}^{\infty} A_{n,j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (29)$$

В этих уравнениях $a_{r,i}$; $a_{r,n,j}$; $b_{r,n,j}$ являются известными коэффициентами.

В третьем параграфе пятой главы показано обоснование используемого метода решения задачи. Для известных расчетных коэффициентов системы бесконечных алгебраических уравнений (28), (29) и абсолютных рядов, соответствующих сумме известных коэффициентов, получены следующие оценки:

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} |a_{1,j}| < a_1 \alpha_j < \infty; \left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} |a_{2,j}| < a_2 \alpha_j < \infty; \quad (30)$$

$$a_1, a_2 = \text{const}, \alpha_j \rightarrow 0, \quad \text{агап } j \rightarrow \infty; \quad (31)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |a_{1,n,j}| < S_1 \alpha_j < \infty; \left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |a_{2,n,j}| < S_2 \alpha_j < \infty; \quad (32)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |b_{1,n,j}| < S_3 \alpha_j < \infty; \left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} |b_{2,n,j}| < S_4 \alpha_j < \infty; \quad (33)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| \sum_{n=0}^{\infty} d_{2n,n-j} d_{2n,0} \left\| C_{2n}^{\frac{m}{2}} \right\| \leq S_5 \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| < \infty; \quad (34)$$

$$\left(\frac{m}{2} + j\right)^{-1} \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| \sum_{n=0}^{\infty} d_{2n,n-j} \sum_{k=0}^n d_{2n,n-k} \left\| C_{2k}^{\frac{m}{2}} \right\| \leq S_6 \left\| C_{2j}^{\frac{m}{2}} \right\| < \infty. \quad (35)$$

Здесь S_n , $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ – постоянные величины, являющиеся суммами сходящихся абсолютных рядов; $\left\| C_{ij}^{\frac{m}{2}} \right\|$ – норма многочлена Гегенбауэра, d_{ij} – постоянные известные коэффициенты. Указанные неравенства (30)-(35) подтверждают, что система бесконечных алгебраических уравнений (28), (29) является регулярной системой и что метод решения рассматриваемой задачи является правильным.

В четвертом параграфе пятой главы решаются задачи, связанные с применением предлагаемого метода. Сначала получено решение уравнений изгиба в общем виде для случая, когда учитываются касательные напряжения в контакте однослойных балочных плит с неоднородным основанием, а затем частное решение, удовлетворяющее граничным условиям (7), соответствующим действию равномерно распределенной внешней нагрузки.

Приведен численный пример, соответствующий значениям параметров в виде (8). Численные значения первых семи неизвестных системы уравнений (28), (29), соответствующие различным коэффициентам неоднородности основания и соответствующие им максимальные значения изгибающих моментов в балочных плитах, без учета касательных напряжений $M_{6,1}$, с учетом касательных напряжений $M_{c,1}$, соответствующие центру симметрии, показаны как результаты расчета, представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Численные значения решений системы алгебраических уравнений

m	A_0/q	B_1/q	A_2/q	B_3/q	A_4/q	B_5/q	A_6/q
0,25	0,740675	0,409814	-0,176617	-0,083851	0,092561	-0,017856	-0,007354
0,50	0,834626	0,416932	-0,197452	-0,097463	0,095487	-0,018309	-0,007869
0,75	0,920360	0,427683	-0,206857	-0,130468	0,099763	-0,019574	-0,008273

Таблица 6

Максимальные числовые значения изгибающих моментов

m	Числовые значения изгибающих моментов $M_{6,1}$, $M_{c,1}$	
	$M_{6,1}(0)/(ql^2)$	$M_{c,1}(0)/(ql^2)$
0,25	0,69230756	0,60841927
0,50	0,63861953	0,54124623
0,75	0,55637869	0,31759136

В качестве иллюстрации результатов расчета показаны на рисунке 7 графики изгибающих моментов в балочных плитах.

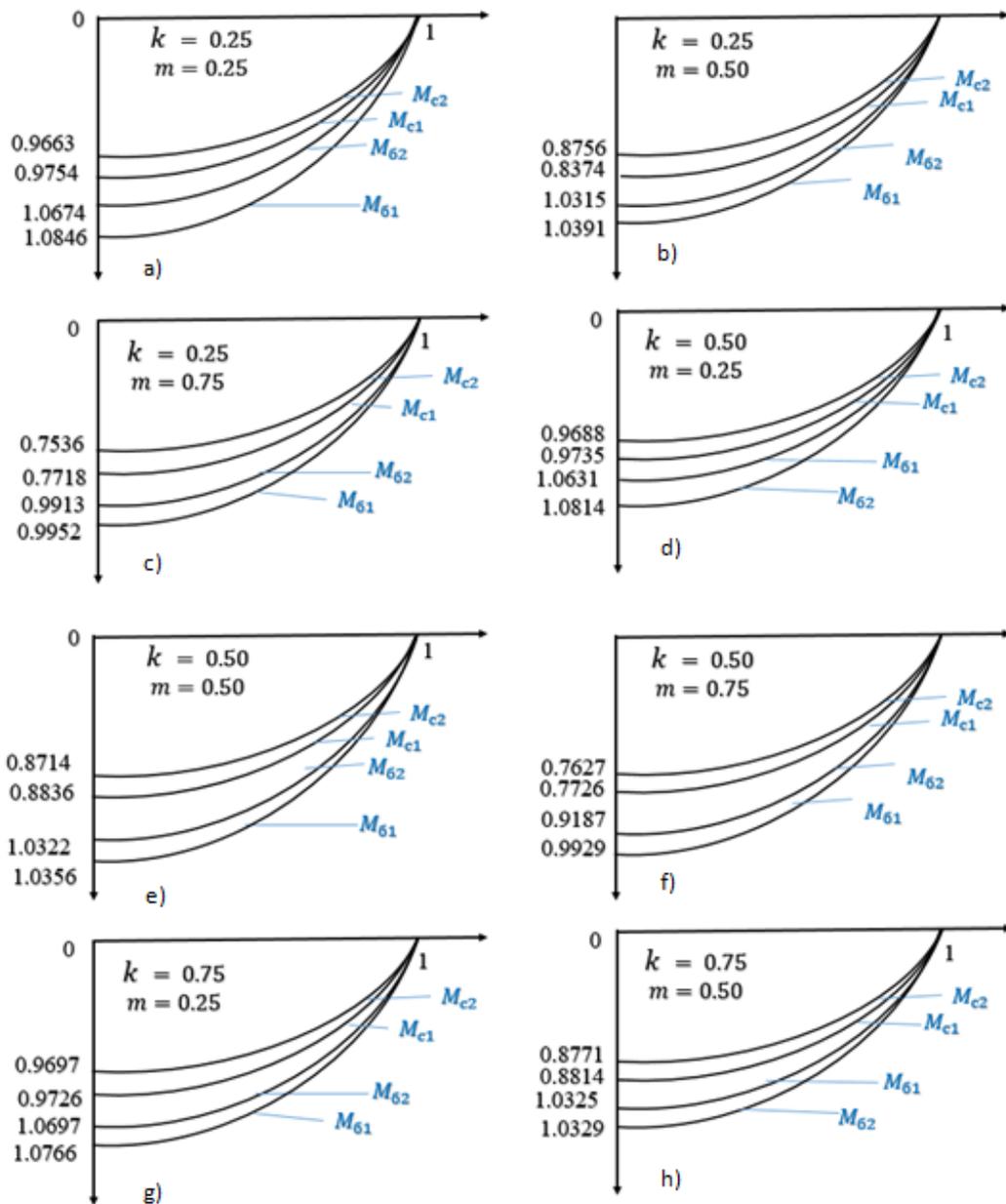


Рис.7 Графики изгибающих моментов в балочных плитах, соответствующие различным значениям коэффициентов неоднородности основания и жесткости слоя заполнителя.

На этих графиках использованы обозначения для изгибающих моментов в первой и второй балочных плитах без учета касательных напряжений M_{61} и M_{62} , и с учетом касательных напряжений M_{c1} и M_{c2} , соответствующих свойствам неоднородного основания

По результатам численного расчета сделан вывод, что увеличение коэффициента неоднородности основания при учете касательных напряжений в основании, приводит к значительному снижению изгибающих моментов в плитах.

Получено общее решение задачи о двухслойных балочных плитах и частные решения, соответствующий величинам вида (8).

По результатам расчета получены численные значения первых 7 неизвестных системы уравнений (28), (29), соответствующие разным значениям коэффициентов неоднородности основания и слоя заполнителя (приведены в табл.7).

Таблица 7

Численные значения семи неизвестных системы уравнений

k	m	A_0/q	B_1/q	A_2/q	B_3/q	A_4/q	B_5/q	A_6/q
0,25	0,25	1.48125	0,81947	-0,26758	-0,16567	0,06917	-0,02963	0,00349
	0,50	1,66925	0,95386	-0,29619	-0,17694	0,07228	-0,03634	0,00478
	0,75	1.84072	0,97164	-0,31765	-0,19183	0,08635	-0,03967	0,00619
0,50	0,25	1.48125	0,81973	-0,26764	-0,16376	0,06935	-0,02987	0,00356
	0,50	1,66925	0,95434	-0,29657	-0,17712	0,07253	-0,03609	0,00487
	0,75	1.84072	0,97216	-0,31784	-0,19195	0,08664	-0,03973	0,00841
0,75	0,25	1.48125	0,81986	-0,26785	-0,16588	0,06951	-0,02993	0,00371
	0,50	1,66925	0,95481	-0,29673	-0,17756	0,07269	-0,03681	0,00498
	0,75	1.84072	0,97289	-0,31796	-0,19814	0,06676	-0,03986	0,00659

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана математическая модель для оценки изгиба многослойных плит, лежащих на однородном, неоднородном и комбинированном основании с учетом нормальных и касательных напряжений в основании.

2. Разработан аналитический метод и усовершенствованный алгоритм для оценки изгиба многослойных плит, контактирующих с основанием, с учетом свойств основания при оценке внутренних напряжений в плитах, основанный на использовании ортогональных многочленов.

3. Аналитическое решение интегрального уравнения Фредгольма, определяющего осадку комбинированного основания, имеющего взаимосвязь с многослойными плитами, получено методом выраженных ядер. Доказано преимущество этого метода.

4. Согласно разработанного способа оценки изгиба многослойных плит, основанного на теоретическом анализе приведенных бесконечных алгебраических уравнений, обосновано существование единственного приближающегося решения.

5. При оценке изгиба многослойных плит, учитывая их контакт с разнохарактерными основаниями, теоретически обоснована регулярность полученных бесконечных систем алгебраических уравнений, системы решены способом редукции и доказано удобство этого аналитического способа.

6. При учете касательных напряжений между основанием и многослойными плитами, в процессе решения интегральных уравнений,

определяющих перемещение точек неоднородных оснований, получены следующие результаты:

установлено новая формула, выражающая многочлены Якоби через ультрасферические многочлены Гегенбауэра;

для сингулярных интегралов, соответствующих интегральному уравнению, определена совокупность собственных функций, состоящих из ультрасферических многочленов Гегенбауэра;

для ядра интегрального уравнения построены новые разложения в ряд, выраженные через сумму ультрасферических многочленов Гегенбауэра;

7. Даны рекомендации по достаточному числу слагаемых членов рядов, обеспечивающих достаточную точность и быстрое выполнение соответствующих проектных работ, когда реактивные напряжения основания определяются в виде рядов ортогональных многочленов.

8. Доказано, что изменение коэффициентов жесткости заполнителя приводит к значительному изменению внутренних напряжений в плитах, в частности, повышению жесткости заполнителя приводит к сближению по величине напряжений в плитах друг к другу.

9. Установлено, что учет касательных напряжений между плитой и основанием, приводит к значительному снижению внутренних напряжений в плитах.

10. Доказано, что рост свойства неоднородности основания приводит к уменьшению внутренних усилий в плитах и перераспределению реактивных напряжений в основании.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019. T/FM.61.01 AWARDED THE
SCIENTIFIC DEGREE AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES**

**“TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL
MECHANIZATION ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH
UNIVERSITY**

MAMASOLIEV KAZOKBOY

**MATHEMATICAL MODEL AND ANALYTICAL METHODS FOR
EVALUATION OF INTERNAL FORCES OF MULTILAYER PLATES
LAYING ON THE BASE**

01.02.04 – Mechanics of a deformable solids

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc)
ON PHYSICAL-MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent 2023

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2023.1.DSc/FM211

Dissertation has been prepared at Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers National research university.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website ((www.instmech.uz) and the “Ziyonet” Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser:

Shirinkulov Toshpulot Shirinkulovich

doctor of technical sciences, professor, academician AS RUz.

Mirsaidov Mirziyod Mirsaidovich

doctor of technical sciences, professor, academician AS RUz.

Official opponents:

B.M. Mardonov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor

B.E. Khusanov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor

P.J. Matkarimov

Doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Tashkent University of Architecture and Civil Engineering

The defense will take place « ____ » _____ at ____ at the meeting of the Scientific council DSc 02/30.12.2019.T/FM.61.01 at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of AS RUz (Address: : 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33, зал заседаний-1. Тел: (99871) 262-71-52, Факс: (99871) 262-71-32, e-mail insmech@academy.uz).

The doctoral dissertation can be found at the Information Resource Centre of the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of AS RUz. (registered with № ____) at the address: 100125, Tashkent, Dorman yoli street 33. Tel: (99871) 237-71-52.

Abstract of dissertation was sent « ____ » _____ (register of the distribution protocol № _____ from « ____ » _____)

R.A. Abirov

Chairman of the one-time scientific council for awarding scientific degrees, doctor of physical and mathematical sciences

M.K. Usarov

Scientific secretary of Scientific Council for awarding scientific degrees, doctor of physical and mathematical sciences

B.E. Khusanov

Chairman of the one-time scientific seminar under the one-time scientific council for awarding scientific degrees, doctor of physical and mathematical sciences

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of research. Developing mathematical models and improving methods for solving problems related to the bending of multilayer plates lying on an elastic foundation, developing analytical methods for problem-solving, evaluating internal tension forces in plates during the solution of the problem by applying simple orthogonal polynomials, analyzing the effect of the filler layer between the plates on the stresses in the plates, determining the influence of various properties of the elastic foundation (such as uniformity, heterogeneity, and combination) on the plates, and analyzing and evaluating the relationships between the reactive stresses of the base and the internal forces in the plates.

The object of the study is a theoretical study of the problems of elastic half-phase bonding of multilayer plates with various static loads and various mechanical properties.

Research methods. Based on the principles of the general order of the theory of elasticity, the issues under consideration are presented in a closed system of integro-differential equations. The kernel in the integral equation for determining the settlement of an elastic foundation is expanded using a set of orthogonal polynomials. The base reactive stresses are represented as a series of orthogonal polynomials with unknown coefficients. The problem is reduced to the solution of a system of infinite algebraic equations. The regularity of the system of infinite algebraic equations is demonstrated and solved using the reduction method.

The subject of the study is to study the two-way interaction of several plates with a filler layer between them with an elastic base, taking into account various static loads and various mechanical and geometric parameters.

The scientific novelty of the study is as follows:

a mathematical model has been developed for assessing the internal forces during bending of multilayer slabs interacting with the soil, taking into account the homogeneity, heterogeneity and combined properties of the soil;

a new analytical method and algorithm based on orthogonal polynomials have been developed to estimate the internal forces during bending of multilayer slabs interacting with the soil, taking into account various soil properties;

the uniqueness and existence of the created analytical method and the resulting system of infinite algebraic equations for assessing the internal force factors arising in slabs during bending are shown;

a new formula has been developed based on the Jacobi and Gegenbauer polynomials to estimate the internal forces arising in the slabs, taking into account the shear stresses between the multilayer slabs and the soil;

a method has been developed for assessing the internal forces arising in the structural elements of multilayer slabs interacting with the soil base;

it was determined that an increase in the elasticity coefficient of the filler will lead to a decrease in the internal forces in the slabs resting on a non-uniform base and a redistribution of the reactive forces of the base.

Implementation of research results.

Based on the results obtained from the mathematical model and calculation methods using an improved algorithm for the development of the theory of contact interactions of layered structures consisting of rigid bodies:

a method was used to determine the internal forces in the slabs due to the different properties of the soil base and filler between the layers of the slabs (Certificate of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan dated August 24, 2023 No. 08-06/8408). As a result of using the research results, a reduction in internal stress forces in foundation slabs was achieved by 1.23 times;

to obtain an analytical solution, a formula was used that connects the Gegenbauer polynomials with the Jacobi polynomials, used in solving contact problems about the bending of multilayer slabs lying on an elastic foundation. The research results made it possible to construct solutions with an accuracy of 10^{-2} with three terms of the ultra-spherical polynomial. (Certificate of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan dated August 24, 2023 No. 08-06/8408).

The scientific, theoretical and practical conclusions of the dissertation work were used in developing the program for the subject “Mathematical modeling in calculations and research of building structures” for the master’s specialty “70730304 – Installation of building structures, special equipment and engineering systems” (certificate No. 01-02-01-17 of the Ministry higher education, science and innovation of the Republic of Uzbekistan dated February 8, 2023). The subject, newly developed based on the results of research, is used when teaching the course “Mathematical modeling in calculations and research of building structures” to master’s students.

The results of the research made it possible to increase the accuracy of calculations in the design and construction of a building (“O’ZSHAHARSOZLIK LITI” DUK (August 21, 2023)). As a result, it was possible to save up to 7% in the time required for the initial technical processing of the building’s location in accordance with the soil foundation, and in capital funds spent.

Research publications. 26 scientific papers have been published on the topic of the dissertation, including 2 monographs, 16 scientific articles, 1 certificate of intellectual property rights, 7 published in collections of materials of international and republican scientific-practical conferences and seminars. In scientific journals recommended for publication of the main scientific results of doctoral dissertations of the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan, 14 articles were published, of which 4 were in foreign publications, 10 were in republican publications. 2

scientific articles were published in collections of scientific articles of international scientific competitions.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, 5 chapters, a conclusion, a list of references. The volume of the dissertation is 196 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I част; part I)

1. Мамасолиев К. Решение контактной задачи для трёхслойных плит, взаимодействующих с комбинированным основанием. // Узбекский журнал “Проблемы механики”. -1996. -№ 5, -с. 10-13. (01.00.00.; № 4).
2. Мамасолиев К. Определение давления на комбинированном неоднородном основании//ДАН РУз., Математика, технические, науки естествознание. -1997. -№ 2, -с. 21-24. (01.00.00.; № 7).
3. Ширинкулов Т.Ш., Мамасолиев К. Изгиб балочных плит, лежащих на комбинированном основании//ДАН. РУз., Математика, технические, науки естествознание. -1997. -№ 11, -с. 32-36. (01.00.00.; № 7).
4. Мамасолиев К. Изгиб балочных плит, лежащих на комбинированном основании, с учетом силы трения. ДАН РУз., Математика, технические, науки естествознание. 7-1998. -№ 7, -с. 19-23. (01.00.00.; № 7).
5. Ширинкулов Т.Ш., Мамасолиев К. Изгиб нескольких трёхслойных плит, лежащих на упругом основании, с учетом силы трения по контакту//ДАН РУз., -1999. -№ 3, -с. 22-25. (01.00.00.; № 7).
6. Мамасолиев К. Изгиб двух трёхслойных балочных плит, лежащих на упругом основании// Проблемы архитектуры и строительства. -2004. -№1, -с. 23-24. (01.00.00.; № 14).
7. Хасанов А.З., Мамасолиев К., Хасанов З.А., Турсунов Ш.А. Определение напряжений в массиве грунта от действия внешних нагрузок. //Узбекский журнал «Проблемы механики». -2017. -№2-3, с.38-46. (01.00.00.; № 4).
8. Мамасолиев К. Применение ортогональных полиномов к решению контактной задачи об изгибе трехслойных балочных плит, взаимодействующих с основанием// Узбекский журнал “Проблемы механики”. -2018. - №3, -с .3-6(01.00.00.; № 4).
9. Мамасолиев К., Гайбулов Ю. Изгиб трехслойных балочных плит взаимодействующие ипругоползучем неоднородном основании// Проблемы архитектуры и строительства. -2019. -№3, -с. 166-168. (05.00.00.; № 14).
10. Mirsaidov M.M., Mamasoliev K. Contact problems of plates interaction on an elastic foundation. ICECAE IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci. 614.1-14, (2020). DOI:10.1088/1755-1315/614/1/012089(№ 3; Scopus; IF=0,44).
11. Mirsaidov M., Mamasoliev K., Ismayilov K. Bending of Multilayer Slabs Lying on Elastic Half-Space, Considering Shear Stresses. Proceedings of MPCRE 2021 pp. 93–107., DOI: 10.1007/978-3-030-85236-8_8 (№ 3; Scopus; IF=0,46).

12. Mirsaidov M.M., Mamasoliev K. Contact interactions of multi-layer plates with a combined base. AIP Conference Proceedings 2637, 050001 (2022). Doi:10.1063/5.0118870 (№ 3; Scopus; IF=0,40).
13. Мамасолиев К., Синдаров Ж., Тошматов Э. Оценка внутренних силовых факторов в многослойных балочных плитах на упругом основании// Узбекский журнал. “Проблемы механики”. -2022. -№ 1-2, с. 62-71. (01.00.00.; № 4).
14. Mirsaidov M.M., Mamasoliev K. Contact interaction of multilayer slabs with an inhomogeneous base. Magazine of Civil Engineering. 2022. 115(7). Article No. 11504. DOI: 10.34910/MCE.115.4 (№ 3; Scopus; IF=1,84).

II бўлим (II част; part II)

15. Мамасолиев К. Применение ортогональных полиномов в расчетах плит. Монография. Изд. “MASHNUR-PRESS” 2019 г. Ташкент. 160 с. ISBN 978-9943-5671-5-3
16. Мамасолиев К. Uch qatlamli plitalar hisobida ortogonal ko'phadlarning qo'llanilishi. Monografiya. “SAHHOF” MCHJ, 2020 y. 148 bet. Toshkent. ISBN 978-9943-6664-2-9
17. Мамасолиев К. «Консультационный центр интеллектуальной собственности» Свидетельство №003720. Примененеие ортагональных полиномов в расчетах плит. Монография 2021. Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан.
18. Кубаймурадов Д., Мамасолиев К. Расчет двухслойных балочных плит, лежащих на неоднородном основании. Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, состоявшегося 11 мая 2021 г. в г. Петрозаводске. pp.-55-67. ISBN 978-5-00174-229-6
19. Кубаймурадов Д., Мамасолиев К. Решение контактной задачи о взаимодействии трехслойных балочных плит и основания. Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, состоявшегося 29 августа 2022 г. в г. Петрозаводске. pp.-59-71. ISBN 978-5-00174-672-0
20. Ширинкулов Т.Ш., Мамасолиев К. Продольно – поперечный изгиб ленточных фундаментов с учетом влияния касательных реактивных давлений. Материалы международной конференции // Проблемы механики и сейсродинамики сооружений// 2004 г. Ташкент. С. 67-70.
21. Мамасолиев К. Изгиб нескольких трёхслойных балочных плит лежащих на линейно – дефармируемом основании. Сб.тр. республиканской научной конференции Актуальные проблемы механики контактного взаимодействия 1997 г., Самарканд. С.107-110.
22. Mamasoliev K. Longitudinal-transversal bend of banding-shape foundations on the interacting with band-cooping friction. 14 th United States National Congress on Theoretical and Applied Mechanics. (USNCTAM14). 2002. Blacksburg, Virginia. U.S.A. 1s.

23. Мамасолиев К., Мамасолиев О. Решение контактной задачи однородном основании. Материалы международной конференции Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем. 2013 г Самарканд. Книга 2, с. 325 – 327.
24. Мамасолиев К. Решение контактной задачи об изгибе двух трёхслойных балочных плит, лежащих на упругом неоднородном основании. Материалы международной научно – механической конференции // Перспективы применения инновационных технологий в сфера архитектуры и строительства 2016 г. Самарканд. Книга I, с. 166-168.
25. Мамасолиев К., Усанов К. Решение задачи об изгибе об изгибе трехслойных балочных плит, взаимодействующих упругими основаниями с учетом реактивных нормальных и касательных давлений основания. // Таълим, фан ва ишлаб чиқариш интеграциясида интеллектуал салоҳиятли ёшлар мамлакат тараққиётининг муҳим омили. 12-республика илмий – амалий конференцияси. 2016 й. Самарканд. 155 – 158 бетлар.
26. Хасанов А.З., Хасанов З.А., Мамасолиев К., Турсунов Ш.А. Определение напряжений в массиве грунта от действия внешних нагрузок. Материалы международной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития строительной механики на основе компьютерных технологий и моделирования» 16-17 июня 2017 г. Самарканд. с. 230-234.