

**МЕХАНИКА ВА ИНШООТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**МЕХАНИКА ВА ИНШООТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ**

УСАРОВ МАҲАМАТАЛИ КОРАБОЕВИЧ

**ҚАЛИН АНИЗОТРОП ПЛАСТИНАЛАРНИНГ БИМОМЕНТЛИ
НАЗАРИЯСИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

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

Тошкент–2018

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации
Contents of the doctoral (DSc) dissertation abstract

Усаров Махаматали Корабоевич

Қалин анизотроп пластиналарнинг бимоментли назарияси..... 3

Усаров Махаматали Корабоевич

Бимоментная теория толстых анизотропных пластин 28

Usarov Makhamatali Koraboevich

Bimoment theory of the thick anisotropic plates.....56

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 60

**МЕХАНИКА ВА ИНШООТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**МЕХАНИКА ВА ИНШООТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ**

УСАРОВ МАҲАМАТАЛИ КОРАБОЕВИЧ

**ҚАЛИН АНИЗОТРОП ПЛАСТИНАЛАРНИНГ БИМОМЕНТЛИ
НАЗАРИЯСИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

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

Тошкент–2018

Физика-математика фанлари доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2018.3.DSc/FM18 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (реюзме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.instmech.uz) ва «Ziyonet» ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Рашидов Турсунбай

техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Сафаров Исмоил Иброҳимович

физика-математика фанлари доктори, профессор

Ахмедов Ақром Бурханович

физика-математика фанлари доктори

Абдиқаримов Рустамхан Алимханович

физика-математика фанлари доктори

Етакчи ташкилот:

Самарқанд давлат университети

Диссертация ҳимояси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ва Тошкент ирригация ва кишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти ҳузуридаги DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «3» октябр соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниёзий кўчаси, 39, 4 - мажлислар зали. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiame.uz).

Диссертация билан Тошкент ирригация ва кишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (38 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниёзий кўчаси, 39, Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Диссертация автореферати 2018 йил «12» сентябр куни тарқатилди.
(2018 йил «12» сентябрдаги 1 рақамли реестр баённомаси).

М.М. Мирсаидов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор, академик

Б.А. Худаяров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д.

Р.А. Абиров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д.

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда учуш аппаратлари, қишлоқ хўжалиги техникаси ва автомобилларни ишлаб чиқариш ҳамда кўп қаватли бино ва иншоотлар, мураккаб ер ости қувур тизимларини янги технологиялар асосида барпо этиш муҳим ҳисобланади. Сўнгги йилларда кўпгина ривожланган мамлакатларда анъанавий металл конструкциялар ўрнини енгил, мустаҳкам композит материаллардан ясалган анизотроп конструкциялар эгалламоқда. Композит материалларнинг қўлланилиши металл конструкцияларга нисбатан вазнининг 20-40% камайишига, мустаҳкамлигини эса 1,5-2 марта ортишига олиб келади. «Жаҳон миқёсида композит материаллар ишлаб чиқариш бўйича: Хитой - 28%, АҚШ - 22% ва Европа иттифоқи - 14% улушлари билан етакчи давлатлардан ҳисобланади»¹. Шу жиҳатдан конструкциялар пластинасимон элементларининг мустаҳкамлиги ва устуворлигини таъминлаш учун уларнинг фазовий деформацияланиши ва анизотроп хоссаларини ҳисобга олувчи пластиналар назариясини ривожлантириш, ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш, конструкция ва иншоотларнинг хизмат қилиш муддатини оширувчи замонавий ресурстежамкор усуллар ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда конструкцияларнинг қалин пластинасимон ва стержен кўринишидаги элементларини анизотроп хусусиятларини инобатга олган ҳолда уларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳоловчи самарали усулларни ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан конструкциялар элементларининг мустаҳкамлиги ва устуворлигини таъминлаш мақсадида анизотроп пластиналар назариясини ривожлантириш, конструкция элементлари ва иншоотларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолашнинг самарали усулларини ҳамда ҳисоблаш алгоритм ва дастурларини ишлаб чиқиш каби йўналишлардаги мақсадли илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Шу билан бирга бино ва иншоотларнинг динамик характеристикалари ва ҳолатларини баҳолашнинг ҳисоблаш усуллари, алгоритм ва дастурларини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизда автомобиллар ва қишлоқ хўжалиги машиналарини ишлаб чиқаришга ҳамда кўп қаватли бино ва иншоотлар, мураккаб кўринишдаги ерости муҳандислик полимер қувурлари системасини лойиҳалаш ва барпо этишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида, жумладан "... миллий иқтисодиётимизнинг рақобатбардошлигини ошириш учун янги замонавий технологияларни жорий этиш"² вазифалари белгилаб берилган. Ушбу вазифани амалга ошириш, жумладан бино ва иншоотлар, конструкция элементлари материалларининг

¹ <http://www.composites-cis.com/materials/ru/1.pdf>

² 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон "Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги" Фармони.

анизотроп хоссаларини ҳисобга олувчи қалин пластиналар назариясини ривожлантириш ва сейсмик мустаҳкамликнинг амалий масалаларини ечишда қўлланиладиган бино ва иншоотларнинг фазовий динамик пластинасимон моделини ишлаб чиқиш, бимоментларни инобатга олган ҳолда қалин пластиналарни ҳисоблашнинг статик ва динамик усуллари, алгоритмлари ва ҳисоблаш дастурларини ишлаб чиқиш муҳим илмий аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги, 2017 йил 1 июндаги ПФ-5066-сон “Фавқулодда вазиятларнинг олдини олиш ва уларни бартараф этиш тизими самарадорлигини тубдан ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Фармони, 2017 йил 9 августдаги ПҚ-3190-сон “Ўзбекистон Республикаси ҳудуди ва аҳолисининг сейсмик хавфсизлиги, сейсмик чидамли қурилиш ва сейсмология соҳасида илмий тадқиқотлар ўтказишни янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарори, Вазирлар Маҳкамасининг 2007 йил 3 апрелдаги 71-сон “Фавқулодда вазиятларни башорат қилиш ва олдини олиш бўйича Давлат дастури тўғрисида”ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятларга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. “Математика, механика, иншоотлар сейсмодинамикаси ва информатика” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертациянинг мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи³. Қалинлиги бўйича кўчишлар тақсимланишининг чизиксиз қонуниятларини ҳисобга олган ҳолда қалин анизотроп пластиналар назарияси ва ҳисоблаш усуллари тақомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан Washington университети, Seattle университети, Blacksburg университети (USA), Paris университети (France), Гюмюшан университети, Трабзон Карадениз техника университети (Туркия), Shanghai университети, Hunan университети (China), Darmstadt механика институти (Germany), Zagreb университети (Croatia), Pusan университети (Korea), Механика муаммолари институти, Москва давлат университети, Санкт-Петербург техника университети, Самара давлат университети (Россия

³ Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи, <http://www.mathnet.ru>; <http://msp.org/jomms/about/cover/cover.html>; <http://link.springer.com>; <http://www.sciencedirect.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; Изв. РАН, МТТ, - 2016, №5, - С.22-35; Изв. РАН, МТТ, -2017, №2, - С.32-45; Двухмерная модель пластины из анизотропного неоднородного материала // Изв. РАН. МТТ. - 2017. - № 2. - С. 32-45; Free axisymmetric vibration of FGM circular plates // Applied Mathematics and Mechanics, - 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. Динамическая устойчивость вязкоупругих гибких пластин переменной жесткости при осевом сжатии.//Прикладная механика, - 2014. - №4 (50). - С. 41-51. ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

Федерацияси), Белоруссия давлат транспорт университети (Белоруссия), Донецк давлат институти (Украина), Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти, Ўзбекистон Миллий университети, Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти, Самарқанд давлат университетида (Ўзбекистон) кенг камровли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Турли чегаравий шартларда қалин анизотроп пластиналарнинг статик ва динамик кучлар таъсирига ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш бўйича дунёда тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан қуйидаги илмий натижалар олинган: қалин изотроп ва анизотроп пластиналарнинг цилиндрик эгилиши ва тебраниши масалаларининг ечиш усуллари ишлаб чиқилган (Washington университети, Seattle университети, Blacksburg университети, USA, Paris университети, France, Hunan университети, China, Pusan миллий университети, Korea); эластик асосдаги қалин изотроп ва анизотроп пластиналарнинг цилиндрик эгилишдаги кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолаш сонли усуллари асоснинг кўндаланг силжиш деформацияларини инобатга олиш билан такомиллаштирилган (Гююшан университети, Туркия); вақт ва чегаравий шартларга боғлиқ бўлган қалин пластиналарнинг динамик модели қурилган (Tongji университети, Shanghai университети, China, Darmstadt механика институти, Germany); классик ва аниқлаштирилган пластиналарнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолаш усуллари ишлаб чиқилган (Москва давлат университети, Санкт-Петербург техника университети, Россия); кўчишларни қаторга ёйиш усули асосида уч қатламли пластиналарнинг ҳисоблаш усуллари ва эгилиш назарияси яратилган (Белоруссия давлат транспорт университети, Белоруссия, Донецк давлат университети, Украина); пластиналарнинг эркин ва мажбурий тебраниши масалаларини ечиш усуллари ишлаб чиқилган (Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти, Ўзбекистон Миллий университети, Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти, Самарқанд давлат университети, Ўзбекистон).

Дунёда пластиналарнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатига кўчиш ва кучланишларнинг қалинлик бўйича чизиксиз қонуният асосида ўзгаришининг, материалларнинг анизотроп хоссалари ва чегаравий шартларнинг таъсирини баҳолаш юзасидан самарали усулларини ишлаб чиқиш бўйича, жумладан қуйидаги қатор устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: пластиналар фазовий деформацияланишини тўлиқ ифодаловчи назарияларни деформацияланувчан қаттиқ жисм механикасининг умумий қонунларини қўллаш ҳисобига такомиллаштириш; статик ва динамик кучлар таъсирида изотроп ва ортотроп пластиналарнинг ҳисоблаш усуллари ва дастурларини ишлаб чиқиш; пластина материалининг анизотроп хусусиятлари ва дискрет тузилишининг таъсирини баҳолаш муаммоларини ечишнинг самарали усулларини ишлаб чиқиш; эластик асосда ётган пластиналар ва пластинасимон иншоотлар ва кўп қаватли бино конструкцияларининг сейсмик тебранишларидаги динамик ҳолатини

тўлақонли акс эттирувчи фазовий математик континуал моделларини ишлаб чиқиш усулларини такомиллаштириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сўнгги йилларда қалин пластиналарнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолаш бўйича тадқиқотлар олиб борилган, жумладан, Y. M. Wan, A. Lebéе, K. Sab, E. Öztekin, K. Ozgan, A. Alshaya, J. Hunt, R. Rowlands, V.Q. Nguyen, R.S. Merifield, R.Q. Wang, H.J. Xu, Y. Ding, Z. Deshun, S. Schreiber, W. Hauger, R.C. Batra, L.F. Qian, L.M. Chen, S. Sayyad, Y.M. Ghugal, Y. Lijun, J. Xueliang, S. Haldar, I. Senjanović, N. Vladimir, D. Seung Cho, A.C. Амбарцумян, В.И. Горбачев, С.В. Шешенин, К.А. Скопцов, А.С. Космодамианский, Д.А. Шляхинларнинг ишларида. Кўп қатламли пластиналарнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати Н.Ф. Морозов, П.Е. Товстик, Э.И. Старовойтовларнинг илмий ишларида тадқиқ қилинган. Ҳисоблашлар асосан бир нечта соддалаштирувчи гипотезалар асосида қурилган пластиналар назарияси асосида бажарилган.

Маҳаллий олимлардан Т. Бўриев, Т.Ш. Ширинкулов, Р.И. Халмуродов, И.С. Сафаров, Х. Худайназаров, А. Абдусатторов, Р.Ш. Индиаминов, Т. Мавлянов, Б.А. Худаяров, А.Б. Ахмедов, Р.А. Абдикаримовлар пластиналар, панеллар ва қобиклар тебраниши ва мустаҳкамлиги билан боғлиқ бўлган масалалар ва уларнинг ечимлари устида изланишлар олиб борганлар. Ер ости ва усти иншоотларининг сейсмик мустаҳкамлиги муаммолари билан Т.Р. Рашидов, Г.Х. Хожметов, Б.М. Мардонов, К.С. Султанов, М.М. Мирсаидов, К.Д. Салямова, Б.Э. Хусанов, Т.З. Султанов, Х.С. Сагдиев, Д.Ф. Руми ва бошқа олимлар шуғулланишган.

Шу билан бирга анизотроп хусусиятга эга бўлган материаллардан тайёрланган қалин пластиналарда содир бўладиган жараёнлар етарли таҳлил қилинмаган, соддалаштирилган гипотезаларни ҳисобга олмаган ҳолда динамик ва статик масалаларни шакллантирувчи пластиналар назарияси ишлаб чиқилмаган. Пластиналарнинг кўндаланг кесимларида нафақат куч ва моментларни, балки бимоментларни ҳам пайдо бўлишига сабабчи бўладиган кўчишлар ва кучланишларнинг чизиксиз тақсимланиш қонунларини ҳисобга олган ҳолда пластиналар назариялари, статик ва динамик масалаларни ечишнинг аналитик ва сонли усуллари етарли даражада ишлаб чиқилмаган ва ривожлантирилмаган. Қалин изотроп ва анизотроп пластиналарнинг кўндаланг кесимларида кучлар, моментлар ва бимоментларни ҳисобга олиш усуллари ҳамда кўчишлар ва кучланишларни аниқлаш формулалари ишлаб чиқилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг №ФА-Ф8-Ф089-“Пластина ва қобик кўринишидаги конструкцияларни ҳамда ўзаро таъсирдаги муҳитларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблашнинг назарий асосларини уч ўлчовли эластиклик динамик назарияси доирасида ишлаб чиқиш” (2007-2011), №Ф4-ФА-Ф049-

“Материалларни анизотроп хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қалин деворли пластина ва қобикларни эгилиши ва тебранишининг бимоментли назариясини ишлаб чиқиш” (2012-2016), №Ф.11-12-“Эластик асосли анизотроп пластиналар учун эластиклик назариясининг уч ўлчовли динамик масалалари” (2012-2013), №ФА-А14-Ф022-“Актив сейсмик муҳофаза ва тўлқин жараёнларини ҳисобга олган ҳолда бинони фазовий ҳисоблашнинг эффектив методларини ишлаб чиқиш” (2015-2017) мавзулардаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади фазовий кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ва бимоментларни инобатга олиш ҳисобига қалин анизотроп пластиналарнинг назариясини такомиллаштириш ва турли ташқи кучлар таъсирида бўлган конструкция элементлари, бино ва иншоотлар статик ва динамик масалаларини ечиш усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

пластина қалинлиги бўйича кўчишларнинг чизиксиз тақсимланиш қонунияти натижасида пайдо бўлувчи бимоментларни ҳамда деформация ва кучланиш тензорларининг ҳамма компоненталарини ҳисобга олган ҳолда пластиналар назариясини такомиллаштириш усулларини ишлаб чиқиш;

Фазовий динамик эластиклик назарияси доирасида изотроп ва анизотроп пластиналарни статик ва динамик ҳисоблашнинг математик асосларини ва амалий усулларини ишлаб чиқиш;

сейсмик мустақамликнинг амалий масалаларини ечишда қўлланиладиган биноларнинг фазовий динамик пластинасимон континуал моделини ишлаб чиқиш;

статик ва динамик, шу жумладан сейсмик кучлар таъсиридаги пластина ва иншоотлар динамик характеристикаларини ва кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини аниқлашнинг фазовий масалаларини ечиш усулларини ривожлантириш;

эластик асосда ётган қалин пластиналарнинг бимоментларини ҳисобга олган ҳолда статик, динамик ҳисоблаш усулларини, алгоритмларини ва дастурларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида қалин пластиналар ва кўп қаватли биноларнинг пластинасимон динамик модели олинган.

Тадқиқотнинг предметини қалин изотроп ва анизотроп пластиналар назарияси ва кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини статик ва динамик ҳисоблаш усуллари ҳамда бино конструкцияларининг бимоментларни ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган динамик континуал моделлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида эластикликнинг уч ўлчовли динамик назарияси, анизотроп пластиналарни эгилиши ва тебраниши назарияси, математик анализ, математик физика усуллари, сонли усуллар, математик моделлаштириш, алгоритмлаш ва сейсмик тебраниш назариялари усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагидан иборат:

қалин анизотроп пластиналар назарияси кўндаланг кесимида кўчишлар тақсимланишининг чизиқсиз қонунлари ва бимоментларни, деформация ва кучланиш тензорларининг ҳамма компонентларини ҳамда пластинанинг сирт чегаравий шартларини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган;

пластиналарнинг кўндаланг силжиши ва сиқилишини ҳисобга олган ҳолда кўндаланг кесимларида ҳосил бўладиган ички кучлари, моментлари ва бимоментларини аниқлаш формулалари ишлаб чиқилган;

қалин анизотроп пластина ўрта текислигининг чўзилиши ва сиқилиши ҳамда қалинлиги бўйича кўндаланг эзилишини ҳисобга олган ҳолда кўндаланг кесимнинг кучлари, моментлари ва бимоментларига нисбатан иккита икки ўлчамли ҳаракат тенгламалар системаси ишлаб чиқилган;

турли кўринишдаги чегаравий шартлар ва ташқи юкламаларда пластинанинг кўчишлари, кучлари, моментлари ва бимоментларини аниқлаш учун динамик ҳисоблаш усуллари, алгоритмлари ва дастурлари ишлаб чиқилган;

пластиналарнинг бимоментли назарияси асосида сейсмик таъсирларда биноларнинг фазовий динамик пластинасимон континуал модели ишлаб чиқилган ҳамда биноларнинг пластинасимон моделининг келтирилган эластиклик модуллари ва зичлигини аниқлайдиган ифодалар ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагидан иборат:

қалин пластиналар бимоментли назариясининг соддалаштирилган варианты ва пластиналарнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини аниқлашнинг статик ва динамик амалий масаларини ечиш усуллари ишлаб чиқилган;

чекли айирмалар усули доирасида бимоментларни ҳисобга олган ҳолда қалин пластиналар динамик ҳолатини баҳолаш ва динамик характеристикалари баҳолаш, ҳамда хавfli кесимларда ва бўйлама ва кўндаланг деворлар туташган жойларда кўчиш ва кучланишларини сейсмик таъсирларда аниқлаш усуллари, алгоритмлари ва дастурлари ишлаб чиқилган;

эластик асосдаги пластиналарнинг кўчишларини, кучланишларини, кучларини, моментлари ва бимоментларини динамик ҳисоблашнинг самарали усуллари ишлаб чиқилган;

сейсмик таъсирлар натижасида кўп қаватли биноларнинг динамик характеристикалари ва динамик ҳолатини баҳолаш ҳамда биноларнинг кўндаланг ва бўйлама деворларининг туташган жойларида ва хавfli кесимларидаги кўчиш ва кучланишларни чекли айирмалар усули асосида ҳисоблаш имконини берувчи усуллари, алгоритм ва дастурлари ишлаб чиқилган.

динамик ва статик кучлар таъсиридаги қалин пластиналар ҳисобига ва сейсмик таъсир остида пластинасимон иншоотлар ҳисобига бимоментли назарияни қўллаш бўйича тавсиянома ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги эластиклик назарияси, пластиналар назарияси, математик анализ, математик физика курслари усулларини қўллаш ва математик амалларнинг қатъийлиги орқали масалаларнинг тўғри қўйилиши ҳамда пластиналарнинг бимоментли назариясининг ҳисоблаш усуллари ва аниқ ҳисоб усуллари бўйича олинган натижаларни ўзаро солиштириш билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қалин анизотроп пластиналар назариясини бимоментларни ҳисобга олган ҳолда такомиллаштириш ва ҳисоблаш усулларини кучлар, моментлар ва бимоментларни аниқлаш формулаларини ҳамда уларга нисбатан икки ўлчовли ҳаракат тенгламаларини ишлаб чиқиш пластиналар назариясини ва деформацияланувчан қаттиқ жисмлар механикаси фанини ривожлантиришга катта ҳисса қўшади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти биноларнинг пластинасимон фазовий модели, шунингдек пластиналарнинг бимоментли назариясининг ҳисоблаш усуллари, алгоритмлари, дастурлари, статик ва динамик кучлар таъсири остида сейсмик мустаҳкам иншоотлар ва конструкция элементларининг кўндаланг кесимларида кўчишлар тақсимланишининг чизиксиз қонунини ва материалларнинг анизотроп хоссаларини ҳисобга олган ҳолда лойиҳалашда параметрларнинг оптимал қийматларини аниқлаш ва баҳолаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Қалин анизотроп пластиналарнинг бимоментли назарияси бўйича ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари ва дастурлар натижалари асосида:

турли кўринишдаги чегаравий шартлар ва ташқи кучлар учун пластинанинг кўчишлари, кучлари, моментлари ва бимоментларини аниқлайдиган динамик ҳисоблаш усуллари Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг тизимига кирувчи корхоналарда, хусусан “Фарғона Омад Ишонч Лойиҳа” МЧЖ да “Фарғона вилояти Бешариқ тумани Юқори қишлоқ Янги Ропқон МФЙ 27-сонли мактабни реконструкция қилиш” жараёнида конструкцияларни кучайтириш учун динамик ҳисоб ишларига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг жорий қилинганлик ҳақидаги 2018 йил 11 апрелдаги 2579/30-005-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг реконструкция жараёнига қўлланилиши орқали ҳисоблаш ишлари учун сарфланадиган вақтни 1,3 марта қисқартириш ва лойиҳа-ҳисоб ишларининг самарадорлигини 25%га ошириш имконини берган;

пластинасимон иншоотларни ҳисоблашда бимоментли назария асосида ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг тизимига кирувчи корхоналарда, хусусан “Бинокор лойиҳа” МЧЖ да «Избоскан туманидаги 26-сонли мактабни реконструкция қилиш (540 ўқув ўринли блоки ва 18x30 м спортзалнинг қўшимча қурилиши)» реконструкция жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг

жорий қилинганлик ҳақидаги 2018 йил 11 апрелдаги 2579/30-005-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг реконструкция жараёнига қўлланилиши орқали ҳисоб ишлари ва меҳнат унумдорлигининг 20%га ҳамда ҳисоб ишлари орқали мустаҳкамлик заҳирасининг ортиши билан иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигини 1,25 марта ошириш имконини берган;

эластик асосда ётган қалин пластиналарнинг ҳаракат тенгламалари ва динамик моделларини ишлаб чиқиш усуллари Ф4-ФА-Ф051-“ Иншоотлар сейсмик мустаҳкамлигининг тўлқин назариясини ишлаб чиқиш” мавзусидаги (2012-2016 йй.) грант лойиҳасида грунт билан ўзаро таъсирда бўлган ер ости қувурларининг бир ўлчамли ҳаракат тенгламаларини келтириб чиқаришда ва иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигининг тўлқин назариясини ишлаб чиқишда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг жорий этилганлик ҳақидаги 2018 йил 17 майдаги 2/1255-1275-сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши ер ости қувурларининг ҳаракат тенгламаларида сейсмик куч таъсирини тўлақонли акс эттириш ва мураккаб масалаларни юқори аниқлик билан ечиш имконини берган;

қалин пластиналар ва иншоотларнинг кўчишлари ҳамда кучланишларини динамик кучлар таъсирида аниқлашнинг аналитик ифодалари, сонли ҳисоблаш усуллари №Ф4-А14-Ф020-“Грунтли иншоотларни, улардаги тўлқин тарқалиш жараёнларини ҳисобга олган ҳолда, сейсмик мустаҳкамликга ҳисоблашнинг самарали усулларини ишлаб чиқиш” мавзусидаги (2015-2017 йй.) грант лойиҳасида гидротехник иншоотларни сейсмик кучлар таъсирларига ҳисоблашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг жорий қилинганлик ҳақидаги 2018 йил 17 майдаги 2/1255-1275-сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши гидротехник иншоотларнинг кўчиши ва кучланишларини юқори аниқлик билан ҳисоблаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 10 та халқаро ва 7 та республика миқёсидаги илмий техникавий ва илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 46 та илмий иш чоп этилган, жумладан, 3 та муаллифлик гувоҳномаси, 1 та тавсиянома, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фан доктори (DSc) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 22 та мақола, жумладан, 16 таси республика ва 6 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, олтита боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертация ҳажми 195 бетни ташкил қилади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари шакллантирилган. Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган, илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган. Олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг илмий ва амалий аҳамияти ёритилган. Тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилиши, ишнинг апробацияси, чоп этилган ишлар, диссертация тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Қалин анизотроп пластиналар учун эластиклик назариясининг уч ўлчовли масалаларини шакллантириш”** деб номланган биринчи бобида анизотроп пластиналар учун деформацияланишнинг асосий қонун ва муносабатлари ҳамда фазовий динамик масалаларнинг қўйилиши шакллантирилган. Қалин анизотроп пластинанинг ҳаракат тенгламалари сифатида динамик эластиклик назариясининг уч ўлчовли тенгламалари қабул қилинган. Пластинанинг ҳаракатини ёзиш учун x_1 , x_2 ва z ўзгарувчили Декарт координаталар системаси киритилган. Координаталар боши пластинанинг ўрта сиртида жойлашган. OZ ўқи пастга қараб йўналтирилган.

Пластинанинг $z = +h$ ташқи юза сиртига мос равишда координата ўқлари бўйлаб тақсимланган ташқи нормал ва уринма сирт кучлари $q_1^{(+)}$, $q_2^{(+)}$, $q_3^{(+)}$ таъсир қилади деб фараз қилинган. Шунингдек, $z = -h$ ташқи юза сиртига координата ўқлари бўйлаб $q_1^{(-)}$, $q_2^{(-)}$, $q_3^{(-)}$ сирт кучлари қўйилган.

Қалин пластина материали Гукнинг умумлашган қонунига бўйсунадиган уч ўлчовли жисм сифатида қаралган. Пластинанинг ҳаракат тенгламалари сифатида динамик эластиклик назариясининг уч ўлчовли тенгламаларидан фойдаланилган

$$\frac{\partial \sigma_{k1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{k2}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{k3}}{\partial z} + F_k = \rho \ddot{u}_k \quad (k = 1, 2, 3). \quad (1)$$

Бу ерда ρ – пластина материалининг зичлиги; F_1 , F_2 , F_3 – ҳажмий куч компонентлари.

Пластинанинг $z = -h$ ва $z = h$ юза сиртларида чегаравий шартлар қуйидаги кўринишга эга

$$\sigma_{33} = q_3^{(-)}, \quad \sigma_{31} = q_1^{(-)}, \quad \sigma_{32} = q_2^{(-)}, \quad z = -h \text{ бўлганда}, \quad (2, a)$$

$$\sigma_{33} = q_3^{(+)}, \quad \sigma_{31} = q_1^{(+)}, \quad \sigma_{32} = q_2^{(+)}, \quad z = h \text{ бўлганда}. \quad (2, б)$$

Пластина четларининг турлича маҳкамланган ҳолатлари учун чегаравий шартлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Қалин пластиналарни эгилиши ва тебраниши бимоментли назарияси”** деб номланган иккинчи боби (соддалаштирувчи гипотезаларни қабул қилмасдан) уч ўлчовли динамик эластиклик назарияси

доирасида пластиналарнинг бимоментли назариясини ишлаб чиқишга бағишланган.

Пластиналарнинг бимоментли назарияси кучланиш ва деформация тензорларининг ҳамма компонентлари σ_{ij} , ε_{ij} ($i, j = 1, 3$) ни ҳисобга олади ва ҳар бири 9 тадан икки ўлчовли тенгламалар билан ифодаланадиган иккита ўзаро боғланмаган масалалар билан шакллантирилган.

Қалин пластиналарнинг ҳаракат тенгламаларини ишлаб чиқиш учун берилган ташқи кучлардан фойдаланиб умумлашган кучлар қуйидаги формулалар ёрдамида аниқланган

$$\bar{q}_k = \frac{q_k^{(+)} - q_k^{(-)}}{2}, \quad \tilde{q}_k = \frac{q_k^{(+)} + q_k^{(-)}}{2} \quad (k = 1, 2), \quad \bar{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} + q_3^{(-)}}{2}, \quad \tilde{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} - q_3^{(-)}}{2}. \quad (3)$$

Иккита масала билан ёзиладиган пластиналарнинг бимоментли назариясини шакллантириш учун умумлаштирилган кинематик функциялар тушунчаси киритилган. Диссертацияда бўйлама, уринма ва кесувчи кучларнинг, эгилувчан ва буровчи моментларнинг ва бимоментларнинг ҳамда умумлашган ҳажмий кучларнинг аниқлаш формулалари ишлаб чиқилган.

Пластиналарнинг бимоментли назариясининг биринчи масаласи қуйидаги муносабатлар билан аниқланадиган 9 та умумлаштирилган функциялар $\bar{\psi}_1$, $\bar{\psi}_2$, $\bar{\beta}_1$, $\bar{\beta}_2$, \bar{u}_1 , \bar{u}_2 , \bar{r} , $\bar{\gamma}$, \bar{W} билан шакллантирилган:

$$\bar{u}_k = \frac{u_k^{(+)} + u_k^{(-)}}{2}, \quad \bar{\psi}_k = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h u_k dz, \quad \bar{\beta}_k = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h u_k z^2 dz \quad (k = 1, 2), \quad (4)$$

$$\bar{W} = \frac{u_3^{(+)} - u_3^{(-)}}{2}, \quad \bar{r} = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h u_3 z dz, \quad \bar{\gamma} = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h u_3 z^3 dz. \quad (5)$$

Қалин пластинанинг бўйлама ва тангенциал кучларга нисбатан ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишда ишлаб чиқилган:

$$\frac{\partial N_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{12}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_1 + \bar{F}_1 = \rho H \ddot{\bar{\psi}}_1, \quad \frac{\partial N_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{22}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_2 + \bar{F}_2 = \rho H \ddot{\bar{\psi}}_2. \quad (6)$$

Қалин пластинанинг бўйлама, тангенциал ва кўндаланг бимоментларга нисбатан ҳаракат тенгламалари қуйидаги кўринишда ишлаб чиқилган:

$$\frac{\partial T_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{12}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{13} + 2\bar{q}_1 + \bar{G}_1 = \rho H \ddot{\bar{\beta}}_1, \quad (7)$$

$$\frac{\partial T_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{22}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{23} + 2\bar{q}_2 + \bar{G}_2 = \rho H \ddot{\bar{\beta}}_2,$$

$$\frac{\partial \bar{p}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{p}_{23}}{\partial x_2} - \frac{2\bar{p}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} + \bar{F}_3 = \rho \ddot{\bar{r}}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \bar{\tau}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{\tau}_{23}}{\partial x_2} - \frac{6\bar{\tau}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} + \bar{g}_3 = \rho \ddot{\bar{\gamma}}. \quad (9)$$

Таъкидлаш керакки, ишлаб чиқилган 6 та (6) - (9) тенгламаларда (4), (5) формулалар билан ифодаланган 9 та номаълум функциялар қатнашади. Яна 3 та тенглама етишмайди.

Пластиналар бимоментли назариясининг иккинчи масаласини шакллантириш учун қуйида келтирилган формулалар билан аниқланадиган 9 та номаълум функциялар $\tilde{\psi}_1, \tilde{\psi}_2, \tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{r}, \tilde{\gamma}, \tilde{W}$ киритилган:

$$\tilde{u}_k = \frac{u_k^{(+)} - u_k^{(-)}}{2}, \quad \tilde{\psi}_k = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h u_k z dz, \quad \tilde{\beta}_k = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h u_k z^3 dz \quad (k=1,2), \quad (10)$$

$$\tilde{W} = \frac{u_3^{(+)} + u_3^{(-)}}{2}, \quad \tilde{r} = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h u_3 dz, \quad \tilde{\gamma} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h u_3 z^2 dz. \quad (11)$$

Қалин пластинанинг иккинчи масалани шакллантириш учун кесувчи кучларга, моментларга ва бимоментларга нисбатан ҳаракат тенгламалари ишлаб чиқилган. Пластинанинг эғувчи ва буровчи моментларига ҳамда кесувчи кучларига нисбатан қурилган 3 та тенгламалари қуйидаги кўринишга эга

$$\frac{\partial M_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{12}}{\partial x_2} - Q_{13} + H\tilde{q}_1 + \tilde{F}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\psi}}_1, \quad (12)$$

$$\frac{\partial M_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{22}}{\partial x_2} - Q_{23} + H\tilde{q}_2 + \tilde{F}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\psi}}_2,$$

$$\frac{\partial Q_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial Q_{23}}{\partial x_2} + 2\tilde{q}_3 + \tilde{F}_3 = \rho H \ddot{\tilde{r}}. \quad (13)$$

Қалин пластинанинг эғувчи, буровчи ва кўндаланг тангенциал бимоментларига нисбатан қурилган 3 та ҳаракат тенгламалари қуйидаги кўринишга эга

$$\frac{\partial P_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{12}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{13} + H\tilde{q}_1 + \tilde{G}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\beta}}_1, \quad (14)$$

$$\frac{\partial P_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{22}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{23} + H\tilde{q}_2 + \tilde{G}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\beta}}_2,$$

$$H \frac{\partial \tilde{p}_{13}}{\partial x_1} + H \frac{\partial \tilde{p}_{23}}{\partial x_2} - 4\tilde{p}_{33} + 2\tilde{q}_3 + \tilde{g}_3 = H\rho \ddot{\tilde{\gamma}}. \quad (15)$$

Иккинчи масалада ҳам ишлаб чиқилган 6 та (12) - (15) тенгламаларда (10), (11) формулалар билан ифодаланган 9 та номаълум функциялар қатнашади. Бу ерда ҳам 3 та тенглама етишмайди.

Демак, биринчи ва иккинчи масалаларда 3 тадан, ҳаммаси бўлиб 6 та тенглама етишмас экан. Ушбу етишмайдиган тенгламаларни ишлаб чиқиш учун кўчишларни қаторга ёйиш усулидан фойдаланилган.

Кўчиш вектори компонентларини Маклорен қаторига қуйидагича ёйиб чиқилган:

$$u_k = B_0^{(k)} + B_1^{(k)} \frac{z}{h} + B_2^{(k)} \left(\frac{z}{h}\right)^2 + B_3^{(k)} \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + B_m^{(k)} \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (k=1,2), \quad (16, a)$$

$$u_3 = A_0 + A_1 \frac{z}{h} + A_2 \left(\frac{z}{h}\right)^2 + A_3 \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + A_m \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (16, б)$$

Бу ерда $B_m^{(k)}$, A_m – иккита координата ва вақтнинг номаълум функциялари:

$$B_m^{(k)} = B_m^{(k)}(x_1, x_2, t) = \frac{h^i}{m!} \left(\frac{\partial^m u_k}{\partial z^m} \right)_{z=0} \quad (k=1,2), \quad A_m = A_m(x_1, x_2, t) = \frac{h^m}{m!} \left(\frac{\partial^m u_3}{\partial z^m} \right). \quad (17)$$

Кўчишларнинг (16) кўринишда қаторга ёйилишига асосан деформация ва кучланиш тензорларининг компонентлари ҳам худди шундай Маклорен қаторига ёйилган:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^{(0)} + \varepsilon_{ij}^{(1)} \frac{z}{h} + \varepsilon_{ij}^{(2)} \left(\frac{z}{h}\right)^2 + \varepsilon_{ij}^{(3)} \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + \varepsilon_{ij}^{(m)} \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (i, j=1,3), \quad (18)$$

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(0)} + \sigma_{ij}^{(1)} \frac{z}{h} + \sigma_{ij}^{(2)} \left(\frac{z}{h}\right)^2 + \sigma_{ij}^{(3)} \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + \sigma_{ij}^{(m)} \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (i, j=1,3),$$

бу ерда қаторларнинг коэффициентлари қуйидагича аниқланган:

$$\varepsilon_{ij}^{(m)} = \varepsilon_{ij}^{(m)}(x_1, x_2, t) = \frac{h^m}{m!} \left(\frac{\partial^m \varepsilon_{ij}}{\partial z^m} \right)_{z=0} \quad (m=1,2,3,\dots),$$

$$\sigma_{ij}^{(m)} = \sigma_{ij}^{(m)}(x_1, x_2, t) = \frac{h^m}{m!} \left(\frac{\partial^m \sigma_{ij}}{\partial z^m} \right)_{z=0} \quad (m=1,2,3,\dots).$$

Кўчишларнинг (16) кўринишдаги ёйилмаларига асосан (2) шарт ва (4), (5) муносабатлардан фойдаланиб, умумлашган номаълум функцияларга нисбатан қуйидаги кўринишдаги 3 та тақрибий тенгламалар ишлаб чиқилган:

$$\bar{u}_k = \frac{1}{4} (21\bar{\beta}_k - 3\bar{\psi}_k) - \frac{1}{20} H \frac{\partial \bar{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{20} \frac{H\bar{q}_k}{G_{k3}} \quad (k=1,2), \quad (19, a)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{2} (21\bar{\gamma} - 7\bar{r}) - \frac{1}{30} H \left(\frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H\bar{q}_3}{30E_{33}}. \quad (19, б)$$

Кўчишларнинг (16) кўринишдаги ёйилмаларига асосан (2) шарт ва (10), (11) муносабатлардан фойдаланиб, умумлашган номаълум функцияларга нисбатан яна 3 та тақрибий тенгламалар ишлаб чиқилган:

$$\tilde{u}_k = \frac{1}{2} (21\tilde{\beta}_k - 7\tilde{\psi}_k) - \frac{1}{30} H \frac{\partial \tilde{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{30} \frac{H\tilde{q}_k}{G_{k3}} \quad (k=1,2), \quad (20, a)$$

$$\tilde{W} = \frac{1}{4} (21\tilde{\gamma} - 3\tilde{r}) - \frac{1}{20} H \left(\frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H\tilde{q}_3}{20E_{33}}. \quad (20, б)$$

Бу ифодаларнинг аниқлигини баҳолаш учун қуйидаги теоремалар келтирилган.

Теорема 1. Тақрибий тенгламалар (19, а) и (20, б) пластинанинг кичик параметри $\frac{H}{10a}$ га нисбатан тўртинчи тартибли аниқликка эга.

Теорема 2. Тақрибий тенгламалар (19, б) и (20, а) пластинанинг кичик параметри $\frac{H}{10a}$ га нисбатан олтинчи тартибли аниқликка эга.

Тақрибий қурилган тенгламаларга (19) ва (20) чегаравий шартлар ёзиш учун (16) қаторлар ва пластинанинг юза сиртларида ёзилган шартлар (2) ва Гук қонуни асосида $\bar{\sigma}_{11}^*$, $\bar{\sigma}_{22}^*$ и $\tilde{\sigma}_{11}^*$, $\tilde{\sigma}_{22}^*$ бимоментлар интенсивлиги ифодалари қурилган.

Диссертациянинг 3, 4, 5 ва 6 боблари қалин изотроп ва ортотроп пластиналарни ҳисоблашга бағишланган. Изотроп пластиналарни ҳисоблашда Пуассон коэффициенти берилади: $\nu = 0.3$. Ортотроп материал сифатида СВМ 15:1 қабул қилинган бўлиб, унинг эластиклик ва силжишдаги модуллари қуйидагича аниқланган:

$E_1 = 4.6E_0$, $E_2 = 1.6E_0$, $E_3 = 1.12E_0$, $G_{12} = 0.56E_0$, $G_{13} = 0.33E_0$, $G_{23} = 0.43E_0$, бу ерда $E_0 = 10^4 \text{ МПа}$, Пуассон коэффициенти $\nu_{21} = 0.27$, $\nu_{23} = 0.3$, $\nu_{31} = 0.07$.

Диссертациянинг учинчи **“Шарнирли маҳкамланган қалин пластинани қаторга ёйиш усули билан ҳисоблаш”** бобида қалин пластинанинг ташқи юза сиртлари бўйлаб тақсимланган куч таъсирида эгилиши масалалари қаралган. Масалаларни ечишда пластиналарнинг бимоментли назариясини қўллашдан олдин Маклорен қаторига ёйиш усули билан қурилган ечимлар келтирилган. Мувозанат тенгламалари Маклорен қаторининг коэффицентларига нисбатан тузилган.

Мисол сифатида пластина ташқи сирти $z = -h$ бўйлаб қуйидаги кўринишда берилган кўндаланг синусоидал куч:

$$q_3^{(-)} = -q_0 \sin \frac{\pi x_1}{a} \sin \frac{\pi x_2}{b}, \text{ бу ерда } q_0 \text{ - ташқи куч,} \quad (21)$$

берилган.

Пластинанинг четлари шарнирли маҳкамланган ҳол учун пластина эгилиши масаласининг аналитик ечими тригонометрик функцияларда қурилган. Кўчиш ва кучланишларнинг максимал сонли натижалари ҳисоблаб топилган. Пластинанинг максимал кўчишлари ва кучланишлари (16) қаторларнинг саккизтадан ҳадларини ҳисобга олганда қуйидаги кўринишда топилган:

$$\begin{aligned} u_1^{(-)} = u_2^{(-)} = 1.1321 H q_0 / E_0, \quad u_3^{(-)} = 3.5927 H q_0 / E_0, \\ \sigma_{12}^{(-)} = 0.9119 q_0, \quad \sigma_{11}^{(-)} = 2.1222 q_0, \quad \sigma_{13}^{(0)} = 0.7015 q_0. \end{aligned} \quad (22)$$

Б.Ф. Власов томонидан изотроп квадрат пластиналар учун кўрилатган масаланинг аниқ ечими олинган:

$$u_3^{(0)} = A_0 = 3.492 H q_0 / E_0, \quad \sigma_{11}^{(-)} = 2.124 q_0, \quad \sigma_{13}^{(0)} = 0.702 q_0. \quad (23)$$

Сонли натижаларнинг (22) ва (23) кўринишларини солиштириш асосида қониқарли сонли натижаларни Маклорен қаторларининг саккизтадан ҳадларини ҳисобга олган ҳолда олиш мумкинлиги кўрсатилган.

Сонли натижалар ортотроп пластиналар учун ҳам олинган. Маклорен қаторлари (16) нинг ҳар бирида саккизтадан ҳадни ҳисобга олган ҳолда ортотроп пластинанинг максимал кўчиш ва кучланишлари топилган:

$$\begin{aligned} u_1^{(-)} &= 0.5232 Hq_0 / E_0, & u_2^{(-)} &= 0.7116 Hq_0 / E_0, & u_3^{(-)} &= 2.6284 Hq_0 / E_0, \\ \sigma_{12}^{(-)} &= 0.72419q_0, & \sigma_{13}^{(0)} &= 0.6952q_0, & \sigma_{11}^{(-)} &= -2.9219q_0. \end{aligned} \quad (24)$$

Диссертациянинг **“Бимоментли назария асосида четлари шарнирли маҳкамланган ортотроп пластиналарни ҳисоблаш”** деб номланган тўртинчи бобида шарнирли маҳкамланган қалин пластинанинг (21) формула билан берилган ташқи юклама таъсирида эгилиши масаласи кўчишларга нисбатан ёзилган ҳаракат тенгламаларининг аналитик ечими тригонометрик функциялар ёрдамида қурилган. Қалин пластинанинг ҳар хил ўлчамлари учун кўчишлар ва кучланишлар ҳисоби келтирилган. Ўлчамлари $a = b = 3H$ бўлган квадрат пластиналар учун олинган сонли натижалар келтирилган. Пластинанинг ўрта текислигида уринма кучланишларнинг максимал қийматлари $\sigma_{13}^{(0)} = \sigma_{23}^{(0)} = 0.7023q_0$ га ва нормал кўчишнинг максимал қиймати $u_3^{(0)} = 3.4905Hq_0 / E_0$ га тенг бўлган. Пластинанинг юклама қўйилган ташқи қатлами $z = -h$ да нормал кучланиш қиймати эса ҳисоблашларга кўра $\sigma_{11}^{(-)} = -2.1241q_0$ га тенг бўлган. Таъкидлаш керакки, ушбу келтирилган сонли натижалар Б.Ф. Власов томонидан олинган (23) кўринишидаги аниқ қийматлар билан мос тушади. Ҳисоблашларнинг кўрсатишича бимоментли назария бўйича квадрат пластиналарнинг ($a = b$) уч хил ўлчамлари учун олинган сонли натижалар аниқ ҳисоблаш натижалари билан мос тушган.

Шунингдек, ушбу бобда шарнирли маҳкамланган қалин пластина ташқи юзаси $z = -h$ бўйлаб Хевисайд функцияси кўринишида синусоидал қонун бўйича тақсимланган динамик юклама:

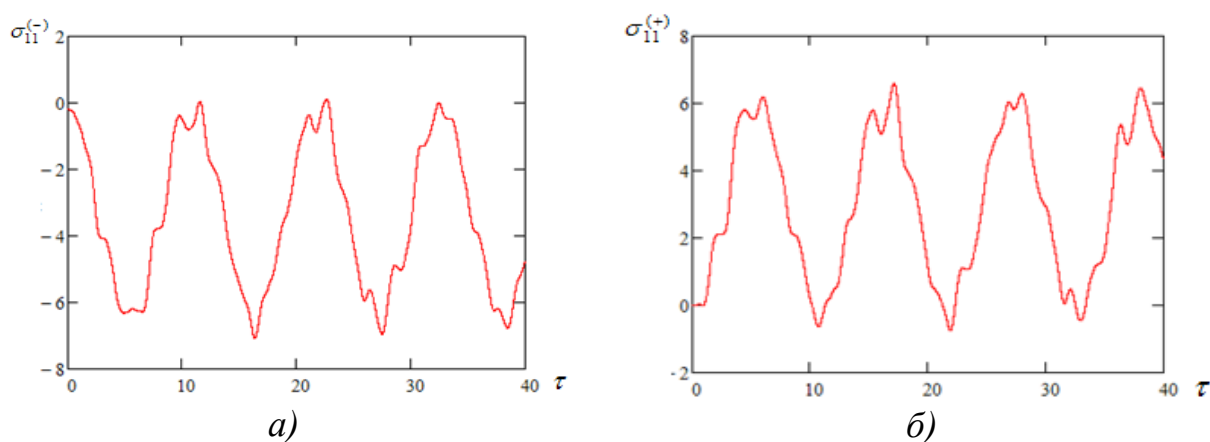
$$q_3^{(-)} = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \text{ да;} \\ -q_0 \sin \frac{\pi x_1}{a} \sin \frac{\pi x_2}{b}, & t > 0 \text{ да,} \end{cases} \quad (25)$$

таъсиридаги ҳисоблаш сонли натижалари келтирилган (бу ерда, q_0 —ташқи куч параметри).

Ўлчамлари $a = b = 3H$ бўлган пластина учун ҳисоблаш сонли натижалари келтирилган. Пластинанинг ташқи юза сиртлари $z = -h$ ва $z = +h$ да кўчиш ва кучланишларнинг ўлчамсиз қийматларининг ўлчамсиз вақт t бўйича ўзгариш графиклари қурилган. Пластинанинг ташқи юзалари нормал кўчишларининг максимал ўлчамсиз қийматлари пластинанинг марказий нуқталарида аниқланган ва $u_3^{(-)} = 5.402$, $u_3^{(+)} = 5.022$ га тенглиги графиклардан топилган. Пластинанинг ташқи юзаларидаги нормал кўчишларининг қийматлари бир-биридан сезиларли фарқ қилиши

тасдиқланган.

1-расмда пластина марказий нуқталарида ташқи қатламлари $z = -h$ ва $z = +h$ да кучланишларнинг максимал қийматлари мос равишда $\sigma_{11}^{(-)} = -7.077q_0$, $\sigma_{11}^{(+)} = 6.584q_0$ га тенглиги аниқланган.



1-расм. Ортотроп пластина юза сирти $z = -h$ ва $z = +h$ даги $\sigma_{11}^{(+)}$ (а), $\sigma_{11}^{(-)}$ (б) кучланишлар ўлчамсиз қийматларининг вақт бўйича ўзгариш графиклари

Ушбу бобда Тимошенко назариясига кўра нормал кучланишлар қийматлари, $\sigma_{11}^{(-)} = -\sigma_{11}^{(+)} = 5.134q_0$ ва $\sigma_{22}^{(-)} = -\sigma_{22}^{(+)} = -3.291q_0$ га тенглиги аниқланган. Кўриниб турибдики, ташқи қатламларда нормал кучланишларнинг бимоментли назария бўйича топилган қийматлари Тимошенко назарияси бўйича топилган қийматларидан 30-40%га катта.

Ушбу бобда бимоментли назария ва Тимошенко назарияси бўйича H/a муносабатнинг учта қиймати учун олинган ортотроп пластиналарнинг кинематик функциялари ва кучланишларининг ҳисобланган сонли натижалари жадвал кўринишида келтирилган. Ҳисоблашлар Тимошенко назарияси бўйича олинган кучланишларнинг сонли қийматлари пластиналарнинг бимоментли назарияси бўйича олинган сонли қийматларидан анча кичик бўлишини кўрсатган. Квадрат пластиналар ($a = b$) учун, H/a муносабатнинг қийматини камайиши билан иккала назария бўйича олинган кўчишлар, кучланишлар, моментлар ва кучларнинг сонли қийматлари бир-бирига яқинлашади.

Диссертациянинг 5 ва 6 бобларида турли чегаравий шартларда динамик юкламалар остидаги қалин пластиналар тебранишларининг динамик ностационар масалалари кўрилган. Масалалар чекли айирмалар усули билан ечилган. Ҳаракат тенгламаларида қатнашган кучланишлар, кучлар, моментлар ва бимоментлардан олинган ҳосилаларни аппроксимация қилиш учун иккинчи тартибли аниқликка эга бўлган, ярим қадамли марказий чекли-айирмалар схемаси қўлланилган. Вақтнинг $t = 0$ қийматида масаланинг бошланғич шартлари сифатида пластина нуқталарининг кўчиш ва тезликлари нолга тенг деб қабул қилинган.

Ҳисоблар бажаришда қуйидагича ўлчамсиз катталиклар киритилган:

$$x = \frac{x_1}{a}, \quad y = \frac{x_2}{b}, \quad \tau = \frac{ct}{a}. \quad \text{Бу ерда } c = \sqrt{\frac{E_0}{\rho}}.$$

Ўлчамсиз координаталар ва вақт бўйича ҳисоблаш қадамлари қуйидаги кўринишда олинган:

$$\Delta x = \frac{1}{N}, \quad \Delta y = \frac{1}{M}, \quad \Delta \tau = k \frac{a}{H} \Delta x, \quad k < 1, \quad M \leq N. \quad (26)$$

Пластиналар учун масалалар ечишда $N = M = 60$, $\Delta \tau = 0.01$ қабул қилинган.

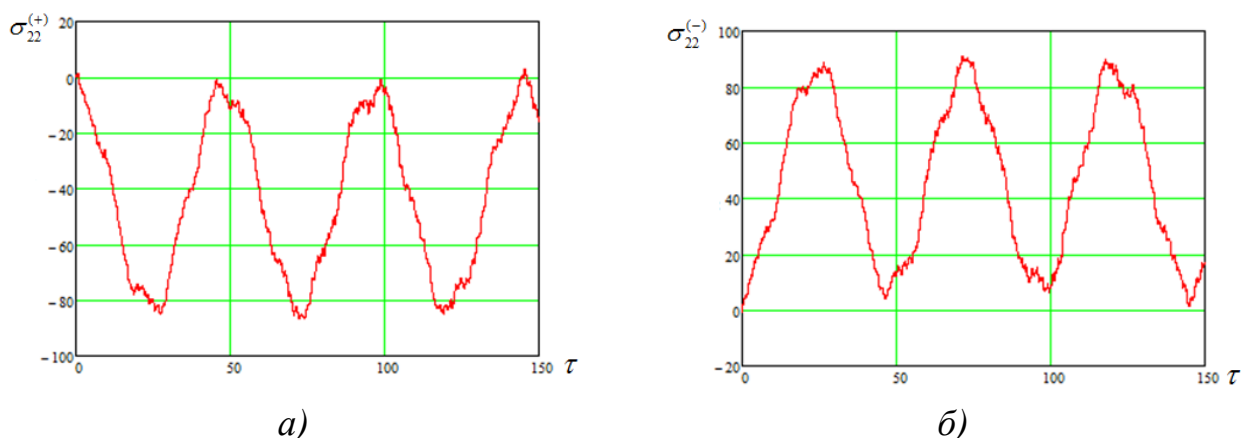
Диссертациянинг **“Томонлари ҳар хил маҳкамланган қалин пластиналарнинг мажбурий тебранишлари”** деб номланган бешинчи боби ҳар хил чегаравий шартларда қалин изотроп ва ортотроп пластиналарнинг тебраниши ҳақидаги динамик масалаларга бағишланган.

Ушбу бобда қалин пластиналарнинг ташқи юзаси $z = -h$ бўйлаб бир текисда тақсимланган oz ўқи йўналишида Хевисайд функцияси кўринишида сирт нормал юклама

$$q_3^{(-)} = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \text{ да;} \\ -q_0, & t > 0 \text{ да,} \end{cases} \quad \text{бу ерда, } q_0 - \text{ куч параметри,} \quad (27)$$

қўйилган деб фараз қилиниб, ҳар хил чегаравий шартлар учун мажбурий тебранишлар масаласи кўриб чиқилган.

Консол пластина тебранишига оид масала ечимининг сонли натижалари таҳлили келтирилган. Пластинанинг $x_2 = 0$ чегараси қистириб маҳкамланган деб олиниб, чегаравий шарт сифатида кўчишларнинг қийматлари нолга тенг ва қолган $x_1 = 0$, $x_1 = a$, $x_2 = b$ томонлари эркин деб қаралган. Қистириб маҳкамланган чегарада кўчишлар нолга тенг. Қолган эркин томонларда эса кучлар, моментлар ва бимоментлар нолга тенг. Сонли натижалар сифатида ортотроп пластиналар ташқи юзаларидаги кучланиш қийматларининг ўзгариш қонунлари графиклар кўринишида келтирилган.



2-расм. Ортотроп пластина юза сирти $z = -h$ ва $z = +h$ даги $\sigma_{22}^{(+)}$ (а), $\sigma_{22}^{(-)}$ (б) кучланишлар ўлчамсиз қийматларининг вақт бўйича ўзгариш графиклари

Нормал кучланишлар $\sigma_{22}^{(+)}$, $\sigma_{22}^{(-)}$ максимал қийматларига ортотроп пластина маҳкамланган томонининг ўртасидаги нуқта ($x_1 = a/2$, $x_2 = 0$) да эришган. Уларнинг максимал қийматлари $\sigma_{22}^{(+)} = -86.681q_0$ (2, a - расм) ва $\sigma_{22}^{(-)} = 90.919q_0$ (2, b - расм) га тенг.

Ортотроп пластина $\sigma_{11}^{(+)}$, $\sigma_{11}^{(-)}$ кучланишлари максимал қийматларига маҳкамланган томонининг ўртаси ($x_1 = a/2$, $x_2 = 0$) да эришади ва бу максимал қийматлар $\sigma_{11}^{(+)} = -23.599q_0$ ва $\sigma_{11}^{(-)} = 24.278q_0$ ни ташкил этган.

Масалани Тимошенко назарияси бўйича ечилганда ортотроп пластиналар учун максимал кучланишлар $\sigma_{11} = -14.125q_0$, $\sigma_{22} = -52.485q_0$ га тенг бўлган. Натижаларни солиштириш асосида, Тимошенко назарияси бўйича кучланишларнинг сонли қийматлари пластинанинг бимоментли назарияси бўйича олинган қийматларидан тахминан 38%га кичик бўлиши кўрсатилган.

Ушбу бобда ҳамма томонлари қистириб маҳкамланган пластиналарнинг (27) кўринишдаги ташқи юклама таъсирида содир бўладиган мажбурий тебранишлар масаласи кўриб чиқилган. Масала чекли айирмалар усули билан ечилган.

Квадрат изотроп пластина учун H/a муносабат қийматининг тўртта варианты учун бимоментли назария ва Тимошенко назарияси бўйича ҳисобланган сонли натижалар жадвал кўринишида келтирилган.

Пластинанинг ташқи $z = -h$ ва $z = +h$ қатламлари кучланишларининг максимал қийматлари пластинанинг маҳкамланган томони ўртасида аниқланган.

Ўлчамлари $a = b = 3H$ бўлган пластинанинг максимал кучланишлари мос равишда $\sigma_{11}^{(-)} = 15.106q_0$, $\sigma_{11}^{(+)} = -12.352q_0$ га тенг. Пластинанинг ташқи қатламлари кучланишлари $\sigma_{11}^{(-)}$ ва $\sigma_{11}^{(+)}$ нинг қийматлари ўзаро 22%га фарқ қилади.

Тимошенко назарияси бўйича нормал кучланишлар қиймати $\sigma_{11}^{(-)} = -\sigma_{11}^{(+)} = 5.295q_0$ га тенг. Бимоментли назария бўйича олинган σ_{11} кучланишнинг максимал қиймати Тимошенко назарияси бўйича олинган максимал қийматидан 2,85 марта катта. Ҳисоблашлар асосида квадрат пластина учун, H/a муносабат қиймати камайиши билан иккала назария бўйича олинган кўчишлар, кучланишлар, моментлар ва кучларнинг сон қийматлари бир-бирига яқинлашиши кўрсатилган.

Бобда соддалаштирилган бимоментли назария доирасида четлари қистириб маҳкамланган пластиналарнинг эгилиши ва тебраниши масалалари чекли айирмалар усули билан ечилган. Статик ва динамик даврий ташқи кучлар таъсири остидаги қистириб маҳкамланган пластинанинг умумлаштирилган кўчишлари, кучлари ва моментлари учун сонли натижалар олинган. Томонлари қистириб маҳкамланган 3 хил ўлчамлари учун хусусий частоталар топилган. Ташқи юклама частотасининг кўчишлари, кучлари ва

моментларининг қийматларига таъсири баҳоланган. Ташқи юклама частотасининг қиймати ошиши билан пластинанинг резонанс ҳолатига ўтиши кўрсатилган.

Диссертациянинг “**Пластиналарнинг бимоментли назариясини амалий масалаларга қўллаш**” деб номланган олтинчи бобида эластик асосда жойлашган пластинанинг $z = -h$ ташқи юзасига қўйилган, Хевисайд функцияси кўринишидаги ташқи динамик куч (27) таъсиридаги эгилиши ва тебраниши динамик масалалари кўрилган. Бимоментли назарияни қўллаш асосида қўп қаватли биноларнинг континуал динамик модели ишлаб чиқилган ва биноларнинг сейсмик мустаҳкамлиги масалаларига қўлланилган.

Эластик асосдаги пластиналарнинг тебраниши масалаларини ечишда пластинанинг бўйлама чўзилиш-сиқилиши ва кўндаланг сиқилиши масаласига оид умумлашган кўчишлар $\bar{u}_1, \bar{u}_1, \bar{W}$ пластинанинг кўндаланг эгилиши ва силжиши масаласига оид умумлашган кўчишлар $\tilde{u}_1, \tilde{u}_1, \tilde{W}$ нисбатан етарли даражада кичик деб ҳисобланган. Бу фараз бимоментли назариянинг пластиналар эгилиши ва тебраниши кўрилган иккинчи масаласининг пластинанинг кўндаланг сиқилишини ҳисобга олган ҳолда унинг чўзилиш-сиқилишини ифодаловчи биринчи масаласига боғлиқ эмаслигини таъминлайди ва бу қўйилган масала ечимини қуришни енгиллаштиради. Пластина ва эластик асос оралиғида пайдо бўладиган контакт кучлар учун қуйидаги ифодалар қурилган:

$$\tilde{q}_1 = \frac{k_1}{2} \tilde{u}_1 + q_1^{(-)}, \quad \tilde{q}_2 = \frac{k_2}{2} \tilde{u}_2 + \frac{1}{2} q_2^{(-)}, \quad \tilde{q}_3 = \frac{k_3}{2} \tilde{W} - \frac{1}{2} q_3^{(-)}. \quad (28)$$

Бу ерда, k_1, k_2, k_3 – эластик асос ва пластина орасидаги ўзаро таъсир коэффициентлари.

Пластинанинг ҳаракат тенгламаси сифатида бимоментли назариянинг иккинчи масалалари тенгламаларидан фойдаланилган. Ушбу бобнинг ҳамма масалалари чекли айирмалар усули билан ечилган.

Изотроп ва ортотроп квадрат пластиналар учун ҳисоблашлар бажарилган. Пластинанинг ортотроп материали сифатида СВМ 15:1 қабул қилинган.

Ўзаро таъсир коэффициентларининг ўлчамсиз қийматлари қуйидаги кўринишда берилган: $k_1 = 0, k_2 = 0, \frac{k_3 H}{E_0} = 0.03$.

Изотроп ва ортотроп пластиналарнинг кўчишлари ҳамда куч факторларининг тебраниш шакллари ва вақт бўйича ўзгариш қонунлари бимоментли назария ва Тимошенко назарияси бўйича қурилган. Бир томони эркин ($y_1 = b$), қолган учта томони ($x_1 = 0, x_1 = a, y_1 = 0$) эса қистириб маҳкамланган эластик асосдаги қалин ортотроп пластинанинг динамик ҳисобларида олинган сонли натижалар келтирилган.

Ўлчамлари $a = b = 10H$ бўлган ортотроп пластинанинг σ_{11} кучланиши пластинанинг $x_1 = 0, y_1 = b$ нуктасида максимал қийматга эришади:

бимоментли назарияси бўйича у $\sigma_{11} = -62.696q_0$ га, Тимошенко назарияси бўйича эса $\sigma_{11} = -31.261q_0$ га тенг. Тимошенко назарияси бўйича хатолик тахминан 100%ни ташкил этган. Ортотроп пластинанинг σ_{22} кучланиши пластинанинг $x_1 = a/2, y_1 = 0$ нукталарида максимал қийматга эришади: бимоментли назария бўйича у $\sigma_{22} = -21.081q_0$ га, Тимошенко назарияси бўйича эса $\sigma_{22} = -17.582q_0$ га тенг бўлиб, фарқи тахминан 20%га тенг.

Ортотроп пластинанинг M_{11} эгувчи моменти пластинанинг $x_1 = 0, y_1 = b/2$ нуктасида максимал қийматга эришади ва бимоментли назарияси бўйича унинг ўлчамсиз қиймати $M_{11} = -6.597E_1 \frac{H^2}{2}$ ҳамда Тимошенко назарияси бўйича $M_{11} = -5.210E_1 \frac{H^2}{2}$ ни ташкил этган. Бу ерда Тимошенко назарияси бўйича хатолик 27%дан кўпроқ.

Бобда эластик асосда ётган пластиналарнинг динамик ҳисоби бошқа чегаравий шартлар учун ҳам келтирилган.

Барча ҳисоблашлар қалин ва ўртача қалинликдаги пластиналарга тегишли эканлигини такидланган. Келтирилган сонли натижалар бимоментли назария ва Тимошенко назарияси бўйича олинган бўлиб, кўп ҳолларда бир-биридан фарқ қилади. Айниқса ортороп пластиналар учун бимоментли назария бўйича ҳисобланган максимал кучланишлар Тимошенко назарияси бўйича олинган максимал кучланишларга нисбатан 20%дан 100%гача катта эканлиги кўрсатилган. Олинган сонли натижалардаги фарқ пластинанинг кўндаланг кесимида кўчишлар тақсимланишининг чизиксиз қонунлари сабабли пайдо бўладиган бимоментларни ҳисобга олинганлигининг самараси ҳисобланади.

Бимоментли назария доирасида биноларнинг фазовий динамик пластинасимон модели ишлаб чиқилган. Бинонинг сейсмик тебраниши бимоментли назария доирасида қалин анизотроп консол пластинанинг ҳаракати билан моделлаштирилган. Бинонинг ҳаракат тенгламаси сифатида пластиналарнинг бимоментли назарияси тенгламалари олинган.

Бино пластинасимон моделининг келтирилган эластиклик модуллари ва зичлиги қуйидаги формулалар билан аниқланган:

$$E_1^{np} = \zeta_{11}E_0, \quad E_2^{np} = \zeta_{22}E_0, \quad E_3^{np} = \zeta_{33}E_0, \quad (29)$$

$$G_{12}^{np} = \zeta_{12}G_0, \quad G_{13}^{np} = \zeta_{13}G_0, \quad G_{23}^{np} = \zeta_{23}G_0,$$

$$\rho_{np} = \rho_0 \frac{V_1}{V_0}. \quad (30)$$

E_0, G_0 и ρ_0 бинонинг мустаҳкам юк кўтарувчи панели материалининг эластиклик ва силжишдаги модули ҳамда зичлиги. Бу ерда, V_0 – бино бир қаватининг ҳажми; V_1 – бинонинг бир қаватини ҳосил қилувчи плиталар ҳажми. Бинонинг келтирилган эластиклик модулларини аниқлаш формулаларидаги $\xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}$ коэффициентлар умумий ҳолда

икки фазовий координатанинг функцияси кўринишида аниқланади, чунки уларнинг қийматлари бино ва унинг элементлари ўлчамлари: a , H – бинонинг узунлиги ва кенглиги ва унинг ҳар бир элементлари ўлчовлари: b_1 – бино бир қаватининг баландлиги; h_1 – юк кўтарувчи деворлар қалинлиги; h_2 – ички деворлар қалинлиги; $h_{пер}$ – тўсиқлар қалинлигига ҳамда k – бинонинг ичидаги кўндаланг деворлар сонига боғлиқ.

Ҳисоблашларда хона панеллари материалларининг механик ва геометрик характеристикалари қуйидагича қабул қилинган. Эгилишга ишлайдиган юк кўтарувчи панеллар эластиклик модули $E = 20000$ МПа;

материали зичлиги $\rho = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; Пуассона коэффиценти $\nu = 0.3$.

Бино ва плиталар ўлчамлари қуйидагича олинган:

$$h_1 = 0.25 \text{ м}, h_2 = 0.25 \text{ м}, h_{пер} = 0.2 \text{ м}, a_1 = 7.5 \text{ м}, b_1 = 3 \text{ м}, a = 30 \text{ м}, H = 11 \text{ м}.$$

Икки, беш ва тўққиз қаватли бинолар баландлиги мос равишда $b=6\text{м}$, 15м ва 27м деб қабул қилинган. У ҳолда ξ_0 , ξ_{11} , ξ_{22} , ξ_{33} , ξ_{12} , ξ_{13} , ξ_{23} коэффицентлар қуйидаги қийматларни қабул қилган:

Юқорида берилган бошланғич маълумотлар асосида (29) ва (30) формулалардан фойдаланиб, бинонинг келтирилган характеристикалари қуйидаги кўринишда топилган:

$$\begin{aligned} E_1^{np} &= 2600 \text{ МПа}, E_2^{np} = E_3^{np} = 2000 \text{ МПа}, \\ G_{12}^{np} &= 480 \text{ МПа}, G_{13}^{np} = 520 \text{ МПа}, G_{23}^{np} = 200 \text{ МПа}, \rho_{np} = 451 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \end{aligned} \quad (31)$$

Масалалар ечишда асоснинг кўчиши фақат бинога кўндаланг горизонтал йўналишида бўлган қуйидаги қонун бўйича берилади:

$$u_1 = u_2 = 0, \quad u_3 = u_{30}(t) = A_0 \sin(\omega_0 t), \quad (32)$$

бу ерда, $u_{30}(t)$ – бино пойдевори ҳаракати қонуни, A_0 ва ω_0 – пойдевор кўчишининг амплитудаси ва частотаси.

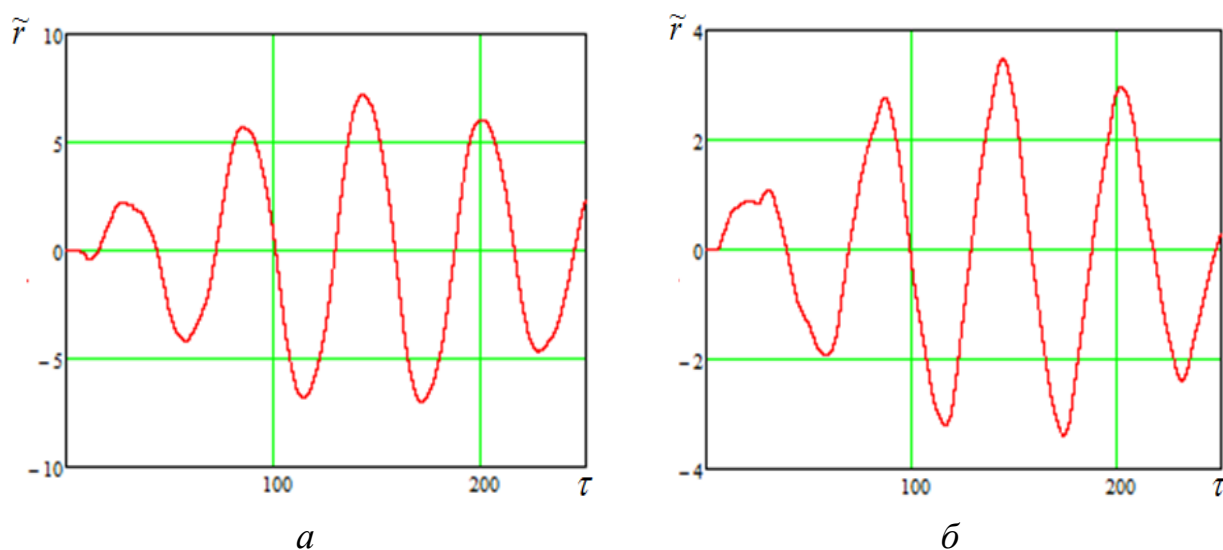
Масала бошланғич шартлар нол бўлган ҳолда чекли айирмалар усули билан ечилган. Биринчи ҳосиланинг аппроксимацияси учун марказий айирмалар схемаси қабул қилинади. Пластинасимон модель асосида бино кўндаланг тебранишлари масалаларининг ечимлари олинган.

Сонли ҳисоблар (32) кўринишдаги ташқи таъсир кучининг ушбу қийматларида бажарилган: ташқи таъсир куч частотаси $p_0 = 4.75$ Гц, тебранишлар асосий даври $T_0 = 1/p_0 = 0.21$ с, ташқи таъсир кучининг доиравий частотаси $\omega_0 = 29.83$ рад, ташқи таъсир кучининг амплитудаси A_0 эса зилзиланинг баллига қараб аниқланади.

Қуйида икки, беш ва тўққиз қаватли биноларнинг тебраниш частоталари, даврлари ҳамда бинонинг турли кесимларидаги кўчишларининг бимоментларини ҳисобга олувчи пластинасимон моделини қўллаб топилган сонли қийматлари келтирилган.

Тўққиз қаватли бинонинг ҳисоблаб топилган хусусий частотаси $p_1=4.608$ Гц, тебранишлар асосий даври $T_1=1/p_1=0.217$ с, доиравий частотаси эса $\omega_1=28.938$ рад га тенг.

3-расмда тўққиз қаватли бинонинг тўққизинчи ва бешинчи қаватларининг ўрталарида нормал кўчиш r нинг ўлчамсиз қийматларининг ўлчамсиз вақт τ бўйича ўзгариш графиклари келтирилган.

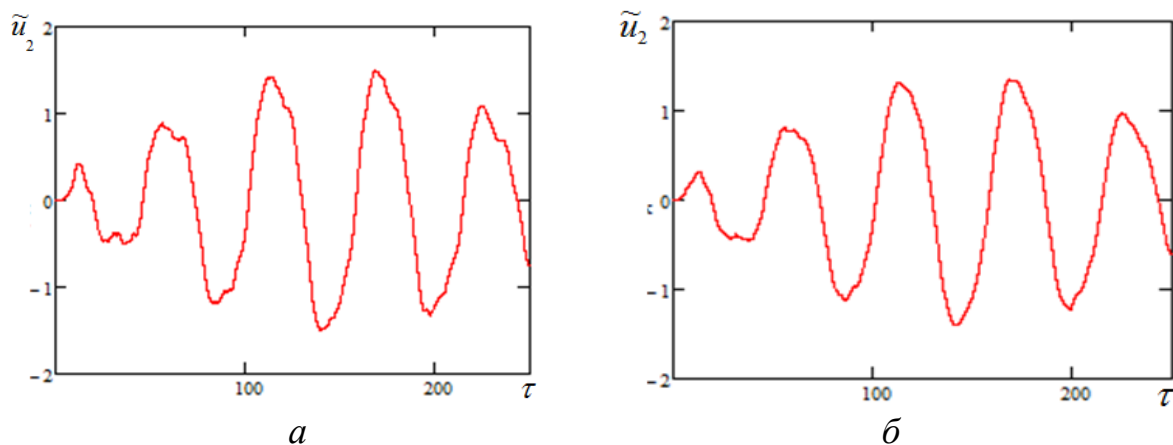


3-расм. Тўққиз қаватли бинонинг тўққизинчи (а) ва бешинчи (б) қаватлар ўрталарида нормал кўчиш r нинг вақт бўйича ўзгариш графиги

Графикдан кўринадики, бинонинг динамик ҳолати биение ҳолатига яқин, чунки тўққиз қаватли бино хусусий частотасининг қиймати ташқи куч (32) частотасининг қийматига жуда яқин. Максимал кўчиш тўққизинчи қаватнинг ўртасида бўлиб, $r = -7.197A_0$ (3, а - расм). га тенг. Тўққиз қаватли бинонинг бешинчи қаватининг ўртасида нормал кўчишнинг қиймати $r = 3.461A_0$ (3, б - расм).

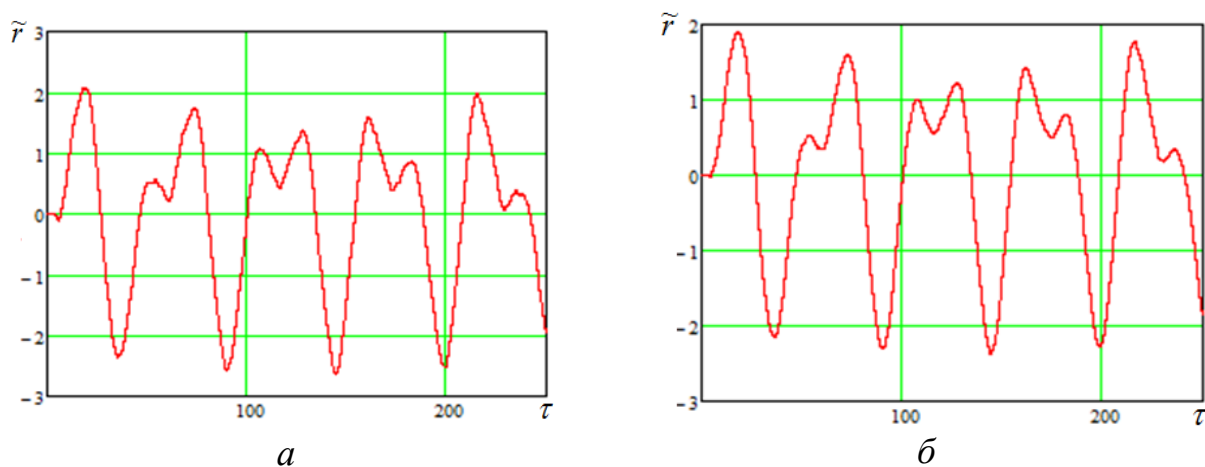
4-расмда тўққиз қаватли бинонинг тўққизинчи ва бешинчи қаватларининг ҳар икки четида вертикал кўчиш u_2 нинг ўлчамсиз қийматларининг ўлчамсиз вақт бўйича ўзгариш графиклари келтирилган. Графиклардан кўринадики, тўққизинчи қаватнинг четларида, вертикал кўчиш $u_2 = -1.504A_0$ га тенг (4, а - расм), тўққиз қаватли бинонинг бешинчи қаватининг четларида эса $u_2 = -1.398A_0$ га тенг (4, б - расм).

Беш қаватли бинонинг ҳисоблаб топилган хусусий частотаси $p_1=9.69$ Гц, тебранишлар асосий даври $T_1=1/p_1=0.103$ с, доиравий частотаси эса $\omega_1=60.85$ рад га тенг.



4-расм. Тўққиз қаватли бионинг тўққизинчи (а) ва бешинчи (б) қаватлар четларида вертикал кўчиш u_2 нинг вақт бўйича ўзгариш графиги

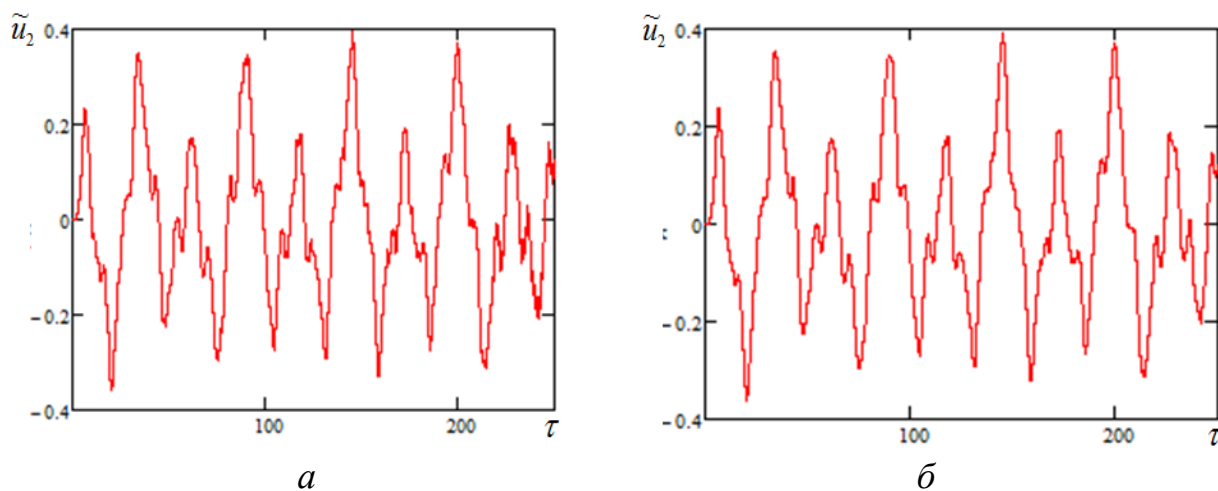
5-расмда беш қаватли бионинг бешинчи ва тўртинчи қаватларининг ўрталарида нормал кўчиш r нинг ўлчамсиз қийматларининг ўлчамсиз вақт бўйича ўзгариш графиклари келтирилган. 5-расмдан кўринадики, максимал кўчиш бешинчи қаватнинг ўртасида бўлиб, $r = -2.629A_0$ (5, а - расм). га тенг. Беш қаватли бионинг тўртинчи қаватининг ўртасида нормал кўчишнинг максимал қиймати $r = -2.367A_0$ (5, б-расм).



5-расм. Беш қаватли бионинг бешинчи (а) ва тўртинчи (б) қаватлар ўрталарида нормал кўчиш r нинг вақт бўйича ўзгариш графиги

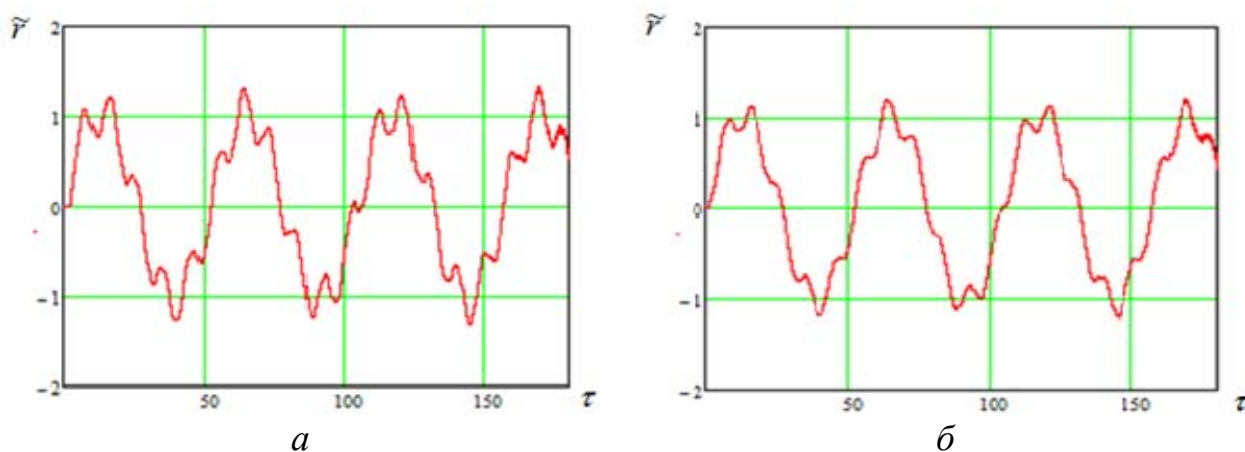
6-расмда беш қаватли бионинг бешинчи ва тўртинчи қаватларининг ҳар икки четида вертикал кўчиш u_2 нинг ўлчамсиз қийматларининг ўлчамсиз вақт τ бўйича ўзгариш графиклари келтирилган. Графиклардан кўринадики, бешинчи қаватнинг ҳар икки четида вертикал кўчиш $u_2 = 0.397A_0$ га тенг (6, а - расм). Беш қаватли бионинг тўртинчи қаватининг четларида вертикал кўчишнинг максимал қиймати $u_2 = -0.361A_0$ га тенг (6, б - расм).

Икки қаватли бино учун ҳисоблашларда қуйидаги сонли натижалар олинган: хусусий тебранишлар биринчи частотаси $p_1=25.485$ Гц, тебранишлар асосий даври $T_1=1/p_1=0.039$ с, доиравий частотаси эса $\omega_1=160.044$ рад.



6-расм. Беш қаватли бинонинг бешинчи (а) ва тўртинчи (б) қаватлар четларида вертикал кўчиш u_2 нинг вақт бўйича ўзгариш графиги

7-расмда икки қаватли бинонинг иккинчи ва биринчи қаватлари ўрталарида нормал кўчиш r нинг ўлчамсиз қийматларининг ўлчамсиз вақт τ бўйича ўзгариш графиглари келтирилган. 7-расмдан кўринадики, максимал кўчиш иккинчи қаватнинг ўртасида бўлиб, $r = 1.314A_0$ га тенг (7, а - расм). Икки қаватли бинонинг биринчи қаватининг ўртасида нормал кўчишнинг максимал қиймати $r = 1.196A_0$ га тенг (7, б - расм).



7-расм. Икки қаватли бинонинг иккинчи (а) ва биринчи (б) қаватлар ўрталарида нормал кўчиш r нинг вақт бўйича ўзгариш графиги

Икки қаватли биноларда (32) кўринишдаги қонуният билан берилган ташқи таъсир натижасида ҳосил бўладиган вертикал ва горизонтал йўналишлардаги бўйлама кўчишлар бинонинг кўндаланг йўналишдаги

кўчишларига нисбатан жуда кичик бўлганлиги учун диссертацияда келтирилмаган.

Хулоса сифатида таъкидлаймизки, бимоментли назария асосида диссертацияда ишлаб чиқилган биноларнинг пластинасимон фазовий континуал динамик модели $\xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}$ коэффициентларни танлаш ҳисобига сейсмик кучлар таъсирида бино нуқталарининг кўчиш қонуниятларини тўғри акс эттиради. Чунки, биноларнинг ушбу пластинасимон модели биноларнинг динамик фазовий деформацияланиш жараёнларини тўғри акс эттирадиган бимоментли назарияга асосланиб ишлаб чиқилган бўлиб, кўндаланг силжиш ҳамда кўндаланг сиқилиш каби бинодаги муҳим жараёнларни ҳисобга олган ҳолда кўндаланг ва бўйлама горизонтал кўчишларни, вертикал кўчишларни аниқлаш имконини беради.

Ташқи таъсир амплитудаси A_0 зилзила интенсивлигига боғлиқ ҳолда аниқланади $A_0 = \frac{k_c g}{\omega_0^2} = \frac{0.1 \cdot 9.8}{29.8^2} = 0.112 \text{ м}$. Ташқи юк кўтарувчи деворда максимал нормал кучланишлар деворнинг пастки қисмида аниқланган ва улар чўзувчи.

$$\sigma_{xx} = \frac{A_0}{H} * 0.294 * E = 0.59 \text{ МПа}, \quad \sigma_{yy} = \frac{A_0}{H} * 1.24 * E = 2.48 \text{ МПа}.$$

Ички вертикал (пардадевор) ва горизонтал (ораёпмалар) деворлар фақат ўз текисликларида деформацияланади деган фараз асосида уларнинг ташқи деворлар билан ўзаро таъсир зонасида контакт кучланишлари қуйидагича аниқланган

$$\tilde{q}_{zy} = 0.355 \text{ МПа}, \quad \tilde{q}_{zx} = 0.054 \text{ МПа} .$$

Ташқи деворнинг ички вертикал деворлар (перегородки) билан ҳосил қилган контакт нормал кучланиш $\tilde{q}_{zzy} = -0.074 \text{ МПа}$ га тенг бўлган.

Ташқи девор ва ички вертикал деворлар туташган жойларда вертикал йўналишда етарлича катта қийматли уринма кучланишлар \tilde{q}_{zy} пайдо бўлган. Контакт уринма кучланиш \tilde{q}_{zy} нормал контакт кучланиш \tilde{q}_{zzy} дан сезиларли даражада катта. Нормал контакт кучланиши \tilde{q}_{zzy} сиқувчи. Ҳисобларнинг кўрсатишича катта амплитудали ташқи таъсир натижасида ташқи деворларда, ташқи ва ички деворлар туташган жойларда анча катта хавфли кучланишлар пайдо бўлади.

Бинолар ҳисобларида фазовий координаталар бўйича қадамларга бўлиш сонлари тўққиз қаватли бино учун $N = 30$, $M = 45$, беш қаватли бино учун $N = 30$, $M = 25$ ва икки қаватли бино учун $N = 60$, $M = 16$ қабул қилинган. Ўлчамсиз вақт бўйича ҳисоб турғунлиги ошкор схема бўйича $\Delta \tau = 0.01$ қадамда таъминланган.

ХУЛОСА

“Қалин анизотроп пластиналарнинг бимоментли назарияси” мавзусидаги фан доктори диссертацияси (DSc) бўйича олиб борилган изланишлар асосида қуйидаги хулосалар қилинган:

1. Кўндаланг кесимида кўчишлар тақсимланишининг чизиқсиз қонунлари, деформация ва кучланиш тензорларининг барча компонентларини ҳамда бимоментларни ҳисобга олган ҳолда қалин анизотроп пластиналар назарияси такомиллаштирилган. Такومиллаштирилган назария фазовий кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисобга олган ҳолда анизотроп қалин пластиналарнинг статик ва динамик ҳисобини ҳар хил чегаравий шарт ва юкламаларда амалга ошириш имконини беради.

2. Пластинанинг ички кучлари, моментлари, бимоментлари ва умумлашган кўчишларини аниқлаш формулалари қурилган. Қурилган формулалар қалин пластиналарнинг кучланишлари ва ички куч факторларининг максимал қийматларини аниқлаш имконини беради.

3. Қалин анизотроп пластиналар учун ички кучлар, моментлар ва бимоментлар, шунингдек умумлашган кўчиш функцияларига нисбатан икки ўлчовли ҳаракат тенгламалар системаси ва чегаравий шартлари ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган тенгламалар системалари бимоментларни ҳисобга олган ҳолда деформацияларни башорат қилиш имконини беради.

4. Қалин пластина юза сиртидаги нуқталар кўчишларини аниқлаш учун 4- ва 6-тартибли аниқликларга эга бўлган иккита ўзаро боғланмаган икки ўлчовли тенгламалар системалари ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган тенгламалар системаси қалин пластинанинг юза сиртидаги кўчишларнинг максимал қийматларини баҳолаш имконини беради.

5. Статик кўндаланг синусоидал куч таъсирида бўлган шарнирли маҳкамланган қалин пластина эгилиши масаласининг аналитик ечими қурилган. Қурилган аналитик ечим олинган натижаларни аниқ ечим натижалари билан таққослаш асосида пластиналарнинг бимоментли назариясининг аниқлик даражасини баҳолаш имконини беради.

6. Турли вариантлардаги чегаравий шарт ва ташқи юкламаларда пластиналарнинг кўчишлари, ички куч, момент ва бимоментларини аниқлаш учун статик ва динамик ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари изотроп ва ортотроп қалин пластиналарнинг статик ва динамик ҳисоби учун Тимошенко назариясидан фойдаланиб бўлмаслигини асослаш имконини беради.

7. Ташқи даврий юклама таъсирида қалин пластиналарнинг динамик ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган ҳисоблаш усули қалин пластинанинг резонанс ҳолати арафасидаги динамик ҳолатини баҳолаш имконини беради.

8. Ташқи кучлар таъсиридаги қалин изотроп ва ортотроп пластиналар ҳисобига ва сейсмик таъсир остида пластинасимон иншоотлар ҳисобига бимоментли назарияни қўллаш бўйича тавсиянома ишлаб чиқилган.

9. Эластик асосда ётган юпқа бўлмаган пластиналарнинг кучланганлик – деформацияланганлик ҳолатини статик ва динамик ҳисоблаш усуллари

ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган усуллар эластик асосда ётган юпқа бўлмаган пластиналарнинг эгилиши ва ностационар мажбурий тебранишларида максимал кўчишлар ва кучланишларни ҳисоблаш имконини беради.

10. Бимоментли назария доирасида биноларнинг фазовий динамик пластинасимон модели ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган пластинасимон модел учун келтирилган эластиклик модуллари ҳамда зичлигини аниқловчи формулалар қурилган. Ишлаб чиқилган модел ва қурилган формулалар биноларнинг сейсмик тебранишларидаги динамик ҳолатини ифодалашга яроқли эканлиги асослаб берилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ МЕХАНИКИ И
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ И ТАШКЕНТСКОМ
ИНСТИТУТЕ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

УСАРОВ МАХАМАТАЛИ КОРАБОЕВИЧ

БИМОМЕНТНАЯ ТЕОРИЯ ТОЛСТЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

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

Ташкент - 2018

Тема диссертации доктора физико-математических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2018.3.DSc/FM18.

Диссертация выполнена в Институте механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.instmech.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный консультант:	Рашидов Турсунбай доктор технических наук, профессор, академик
Официальные оппоненты:	Сафаров Исмоил Иброхимович доктор физико-математических наук, профессор Ахмедов Акром Бурханович доктор физико-математических наук Адикаримов Рустамхан Алимханович доктор физико-математических наук
Ведущая организация:	Самаркандский государственный университет

Защита диссертации состоится «3» октября 2018 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений и Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий, 39, зал заседаний – 4. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiame.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (регистрационный номер 38). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий, 39, зал заседаний – 4. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Автореферат диссертации разослан «12» сентября 2018 года.
(реестр Протокола рассылки №1 от «12» сентября 2018 года).

М.М. Мирсаидов
Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор, академик

Б.А. Худаяров
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней, д.т.н.

Р.А. Абиров
Председатель Научного семинара при Научном совете
по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире важным является выпуск летательных аппаратов, сельхозмашин и автомобилей, а также создание на основе новых технологий многоэтажных зданий и сооружений, сложных систем подземных трубопроводов. В последние годы во многих развитых странах анизотропные конструкции из легких и прочных композитных материалов заменяют традиционные металлические конструкции. Применение композиционных материалов приводит к снижению веса конструкции на 20-40% и повышению ее прочности в 1,5-2 раза в отличие от металлических конструкций. «В мировом масштабе основными производителями композитных материалов считаются страны: Китай, с долей – 28 %, США – 22 % и Европейский союз – 14 %»¹. В этой связи особое внимание уделяется развитию теории пластин, учитывающей их пространственную деформацию и анизотропные свойства, для обеспечения прочности и устойчивости элементов конструкций, а также совершенствованию методов расчета, разработке современных ресурсосберегающих методов, повышающих срок службы конструкций и сооружений.

В мире разработка эффективных методов оценки напряженно-деформированного состояния толстых пластинчатых и стержневых элементов конструкций с учетом их анизотропных свойств имеет особое значение. В этой области, в частности, осуществление целенаправленных научных исследований с целью обеспечения прочности и устойчивости элементов конструкций, развитие теории анизотропных пластин и разработка эффективных методов оценки напряженно-деформируемых состояний элементов конструкции и сооружений, а также алгоритмов и программ расчета являются важными задачами. В связи с этим востребована разработка методов вычисления, алгоритмов и программ оценки динамических характеристик и поведения зданий и сооружений.

В нашей республике особое внимание уделяется производству автомобилей и сельскохозяйственной техники, а также проектированию и строительству многоэтажных зданий и сооружений, сложных систем подземных инженерных полимерных трубопроводов. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы особо подчеркивается необходимость реализации целевых программ “... внедрения новых современных технологий для повышения конкурентоспособности национальной экономики”². Реализация данной задачи, в частности, развитие теории толстых пластин с учетом анизотропных свойств материалов зданий и сооружений, элементов конструкций и разработка

¹ <http://www.composites-cis.com/materials/ru/1.pdf>

² Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 “О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан”.

пространственной динамической пластинчатой модели зданий и сооружений применительно к решению прикладных задач сейсмостойкости, создание статических и динамических методов, алгоритмов, программ расчета толстых пластин с учетом бимоментов имеют важное научное значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-5066 от 1 июня 2017 года «О мерах по коренному повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», №ПП-3190 от 9 августа 2017 года «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» и Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан № 71 от 3 апреля 2007 года о «Государственной Программе по прогнозированию и предупреждению чрезвычайных ситуаций», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследование проведено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV: «Математика, механика, сейсמודинамика сооружений и информатика».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации³. Научные исследования, направленные на усовершенствование теории и расчет толстых анизотропных пластин с учетом нелинейного закона распределения перемещений по толщине, осуществляются в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в частности, в Университете Washington, Университете Seattle, Университете Blacksburg (USA), Университете Paris (France), Университете Гюмюшан, Караденизском техническом университете Трабзона (Турция), Университете Shanghai, Университете Hunan (China), Институте механики Darmstadt (Germany), Университете Zagreb (Croatia), Университете Pusan (Korea), Институте проблем механики, Московском государственном университете, Санкт-Петербургском техническом университете, Самарском государственном университете (Российская Федерация), Белорусском государственном университете транспорта (Беларусь), Донецком государственном институте (Украина), Институте механики и сейсмостойкости сооружений АН

³ В обзоре международных научных исследований по теме диссертации использовались <http://www.mathnet.ru>; <http://msp.org/jomms/about/cover/cover.html>; <http://link.springer.com>; <http://www.science-direct.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; Изв. РАН, МТТ, - 2016, №5, - С.22-35; Изв. РАН, МТТ,-2017, №2, - С.32-45; Двухмерная модель пластины из анизотропного неоднородного материала // Изв. РАН. МТТ. - 2017. - № 2. - С. 32-45; Free axisymmetric vibration of FGM circular plates // Applied Mathematics and Mechanics, - 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. Динамическая устойчивость вязкоупругих гибких пластин переменной жесткости при осевом сжатии.//Прикладная механика, - 2014. - №4 (50). - С. 41-51 и другие источники.

Республики Узбекистан, Национальном университете Узбекистана, Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Самаркандском государственном университете (Узбекистан).

В результате исследований в мире по усовершенствованию методов статических и динамических расчетов толстых анизотропных пластин с различными граничными условиями и видами нагружений получен ряд научных результатов, в частности: разработаны методы решения задачи цилиндрического изгиба и колебаний толстых анизотропных и изотропных пластин (Университет Washington, Университет Seattle, Университет Blacksburg, USA, Университет Paris, France, Университет Hunan, China, Национальный университет Pusan, Korea); усовершенствованы численные методы оценок напряженно-деформированного состояния толстых изотропных и анизотропных пластин на упругом основании при цилиндрическом изгибе с учетом поперечных деформаций основания (Университет Гююшан, Турция); построена динамическая модель толстых пластин, зависящая от времени и граничных условий (Университет Tongji, Университет Shanghai, China, Институт механики Darmstadt, Germany); разработаны методы оценки напряженно-деформированного состояния пластин (Московский государственный университет, Санкт-Петербургский технический университет, Россия); на основе метода разложения перемещения в ряд построены методы расчета и теория изгиба трехслойных пластин (Белорусский государственный университет транспорта, Беларусь, Донецкий государственный университет, Украина); разработаны методы решения задач свободных и вынужденных колебаний пластин (Институт механики и сейсмостойкости сооружений, Национальный университет Узбекистана, Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Самаркандский государственный университет, Узбекистан).

В мире ведутся исследования по приоритетным направлениям, связанным с разработкой теории и эффективных методов решения проблемы влияния нелинейного закона распределения перемещений по толщине и анизотропных свойств материала на напряженно-деформированное состояние пластин, в частности: совершенствование теории, описывающей пространственное деформирование пластины, на основе применения общих законов механики деформируемого твердого тела; разработка методов расчета и программ изотропных и ортотропных пластин под воздействием статических и динамических сил; разработка эффективных методов проблем оценки влияния анизотропных свойств и дискретных структур материалов пластины; совершенствование методов разработки пространственной континуальной математической модели, полноценно отражающей динамическое поведение пластин, лежащих на упругом основании, и пластинчатых сооружений и многоэтажных зданий при сейсмических колебаниях.

Степень изученности проблемы. В последнее время ведутся исследования по оценке напряженно-деформированного состояния толстых

пластин. В частности, это исследовательские работы Y.M. Wan, A. Lebéе, K. Sab, E. Öztekin, K. Ozgan, A. Alshaya, J. Hunt, R. Rowlands, V.Q. Nguyen, R.S. Merifield, R.Q. Wang, H.J. Xu, Y. Ding, Z. Deshun, S. Schreiber, W. Hauger, R.C. Batra, L.F. Qian, L.M. Chen, S. Sayyad, Y.M. Ghugal, Y. Lijun, J. Xueliang, S. Haldar, I. Senjanović, N. Vladimir, D. Seung Cho, A.C. Амбарцумяна, В.И. Горбачева, С.В. Шешенина, К.А. Скопцова, А.С. Космодамианского, Д.А. Шляхина. В работах Н.Ф. Морозова, П.Е. Товстика, Э.И. Старовойтова исследованы напряженно-деформированные состояния слоистых пластин. Расчеты, в основном, выполнены на основе теории пластин, построенных на ряде упрощающих гипотез.

Отечественные ученые Т. Буриев, Т.Ш. Ширинкулов, Р.И. Халмуродов, И.С. Сафаров, Х. Худайназаров, А. Абдусатторов, Р.Ш. Индиаминов, Т. Мавлянов, Б.А. Худаяров, А.Б. Ахмедов, Р.А. Абдикаримов проводили исследования, связанные с колебаниями и устойчивостью пластин, панелей и оболочек. Вопросами сейсмостойкости подземных и наземных сооружений, взаимодействующих с окружающей средой, занимались Т.Р. Рашидов, Г.Х. Хожметов, Б.М. Мардонов, К.С. Султанов, М.М. Мирсаидов, К.Д. Саламова, Б.Э. Хусанов, Т.З. Султанов, Х.С. Сагдиев, Д.Ф. Руми и др.

Вместе с тем еще в недостаточно полной мере проанализированы процессы, происходящие в толстых пластинах, изготовленных из материалов, обладающих анизотропными свойствами, не разработана теория пластин без учета упрощающих гипотез, формулирующая статические и динамические задачи. В недостаточной степени разработаны и развиты аналитические и численные методы решений статических и динамических задач с учетом нелинейных законов распределения перемещений и напряжений, которые являются причинами появления не только сил и моментов, но и бимоментов в поперечных сечениях пластины. Не разработаны методы учета сил, моментов и бимоментов, а также формулы определения перемещений и напряжений в поперечных сечениях толстых изотропных и анизотропных пластин.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз ФА-Ф8-Ф089 «Разработка теоретических основ расчета напряженно-деформированного состояния пластинчатых и оболочечных конструкций и взаимодействующих сред в рамках трехмерной динамической теории упругости» (2007-2011); Ф4-ФА-Ф049 «Разработка бимоментной теории изгиба и колебания толстых пластин и оболочек с учетом анизотропных свойств материалов» (2012-2016); Ф.11-12 «Трехмерные динамические задачи теории упругости для анизотропных пластин на упругом основании» (2012-2013); ФА-А14-Ф022 «Разработка эффективных методов пространственного расчета зданий с учетом активной сейсмической защиты и волновых процессов» (2015–2017).

Целью исследования является усовершенствование теории толстых анизотропных пластин с учетом их пространственного напряженно-

деформированного состояния и бимоментов, а также разработка методов решения статических и динамических задач элементов конструкций, зданий и сооружений при воздействии различных внешних сил.

Задачи исследования:

разработать методы совершенствования теории пластин с учетом бимоментов, порождающихся за счет учета нелинейного закона распределения перемещений по толщине пластин и всех компонентов тензора деформации и напряжения;

разработать математические основы и прикладные методы статических и динамических расчетов изотропных и анизотропных пластин в рамках пространственной динамической теории упругости;

разработать пространственные динамические пластинчатые модели зданий и сооружений применительно к решению прикладных задач сейсмостойкости;

развить методы решений пространственных задач определения динамических характеристик и напряженно-деформированного состояния толстых пластин и пластинчатых сооружений при воздействии статических и динамических нагрузок, в том числе сейсмических;

разработать статические, динамические методики и алгоритмы, программы расчета толстых пластин на упругом основании с учетом бимоментов.

Объект исследования – толстые анизотропные пластины и динамические пластинчатые модели многоэтажных зданий.

Предмет исследования – теория и методы статических и динамических расчетов напряженно-деформированного состояния толстых изотропных и анизотропных пластин, а также динамических континуальных моделей конструкции зданий с учетом бимоментов.

Методы исследований. В диссертации применены методы трехмерной динамической теории упругости, теории изгиба и колебаний анизотропных пластин, математического анализа, математической физики, численные методы, методы математического моделирования, алгоритмизации и методы теории сейсмических колебаний.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

усовершенствована теория толстых анизотропных пластин с учетом нелинейного закона распределения перемещений и бимоментов в поперечных сечениях, всех компонентов тензора деформации и напряжения, а также поверхностных граничных условий пластины;

разработаны формулы определения внутренних сил, моментов и бимоментов, которые появляются в поперечных сечениях пластин, с учетом поперечного сдвига и обжатия;

разработаны две независимые системы двумерных уравнений движения толстых анизотропных пластин относительно сил, моментов и бимоментов поперечного сечения с учетом растяжения и сжатия срединной поверхности, а также поперечного обжатия пластины по толщине;

разработаны методы динамического расчета, алгоритмы и программы для определения перемещений, сил, моментов и бимоментов пластин при различных вариантах граничных условий и внешних нагрузок;

разработана пространственная динамическая континуальная пластинчатая модель зданий на основе бимоментной теории пластин при сейсмических воздействиях, а также построены формулы для определения приведенных модулей упругости и плотности пластинчатой модели здания.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан упрощенный вариант бимоментной теории толстых пластин, которая применена к решению статических и динамических прикладных задач определения напряженно-деформированного состояния;

на основе метода конечных разностей разработаны методы расчета, алгоритмы и программы, позволяющие оценить динамическое поведение и определить динамические характеристики, перемещения и напряжения в опасных сечениях толстых пластин с учетом бимоментов при различных граничных условиях;

разработаны эффективные методы динамического расчета перемещений, напряжений, сил, моментов и бимоментов на упругом основании для различных вариантов граничных условий;

на основе метода конечных разностей разработаны методы расчета, алгоритмы и программы, позволяющие оценить динамическое поведение и динамические характеристики многоэтажных зданий, а также перемещения и напряжения в опасных сечениях стен и в зонах стыковых соединений продольных и поперечных стен зданий при сейсмических воздействиях;

разработаны рекомендации по применению бимоментной теории к расчету толстых пластин под действием динамических и статических внешних сил, а также пластинчатых сооружений при сейсмических воздействиях.

Достоверность полученных результатов обосновывается корректностью постановки задач с применением методов теории упругости, теории пластин, курса математического анализа, математической физики и строгостью математических выкладок, а также сравнительным анализом результатов, полученных по бимоментной теории пластин, с известными результатами точного расчета.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость проведенных исследований заключается в усовершенствовании теории и методики расчета толстых анизотропных пластин с учетом бимоментов, а также формулы определения сил, моментов, бимоментов и двумерные уравнения движения относительно этих силовых факторов вносят большой вклад в развитие теории пластин.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные пространственная пластинчатая модель зданий, а также методики расчетов на основе бимоментной теории, алгоритмы и программы позволяют определить и оценить оптимальные значения параметров в процессе проектирования сейсмостойких сооружений и элементов конструкций при статических и

динамических воздействиях с учетом нелинейных законов распределения перемещений по поперечным сечениям, конструктивных особенностей и анизотропных свойств материала.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов исследования бимоментной теории толстых анизотропных пластин:

методы динамического расчета для определения перемещений, сил, моментов и бимоментов пластин при различных вариантах граничных условий и внешней нагрузки внедрены в ООО «Фаргона Омад Ишонч Лойиха» при динамическом расчете на объекте «Реконструкция школы № 27 в селе Юкори кишлок МСГ Янги Ропкон Бешарыкского района Ферганской области» (Справка по внедрению научных результатов Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству 2579/30-005 от 11 апреля 2018 г.). Внедрение научных результатов в процесс реконструкции позволило сократить время расчета в 1,3 раза и повысить эффективность расчетно-проектных работ на 25%;

методы расчета, разработанные на основе бимоментной теории, примененные к расчету пластинчатых сооружений, внедрены в процесс реконструкции в ООО «Бинокор лойиха» при Государственном комитете Республики Узбекистан по архитектуре и строительству на объекте «Реконструкция школы № 26 в Избасканском районе (с пристройкой учебного блока на 450 уч.мест и со спортзалом в 18×30 м)» (Справка по внедрению научных результатов Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству 2579/30-005 от 11 апреля 2018г.). Внедрение научных результатов в процесс реконструкции способствовало повышению качества работ и производительности труда на 20%, а также повышению сейсмостойкости сооружений в 1,25 раза за счет роста запаса прочности;

методы разработки динамических моделей и уравнения движения толстых пластин на упругом основании внедрены в государственном научно-техническом гранте Ф4-ФА-Ф051 по теме “Разработка волновой теории сейсмостойкости сооружений”, выполненном в 2012-2016 гг. при разработке теории сейсмостойкости сооружений и выражении одномерных уравнений движения подземных трубопроводов с учетом взаимодействия с грунтом (Справка по внедрению Академии наук Республики Узбекистан 2/1255-1275 от 17 мая 2018 г.). Внедрение научных результатов позволило решить сложные задачи с высокой точностью и полностью отразить влияние сейсмических сил в уравнениях подземных трубопроводов;

методы численного расчета, аналитические выражения по определению напряжений от воздействия динамических сил, а также перемещений сооружений и толстых пластин внедрены в государственном научно-техническом гранте Ф4-А14-Ф020 по теме “Разработка эффективных методов расчета сейсмостойкости грунтовых сооружений с учетом волновых процессов в грунтовом массиве”, выполненном в 2015-2017 гг. при расчете гидротехнических сооружений на сейсмические воздействия (Справка по

внедрению Академии наук Республики Узбекистан 2/1255-1275 от 17 мая 2018 г.). Внедрение научных результатов позволило определить с высокой точностью перемещения и напряжения гидротехнических сооружений.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования апробированы на 10 международных и 7 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации всего опубликовано 46 научных работ, в том числе 3 авторских свидетельства, 1 рекомендация, 22 научная статья, из них 16 – в республиканских и 6 – в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора наук (DSc).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 195 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования. Показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Изложены научная новизна и практические результаты исследования. Аргументирована достоверность полученных результатов и раскрыты их теоретическая и практическая значимость. Приведены сведения о внедрении, а также по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации – **«Формулировка трехмерной задачи теории упругости для толстых анизотропных пластин»** – кратко изложены основные соотношения, законы деформирования и сформулированы пространственные динамические задачи для толстых анизотропных пластин. В качестве уравнений движения толстой пластины приняты трехмерные уравнения динамической теории упругости.

Для описания движения пластины введена декартова система координат с переменными x_1 , x_2 и z . Начало координат расположено в срединной поверхности пластины. Ось Oz направлена вниз.

Предполагается, что на лицевой поверхности $z = +h$ пластины действуют внешние распределенные поверхностные нормальные и касательные нагрузки $q_1^{(+)}$, $q_2^{(+)}$, $q_3^{(+)}$ по направлениям, соответствующим осям координат. Аналогично к лицевой поверхности $z = -h$ приложены поверхностные нагрузки $q_1^{(-)}$, $q_2^{(-)}$, $q_3^{(-)}$ в направлениях координатных осей.

Рассмотрим толстую пластину как трехмерное тело, материал которого подчиняется обобщенному закону Гука. В качестве уравнений движения

пластины воспользуемся трехмерными уравнениями динамической теории упругости

$$\frac{\partial \sigma_{k1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{k2}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{k3}}{\partial z} + F_k = \rho \ddot{u}_k \quad (k=1,2,3). \quad (1)$$

Здесь ρ – плотность материала пластины; F_1, F_2, F_3 – компоненты объемных сил.

Граничные условия на лицевых поверхностях пластины $z = -h$ и $z = h$ имеют следующий вид

$$\sigma_{33} = q_3^{(-)}, \quad \sigma_{31} = q_1^{(-)}, \quad \sigma_{32} = q_2^{(-)} \quad \text{при } z = -h, \quad (2, a)$$

$$\sigma_{33} = q_3^{(+)}, \quad \sigma_{31} = q_1^{(+)}, \quad \sigma_{32} = q_2^{(+)} \quad \text{при } z = h. \quad (2, б)$$

Приведены граничные условия задачи на краях пластины для различных вариантов закрепления ее краев.

Вторая глава диссертации – «**Бимоментная теория изгиба и колебаний толстых пластин**» – посвящена разработке бимоментной теории пластин в рамках трехмерной динамической теории упругости (без учета упрощающих гипотез).

Бимоментная теория пластин учитывает все компоненты тензоров напряжения и деформации – $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, (i, j = 1, 3)$ и описывается двумя несвязанными задачами, каждая из которых формулируются на основе девяти двумерных уравнений.

Для разработки уравнений движения толстых пластин, используя внешние силы, обобщенные силы определяются по следующим формулам

$$\bar{q}_k = \frac{q_k^{(+)} - q_k^{(-)}}{2}, \quad \tilde{q}_k = \frac{q_k^{(+)} + q_k^{(-)}}{2} \quad (k=1,2), \quad \bar{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} + q_3^{(-)}}{2}, \quad \tilde{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} - q_3^{(-)}}{2}. \quad (3)$$

Введены понятия обобщенных кинематических функций для формулировки бимоментной теории пластин, которая описывается двумя задачами. В диссертации разработаны формулы для определения продольных, касательных и перерезывающих сил, изгибающих и крутящих моментов и бимоментов, а также обобщенных объемных сил.

Первая задача бимоментной теории сформулирована с помощью девяти обобщенных функций $\bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2, \bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2, \bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{r}, \bar{\gamma}, \bar{W}$, которые определяются следующими соотношениями

$$\bar{u}_k = \frac{u_k^{(+)} + u_k^{(-)}}{2}, \quad \bar{\psi}_k = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h u_k dz, \quad \bar{\beta}_k = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h u_k z^2 dz \quad (k=1,2), \quad (4)$$

$$\bar{W} = \frac{u_3^{(+)} - u_3^{(-)}}{2}, \quad \bar{r} = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h u_3 z dz, \quad \bar{\gamma} = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h u_3 z^3 dz. \quad (5)$$

Уравнения движения толстой пластины относительно продольных и тангенциальных усилий разработаны в следующем виде

$$\frac{\partial N_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{12}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_1 + \bar{F}_1 = \rho H \ddot{\psi}_1, \quad \frac{\partial N_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{22}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_2 + \bar{F}_2 = \rho H \ddot{\psi}_2. \quad (6)$$

Уравнения движения толстой пластины относительно продольных, тангенциальных и поперечных бимоментов разработаны в следующем виде

$$\frac{\partial T_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{12}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{13} + 2\bar{q}_1 + \bar{G}_1 = \rho H \ddot{\beta}_1, \quad (7)$$

$$\frac{\partial T_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{22}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{23} + 2\bar{q}_2 + \bar{G}_2 = \rho H \ddot{\beta}_2,$$

$$\frac{\partial \bar{p}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{p}_{23}}{\partial x_2} - \frac{2\bar{p}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} + \bar{F}_3 = \rho \ddot{r}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \bar{\tau}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{\tau}_{23}}{\partial x_2} - \frac{6\bar{\tau}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} + \bar{g}_3 = \rho \ddot{\gamma}. \quad (9)$$

В разработанных шести уравнениях (6) - (9) содержатся девять неизвестных функций, определяемые по формулам (4), (5). Не хватает ещё трех уравнений.

Для формулировки второй задачи бимоментной теории пластин введены девять неизвестных функций $\tilde{\psi}_1, \tilde{\psi}_2, \tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{r}, \tilde{\gamma}, \tilde{W}$, которые определяются по следующим формулам

$$\tilde{u}_k = \frac{u_k^{(+)} - u_k^{(-)}}{2}, \quad \tilde{\psi}_k = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h u_k z dz, \quad \tilde{\beta}_k = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h u_k z^3 dz \quad (k=1,2), \quad (10)$$

$$\tilde{W} = \frac{u_3^{(+)} + u_3^{(-)}}{2}, \quad \tilde{r} = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h u_3 dz, \quad \tilde{\gamma} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h u_3 z^2 dz. \quad (11)$$

Вторая задача сформулирована на основе уравнений движения толстых пластин относительно перерезывающих сил, моментов и бимоментов. Построены три уравнения движения пластин относительно перерезывающих сил, изгибающих и крутящих моментов, которые имеют следующий вид

$$\frac{\partial M_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{12}}{\partial x_2} - Q_{13} + H\tilde{q}_1 + \tilde{F}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\psi}_1, \quad (12)$$

$$\frac{\partial M_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{22}}{\partial x_2} - Q_{23} + H\tilde{q}_2 + \tilde{F}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\psi}_2,$$

$$\frac{\partial Q_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial Q_{23}}{\partial x_2} + 2\tilde{q}_3 + \tilde{F}_3 = \rho H \ddot{r}. \quad (13)$$

Уравнения движения толстой пластины относительно изгибающих, крутящих и поперечных тангенциальных бимоментов построены в следующем виде

$$\frac{\partial P_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{12}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{13} + H\tilde{q}_1 + \tilde{G}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\beta}_1, \quad (14)$$

$$\frac{\partial P_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{22}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{23} + H\tilde{q}_2 + \tilde{G}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\beta}_2,$$

$$H \frac{\partial \tilde{p}_{13}}{\partial x_1} + H \frac{\partial \tilde{p}_{23}}{\partial x_2} - 4\tilde{p}_{33} + 2\tilde{q}_3 + \tilde{g}_3 = H\rho \ddot{\gamma}. \quad (15)$$

И во второй задаче в разработанных шести уравнениях (12) - (15) содержится девять неизвестных функций, определяемых по формулам (10), (11). Как видно, здесь также не хватает еще трех уравнений.

Таким образом, в первой и второй задачах не хватает по три уравнения, всего 6 уравнений. Для разработки этих нехватящих уравнений использован метод разложения перемещения в ряд.

Компоненты вектора перемещения разлагаем в ряд Маклорена в виде

$$u_k = B_0^{(k)} + B_1^{(k)} \frac{z}{h} + B_2^{(k)} \left(\frac{z}{h}\right)^2 + B_3^{(k)} \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + B_m^{(k)} \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (k = 1,2), \quad (16, a)$$

$$u_3 = A_0 + A_1 \frac{z}{h} + A_2 \left(\frac{z}{h}\right)^2 + A_3 \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + A_m \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (16, б)$$

Здесь $B_m^{(k)}$, A_m – неизвестные функции двух координат и времени, равные

$$B_m^{(k)} = B_m^{(k)}(x_1, x_2, t) = \frac{h^i}{m!} \left(\frac{\partial^m u_k}{\partial z^m} \right)_{z=0} \quad (k = 1,2), \quad A_m = A_m(x_1, x_2, t) = \frac{h^m}{m!} \left(\frac{\partial^m u_3}{\partial z^m} \right)_{z=0}. \quad (17)$$

На основе разложения перемещений в ряд (16) компоненты тензоров деформации и напряжения разлагаются в ряд Маклорена в виде

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^{(0)} + \varepsilon_{ij}^{(1)} \frac{z}{h} + \varepsilon_{ij}^{(2)} \left(\frac{z}{h}\right)^2 + \varepsilon_{ij}^{(3)} \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + \varepsilon_{ij}^{(m)} \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (i, j = 1,3), \quad (18)$$

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(0)} + \sigma_{ij}^{(1)} \frac{z}{h} + \sigma_{ij}^{(2)} \left(\frac{z}{h}\right)^2 + \sigma_{ij}^{(3)} \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \dots + \sigma_{ij}^{(m)} \left(\frac{z}{h}\right)^m + \dots \quad (i, j = 1,3).$$

Здесь коэффициенты разложения определяются в виде

$$\varepsilon_{ij}^{(m)} = \varepsilon_{ij}^{(m)}(x_1, x_2, t) = \frac{h^m}{m!} \left(\frac{\partial^m \varepsilon_{ij}}{\partial z^m} \right)_{z=0} \quad (m = 1,2,3,\dots),$$

$$\sigma_{ij}^{(m)} = \sigma_{ij}^{(m)}(x_1, x_2, t) = \frac{h^m}{m!} \left(\frac{\partial^m \sigma_{ij}}{\partial z^m} \right)_{z=0} \quad (m = 1,2,3,\dots).$$

На основе разложения перемещений в ряд (16), граничные условия (2), соотношения (4), (5), разработаны 3 приближенных уравнения относительно неизвестных обобщенных функций, которые имеют следующий вид

$$\bar{u}_k = \frac{1}{4} (21\bar{\beta}_k - 3\bar{\psi}_k) - \frac{1}{20} H \frac{\partial \bar{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{20} \frac{H\bar{q}_k}{G_{k3}} \quad (k = 1,2), \quad (19, a)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{2}(21\bar{\gamma} - 7\bar{r}) - \frac{1}{30}H \left(\frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H\bar{q}_3}{30E_{33}}. \quad (19, б)$$

На основе разложения перемещений в ряд (16), условий (2) и соотношений (10), (11) разработаны ещё 3 приближенных уравнения относительно неизвестных обобщенных функций в виде

$$\tilde{u}_k = \frac{1}{2}(21\tilde{\beta}_k - 7\tilde{\psi}_k) - \frac{1}{30}H \frac{\partial \tilde{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{30} \frac{H\tilde{q}_k}{G_{k3}} \quad (k=1,2), \quad (20, a)$$

$$\tilde{W} = \frac{1}{4}(21\tilde{\gamma} - 3\tilde{r}) - \frac{1}{20}H \left(\frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H\tilde{q}_3}{20E_{33}}. \quad (20, б)$$

Для оценки точности этих выражений приведены следующие теоремы.

Теорема 1. Приближенные уравнения (19, а) и (20, б) имеют четвертый порядок точности относительно малого параметра пластины $\frac{H}{10a}$.

Теорема 2. Приближенные уравнения (19, б) и (20, а) имеют шестой порядок точности относительно малого параметра пластины $\frac{H}{10a}$.

Для описания граничных условий к приближенным уравнениям (19, а, б) и (20, а, б) построены выражения интенсивностей бимоментов $\bar{\sigma}_{11}^*$, $\bar{\sigma}_{22}^*$ и $\tilde{\sigma}_{11}^*$, $\tilde{\sigma}_{22}^*$, на основе рядов (16), закона Гука и поверхностных условий (2).

Главы 3, 4, 5 и 6 диссертационной работы посвящены расчетам толстых изотропных и ортотропных пластин. При расчетах изотропных пластин задается коэффициент Пуассона материала $\nu = 0.3$. В качестве ортотропного материала рассмотрен СВМ 15:1, имеющий модули упругости и сдвигов $E_1 = 4.6E_0$, $E_2 = 1.6E_0$, $E_3 = 1.12E_0$, $G_{12} = 0.56E_0$, $G_{13} = 0.33E_0$, $G_{23} = 0.43E_0$. Здесь $E_0 = 10^4$ МПа и коэффициенты Пуассона $\nu_{21} = 0.27$, $\nu_{23} = 0.3$, $\nu_{31} = 0.07$.

В третьей главе диссертации «**Расчет толстой шарнирно-опертой пластины по методу разложения**» рассмотрена задача об изгибе толстой пластины под действием внешних распределенных поверхностных сил. Приведены решения трехмерных задач, построенные методом разложения вектора перемещения в ряд Маклорена. Уравнения равновесия составлены относительно коэффициентов разложения ряда Маклорена.

В качестве примера приведено аналитическое решение задачи об изгибе толстой пластины под воздействием только поперечной синусоидальной нагрузки в виде

$$q_3^{(-)} = -q_0 \sin \frac{\pi x_1}{a} \sin \frac{\pi x_2}{b}, \quad (21)$$

где q_0 – параметр внешней нагрузки.

Построены аналитические решения задачи изгиба пластины для случая шарнирного закрепления ее краев в тригонометрических функциях. Приведены численные результаты максимальных перемещений и

напряжений. Максимальные перемещения и напряжения пластины получены при удержании восьми членов рядов (16, a , b) в виде

$$\begin{aligned} u_1^{(-)} = u_2^{(-)} = 1.1321Hq_0 / E_0, \quad u_3^{(-)} = 3.5927Hq_0 / E_0, \\ \sigma_{12}^{(-)} = 0.9119q_0, \quad \sigma_{11}^{(-)} = 2.1222q_0, \quad \sigma_{13}^{(0)} = 0.7015q_0. \end{aligned} \quad (22)$$

Власовым Б.Ф. получено точное решение рассматриваемой задачи для изотропных квадратных пластин

$$u_3^{(0)} = A_0 = 3.492Hq_0 / E_0, \quad \sigma_{11}^{(-)} = 2.124q_0, \quad \sigma_{13}^{(0)} = 0.702q_0. \quad (23)$$

На основе сопоставления численных результатов (22) и (23) показано, что удовлетворительные численные результаты достигаются при учете восьми членов ряда Маклорена.

Найдены максимальные перемещения и напряжения для ортотропной пластины с учетом восьми членов каждого ряда (16, a , b):

$$\begin{aligned} u_1^{(-)} = 0.5232 Hq_0 / E_0, \quad u_2^{(-)} = 0.7116 Hq_0 / E_0, \quad u_3^{(-)} = 2.6284 Hq_0 / E_0, \\ \sigma_{12}^{(-)} = 0.72419q_0, \quad \sigma_{13}^{(0)} = 0.6952q_0, \quad \sigma_{11}^{(-)} = -2.9219q_0. \end{aligned} \quad (24)$$

В четвертой главе – «**Расчет шарнирно-закрепленных по краям ортотропных пластин на основе бимоментной теории**» – в тригонометрических функциях построено аналитическое решение задачи изгиба опертой по краям толстой пластины, нагруженной внешней поперечной нагрузкой в виде (21). Представлены результаты расчетов перемещений и напряжений для различных размеров толстой пластины. Приведены полученные численные результаты для квадратных пластин с размерами в плане $a = b = 3H$. В срединной плоскости пластины максимальные значения касательных напряжений получились равными $\sigma_{13}^{(0)} = \sigma_{23}^{(0)} = 0.7023q_0$, а максимальное значение нормального перемещения срединной поверхности – $u_3^{(0)} = 3.4905Hq_0 / E_0$. Значение нормального напряжения наружного слоя пластины $z = -h$ по расчету составило $\sigma_{11}^{(-)} = -2.1241q_0$. Отметим, что представленные численные результаты, совпадают с точными значениями, полученными Б.Ф. Власовым. (23). Как показали расчеты, результаты для квадратной пластины $a = b$, полученные по бимоментной теории, совпадают с результатами точного расчета для трех рассмотренных размеров пластины.

В данной главе приведен расчет шарнирно опертых толстых пластин, находящихся только под воздействием распределенной по синусоидальному закону динамической нагрузки в виде функции Хевисайда

$$q_3^{(-)} = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq 0; \\ -q_0 \sin \frac{\pi x_1}{a} \sin \frac{\pi x_2}{b} & \text{при } t > 0, \end{cases} \quad (25)$$

где q_0 – параметр внешней нагрузки.

Приведены результаты расчетов для пластин с размерами в плане $a = b = 3H$. Графически представлены изменения безразмерных значений перемещений и напряжений на лицевых поверхностях пластины $z = -h$ и

$z = +h$ по безразмерному времени τ . Из графиков определены максимальные безразмерные значения нормального перемещения на лицевых поверхностях пластины $z = -h$ и $z = +h$ в ее центральной точке и равны $u_3^{(-)} = 5.402$, $u_3^{(+)} = 5.022$. Как установлено, значения нормальных перемещений на лицевых поверхностях пластины значительно отличаются.

На рис.1 максимальные значения напряжений на лицевых поверхностях ортотропной пластины $z = -h$ и $z = +h$ обнаружены в центральной точке пластины и равны, соответственно, $\sigma_{11}^{(-)} = -7.077q_0$, $\sigma_{11}^{(+)} = 6.584q_0$.

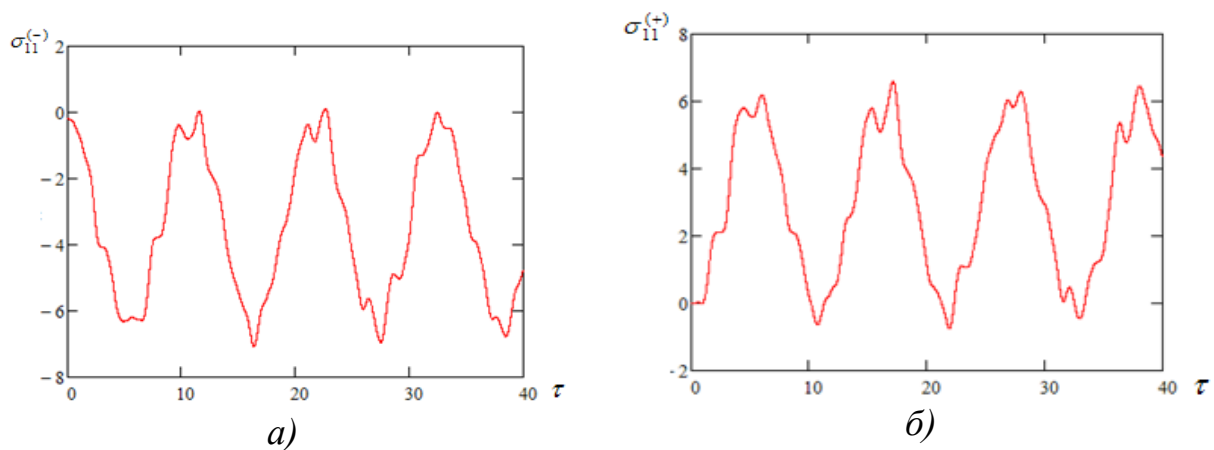


Рис.1. Графики изменения безразмерных значений напряжений $\sigma_{11}^{(-)}$, $\sigma_{11}^{(+)}$ на лицевых поверхностях ортотропной пластины $z = -h$ (а) и $z = +h$ (б) по безразмерному времени τ

В данной главе по теории Тимошенко значения нормальных напряжений получились равными $\sigma_{11}^{(-)} = -\sigma_{11}^{(+)} = -5.134q_0$ и $\sigma_{22}^{(-)} = -\sigma_{22}^{(+)} = -3.291q_0$. Как видно, максимальные значения нормальных напряжений на лицевых поверхностях пластины, полученные по бимоментной теории, на 30–40% больше, чем полученные по теории Тимошенко.

В диссертации в виде таблиц приведены численные результаты расчета кинематических функций и напряжений для ортотропной пластины, полученные по бимоментной теории и по теории Тимошенко для трех значений отношения $\frac{H}{a}$. Расчеты показали, что по теории Тимошенко числовые значения напряжений получаются значительно меньшими по сравнению с бимоментной теорией пластин. Численные значения перемещений, напряжений, моментов и сил, полученные по двум теориям для квадратной пластины ($a = b$), с уменьшением значений отношения $\frac{H}{a}$ приближаются друг к другу.

В главах 5 и 6 диссертации рассмотрены динамические нестационарные задачи колебаний толстых пластин под действием динамических воздействий при различных граничных условиях. Задачи решаются методом конечных разностей. Для аппроксимации производных от напряжений, сил, моментов и бимоментов используются центральные конечно-разностные схемы на полушагах, которые имеют второй порядок точности. В качестве начальных условий при $t=0$ перемещения и скорости точек пластины приняты равными нулю.

В расчетах введены следующие безразмерные переменные

$$x = \frac{x_1}{a}, \quad y = \frac{x_2}{b}, \quad \tau = \frac{ct}{a}. \quad \text{Здесь } c = \sqrt{\frac{E_0}{\rho}}.$$

Шаги вычисления по безразмерным координатам и времени приняты в виде

$$\Delta x = \frac{1}{N}, \quad \Delta y = \frac{1}{M}, \quad \Delta \tau = k \frac{a}{H} \Delta x, \quad k < 1, \quad M \leq N. \quad (26)$$

При решении задач для пластин принято $N = M = 60$, $\Delta \tau = 0.01$.

Пятая глава диссертации – «**Вынужденные колебания толстых пластин при различных случаях закреплений краев**» – посвящена динамическим задачам о колебаниях толстых изотропных и ортотропных пластин при различных граничных условиях.

В главе рассмотрены вынужденные колебания пластин при различных граничных условиях в предположении, что к лицевой поверхности пластины $z = -h$ приложена внешняя равномерно распределенная поверхностная нормальная нагрузка в направлении оси oz в виде функции Хевисайда

$$q_3^{(-)} = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq 0; \\ -q_0, & \text{при } t > 0, \end{cases} \quad (27)$$

где q_0 – параметр нагрузки.

Приведен анализ численных результатов решения задачи по колебаниям консольных пластин. Считается, что край пластины $x_2 = 0$ жестко зашпелен. Остальные края пластины свободны от опор. На зашпеленном крае пластины перемещения равны нулю, на свободных краях пластины $x_1 = 0$, $x_1 = a$, $x_2 = b$ силы, моменты и бимоменты равны нулю. Численные результаты напряжений показаны в виде графиков на лицевой поверхности ортотропной пластины $z = +h$, $z = -h$.

Максимальные безразмерные значения напряжений $\sigma_{22}^{(+)}$, $\sigma_{22}^{(-)}$ точек на лицевых поверхностях ортотропной пластины достигаются в середине зашпеленного края пластины ($x_1 = a/2$, $x_2 = 0$). Максимальные значения равны $\sigma_{22}^{(+)} = -86.681q_0$ (см. рис.2, а) и $\sigma_{22}^{(-)} = 90.919q_0$ (см. рис.2, б).

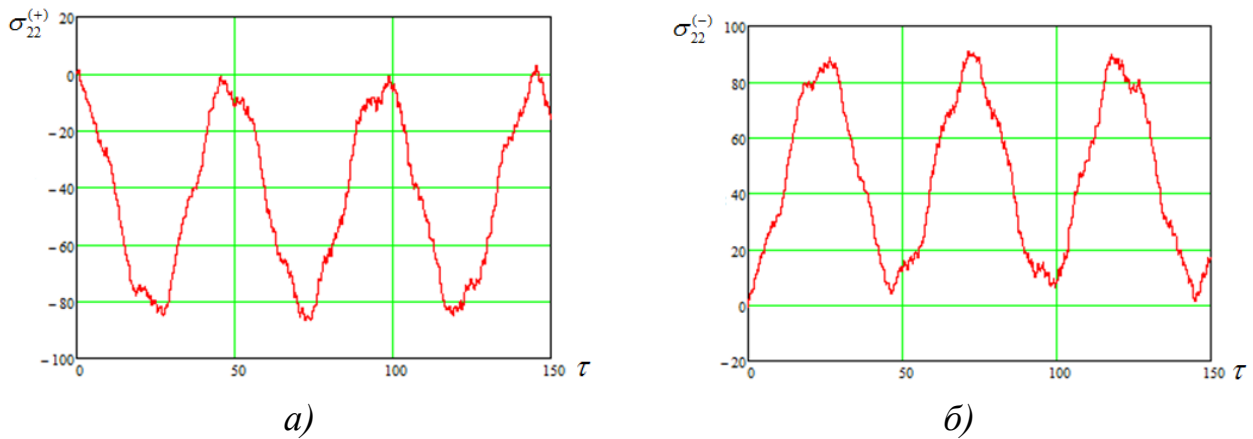


Рис.2. Графики изменения безразмерных значений напряжений $\sigma_{22}^{(+)}$ (а), $\sigma_{22}^{(-)}$ (б) точек на лицевых поверхностях ортотропной пластины $z = +h$, $z = -h$ по времени

Максимальные значения $\sigma_{11}^{(+)}$, $\sigma_{11}^{(-)}$ напряжений достигаются в середине защемленного края ортотропной пластины ($x_1 = a/2$, $x_2 = 0$) и составляют $\sigma_{11}^{(+)} = -23.599q_0$ и $\sigma_{11}^{(-)} = 24.278q_0$.

При решении задачи по теории Тимошенко получены максимальные напряжения для ортотропной пластины $\sigma_{11} = -14.125q_0$, $\sigma_{22} = -52.485q_0$. Числовые значения напряжений по теории Тимошенко получаются примерно на 38% меньше по сравнению с результатами, полученными по бимоментной теории пластин.

В главе рассмотрены задачи вынужденных колебаний пластин, защемленных со всех сторон под действием внешней нагрузки в виде (27).

В виде таблиц приведены результаты расчетов для квадратной изотропной пластины, вычисленные по бимоментной теории и по теории Тимошенко, для четырех вариантов значений отношения $\frac{H}{a}$.

Максимальные значения напряжений обнаружены на внешних слоях $z = -h$ и $z = +h$ в середине защемленного края пластины. При $a = 3H$ максимальные напряжения соответственно равны $\sigma_{11}^{(-)} = 15.106q_0$, $\sigma_{11}^{(+)} = -12.352q_0$. Значения напряжений $\sigma_{11}^{(-)}$ и $\sigma_{11}^{(+)}$, вычисленные во внешних слоях, отличаются друг от друга на 22%.

По теории Тимошенко значения нормальных напряжений равны $\sigma_{11}^{(-)} = -\sigma_{11}^{(+)} = 5.295q_0$. Максимальное значение напряжения σ_{11} , полученное по бимоментной теории, в 2,85 раза больше максимального значения, полученного по теории Тимошенко. Расчеты показали, что численные значения перемещений, напряжений, моментов и сил, полученные по двум теориям для квадратной пластины, с уменьшением значений отношения H/a приближаются друг к другу.

В главе рассмотрена задача изгиба защемленной по краям пластины в

рамках упрощенной бимоментной теории пластин, которая решена методом конечных разностей. Получены численные результаты для обобщенных перемещений, сил и моментов защемленной пластины под воздействием статической и динамической периодических внешних нагрузок. Определены собственные частоты защемленной толстой пластины для трех вариантов ее размеров. Оценено влияние частоты внешнего воздействия на величину напряжений и перемещений. Установлено, что с увеличением значения частоты внешнего воздействия наблюдается переход пластины в резонансный режим.

В главе 6 диссертации – «**Применение бимоментной теории пластин к прикладным задачам**» – рассмотрены динамические задачи изгиба и колебаний пластины на упругом основании под воздействием внешней динамической нагрузки в виде функции Хевисайда, приложенной соответственно к лицевой поверхности $z = -h$ в виде (27). На основе применения бимоментной теории разработана континуальная пластинчатая модель многоэтажных зданий, которая применена при расчете на сейсмостойкость зданий.

При решении задачи о колебаниях пластин на упругом основании предполагаем, что обобщенные перемещения $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{W}$ малы по сравнению с обобщенными перемещениями $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{W}$. Это допущение обеспечивает независимость второй задачи изгиба и колебаний пластин бимоментной теории от первой задачи, описывающей растяжение – сжатие с учетом поперечного обжатия пластины, что облегчает построение решения поставленной задачи. Построены следующие выражения для контактных сил, которые появляются между пластиной и упругим основанием:

$$\tilde{q}_1 = \frac{k_1}{2} \tilde{u}_1 + q_1^{(-)}, \quad \tilde{q}_2 = \frac{k_2}{2} \tilde{u}_2 + \frac{1}{2} q_2^{(-)}, \quad \tilde{q}_3 = \frac{k_3}{2} \tilde{W} - \frac{1}{2} q_3^{(-)}, \quad (28)$$

где k_1, k_2, k_3 – коэффициенты постели упругого основания.

В качестве уравнений движения воспользуемся уравнениями бимоментной теории пластин. Все задачи этой главы решены методом конечных разностей.

Выполнены расчеты для изотропных и ортотропных квадратных пластин. В качестве ортотропного материала пластины принята СВММ 15:1.

Безразмерные значения коэффициентов взаимодействия задаются в следующем виде: $k_1 = 0, k_2 = 0, \frac{k_3 H}{E_0} = 0.03$.

Определены формы колебаний и законы изменения по времени перемещений и силовых факторов изотропной и ортотропной пластин, построенных по бимоментной теории и по теории Тимошенко.

Приведены численные результаты динамического расчета толстой пластины на упругом основании с одним свободным ($y_1 = b$) и остальными защемленными краями ($x_1 = 0, x_1 = a, y_1 = 0$).

Напряжение σ_{11} ортотропной пластины с размерами в плане $a = b = 10H$ в точке $x_1 = 0, y_1 = b$ достигает максимального значения: по

бимоментной теории оно равно $\sigma_{11} = -62.696q_0$, а по теории Тимошенко – $\sigma_{11} = -31.261q_0$. Здесь ошибка по теории Тимошенко составляет примерно 100%. Напряжения σ_{22} ортотропной пластины в точке $x_1 = a/2, y_1 = 0$ достигает максимума по бимоментной теории – $\sigma_{22} = -21.081q_0$, а по теории Тимошенко – $\sigma_{22} = -17.582q_0$. Таким образом, разница составляет примерно 20%.

Максимальное значение изгибающего момента M_{11} ортотропной пластины в точке $x_1 = 0, y_1 = b/2$ достигает максимума и его величина составляет по бимоментной теории $M_{11} = -6.597E_1 \frac{H^2}{2}$, а по теории Тимошенко $M_{11} = -5.210E_1 \frac{H^2}{2}$. Здесь ошибка по теории Тимошенко составляет больше 27%.

В этой главе приведены результаты динамических расчетов пластин на упругом основании для других вариантов граничных условий.

Отметим, что все выполненные расчеты относятся к толстым пластинам и пластинам средней толщины. Представленные численные результаты получены по бимоментной теории и по теории Тимошенко, которые во многих случаях значительно отличаются. Максимальные напряжения, вычисленные по бимоментной теории, оказались значительно больше, примерно от 20 до 100 %, чем напряжения, полученные по теории Тимошенко. Полученная разница в численных результатах является эффектом учета бимоментов в поперечных сечениях пластины, где проявляются нелинейные законы распределения перемещений.

Разработана пространственная динамическая пластинчатая модель зданий в рамках бимоментной теории. Сейсмические колебания здания моделируются движением толстой анизотропной консольной пластины в рамках бимоментной теории. В качестве уравнения движения здания приняты уравнения бимоментной теории пластин.

Приведенные модули упругости и приведенная плотность пластинчатой модели здания определены по формулам

$$E_1^{np} = \zeta_{11}E_0, \quad E_2^{np} = \zeta_{22}E_0, \quad E_3^{np} = \zeta_{33}E_0, \quad (29)$$

$$G_{12}^{np} = \zeta_{12}G_0, \quad G_{13}^{np} = \zeta_{13}G_0, \quad G_{23}^{np} = \zeta_{23}G_0,$$

$$\rho_{np} = \rho_0 \frac{V_1}{V_0}, \quad (30)$$

где E_0, G_0, ρ_0 – модули упругости, сдвига и плотности самой прочной несущей панели здания. Здесь V_0 – объем одного этажа здания; V_1 – объем плит, образующих один этаж здания. В общем случае значения коэффициентов $\zeta_{11}, \zeta_{22}, \zeta_{33}, \zeta_{12}, \zeta_{13}, \zeta_{23}$ для здания определяются в виде функций двух пространственных координат, так как их значения зависят от геометрических размеров здания и его элементов: a, H – длина и ширина

здания и его каждого элемента: b_1 – высота одного этажа здания; h_1 – толщина внешних несущих стен; h_2 – толщина внутренних стен; $h_{пер}$ – толщина перекрытия; k – количество внутренних поперечных стен здания.

В расчетах механические и геометрические характеристики материалов панелей комнат приняты следующими. Изгибаемые несущие панели имеют модуль упругости $E = 20000$ МПа; плотность $\rho = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$.

Размеры плит и здания приняты следующими:

$$h_1 = 0.25 \text{ м}, h_2 = 0.25 \text{ м}, h_{пер} = 0.2 \text{ м}, a_1 = 7,5 \text{ м}, b_1 = 3 \text{ м}, a = 30 \text{ м}, H = 11 \text{ м}.$$

Высота двухэтажного, пятиэтажного и девятиэтажного зданий принимается соответственно $b=6\text{м}$, 15м и 27м . Тогда коэффициенты $\xi_0, \xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}$ принимают следующие значения:

$$\xi_0 = 0.167, \xi_{11} = 0.13, \xi_{22} = 0.1, \xi_{33} = 0.103, \xi_{12} = 0.063, \xi_{13} = 0.066, \xi_{23} = 0.027.$$

На основе вышеуказанных исходных данных по формулам (29) и (30) находим следующие приведенные характеристики здания:

$$\begin{aligned} E_1^{np} &= 2600 \text{ МПа}, E_2^{np} = E_3^{np} = 2000 \text{ МПа}, \\ G_{12}^{np} &= 480 \text{ МПа}, G_{13}^{np} = 520 \text{ МПа}, G_{23}^{np} = 200 \text{ МПа}, \rho_{np} = 451 \text{ кг/м}^3. \end{aligned} \quad (31)$$

В примерах перемещение основания здания задается только вдоль горизонтального поперечного направления по следующему закону:

$$u_1 = u_2 = 0, \quad u_3 = u_{30}(t) = A_0 \sin(\omega_0 t), \quad (32)$$

где $u_{30}(t)$ – закон движения основания здания; A_0 и ω_0 – амплитуда и частота перемещения основания.

Задача решена методом конечных разностей при нулевых начальных условиях. Для аппроксимации первых производных приняты центральные разностные схемы. Получено решение задачи о поперечных колебаниях здания на основе пластинчатой модели.

Расчеты выполнены при следующих значениях: частота внешнего воздействия (32) $p_0 = 4.75$ Гц, период основного тона колебаний $T_0 = 1/p_0 = 0.21$ с, круговая частота внешнего воздействия $\omega_0 = 29.83$ рад, амплитуда внешнего воздействия A_0 определяется в зависимости от балльности землетрясения.

Приведем результаты расчетов частоты, периодов колебаний и перемещения точек для девятиэтажных, пятиэтажных и двухэтажных зданий.

Вычислены значения собственной частоты $p_1=4.608$ Гц, периода основного тона колебаний $T_1=1/p_1=0.217$ с, круговой частоты $\omega_1=28.938$ рад девятиэтажного здания.

На рис.3 приведены графики изменения безразмерных значений нормального перемещения r в середине девятого и пятого этажей

девятиэтажного здания от безразмерного времени τ . Как установлено, динамическое поведение девятиэтажного здания близко к состоянию биения, так как значения его собственной частоты близки к значению частоты внешнего воздействия (32).

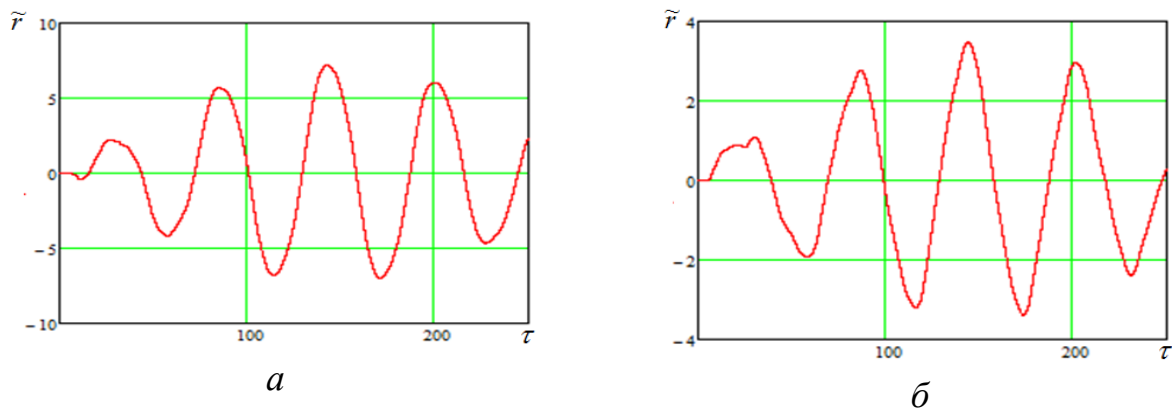


Рис. 3. Графики изменения нормального перемещения r по времени в середине девятого (а) и пятого (б) этажей девятиэтажного здания

Из графика видно, что в середине девятого этажа здания значение перемещения r , достигающее $r = -7.197A_0$ (см. рис.3, а), является максимальны. Максимальное значение нормального перемещения средней точки пятого этажа получилось равным $r = 3.461A_0$ (см. рис.3, б).

На рис.4 приведены графики изменения безразмерных значений вертикального перемещения u_2 на обоих краях девятого и пятого этажей девятиэтажного здания от безразмерного времени τ . Из графика видно, что для девятиэтажного здания значение перемещения на краях девятого этажа здания равно $u_2 = -1.504A_0$ (см. рис.4, а), а на краях пятого этажа $u_2 = -1.398A_0$ (см. рис.4, б).

При расчетах для пятиэтажного здания получены следующие значения: собственная частота $p_1 = 9.69$ Гц, период основного тона колебаний $T_1 = 1/p_1 = 0.103$ с, круговая частота $\omega_1 = 60.85$ рад.

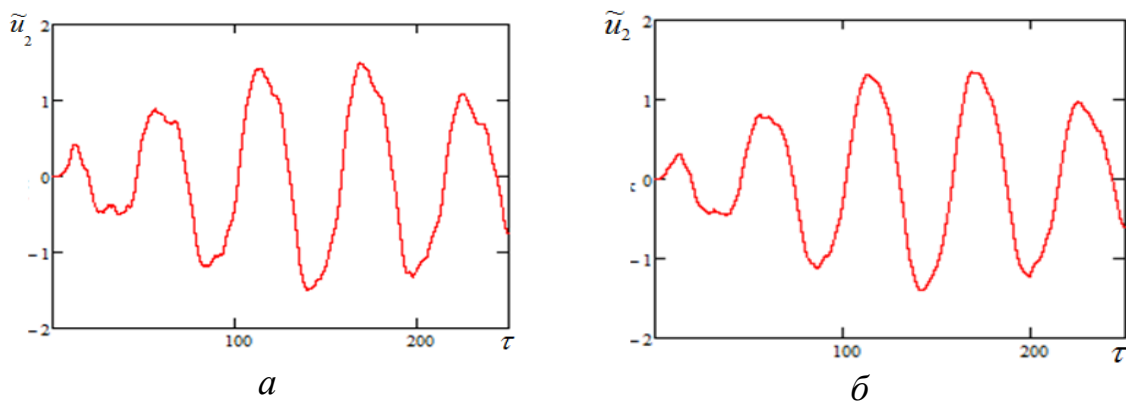


Рис.4. Графики изменения вертикального перемещения точек u_2 по времени в середине девятого (а) и пятого (б) этажей девятиэтажного здания

На рис.5 приведены графики изменения безразмерных значений нормального перемещения r от безразмерного времени τ в середине пятого и четвертого этажей пятиэтажного здания. Из графика видно, что в середине пятого этажа здания значение перемещения r , достигающее $r = -2.629A_0$ (см. рис.5, *a*), является максимальным. Максимальное значение нормального перемещения в средней точке четвертого этажа пятиэтажного здания получилось равным $r = -2.367A_0$ (см. рис.5, *б*).

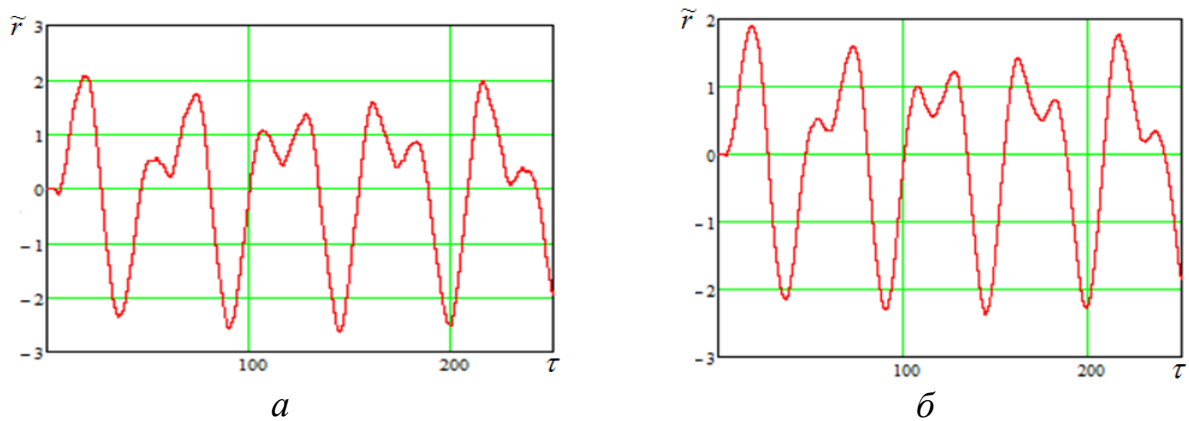


Рис.5. Графики изменения нормального перемещения r по времени в середине пятого (*a*) и четвертого (*б*) этажей пятиэтажного здания

На рис.6 приведены графики изменения безразмерных значений вертикальных перемещений u_2 на краях пятого и четвертого этажей пятиэтажного дома от безразмерного времени τ . Из графика видно, что на обоих краях пятого этажа здания значение перемещения равно $u_2 = 0.397A_0$ (см. рис.6, *a*). Максимальное значение вертикальных перемещений на обоих краях четвертого этажа получилось равным $u_2 = -0.361A_0$ (см. рис.6, *б*).

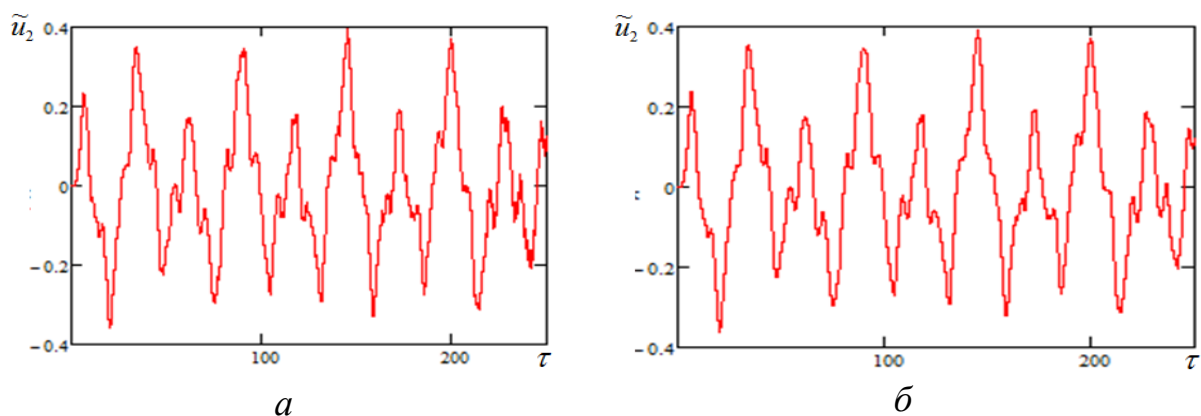


Рис. 6. Графики изменения вертикального перемещения точек u_2 по времени на краях пятого (*a*) и четвертого (*б*) этажей пятиэтажного здания

При расчетах приняты следующие значения для двухэтажного здания: собственная частота $p_1 = 25.485$ Гц, период основного тона колебаний $T_1 = 1/p_1 = 0.039$ с, круговая частота $\omega_1 = 160.044$ рад.

На рис.7 приведены графики изменения безразмерных значений нормального перемещения r в середине первого и второго этажей двухэтажного здания от безразмерного времени τ . Как установлено, в середине второго этажа здания значение перемещения r , достигающее $r = 1.314A_0$ (см. рис.7, а), является максимальным. Максимальное значение нормального перемещения средней точки первого этажа получилось равным $r = 1.196A_0$ (см. рис.7, б).

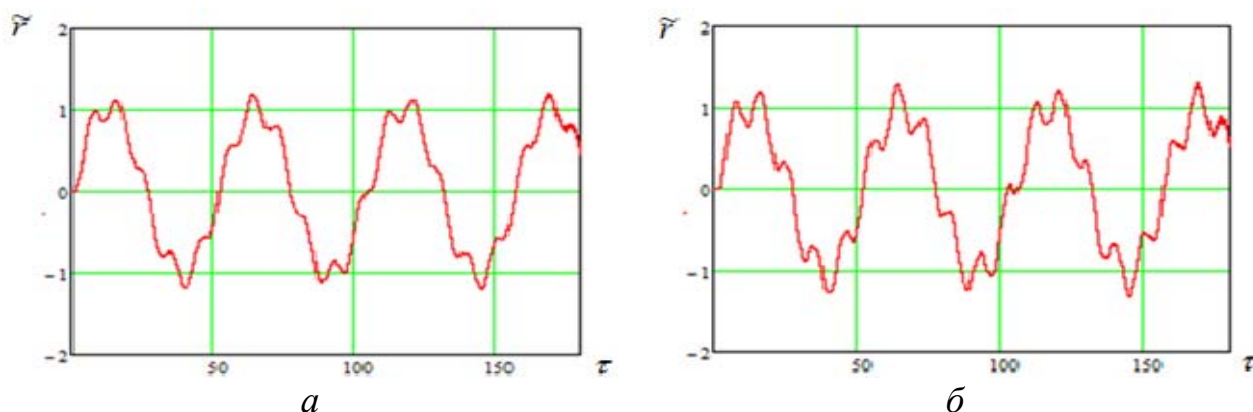


Рис. 7. Графики изменения нормального перемещения r по времени в середине второго (а) и первого (б) этажей двухэтажного здания

Вследствие того, что значения продольного перемещения по вертикальным и горизонтальным направлениям от внешних воздействий по выражению (32) в двухэтажных зданиях были меньше, чем в поперечном направлении, эти результаты в диссертационной работе не приведены.

В заключение отметим, что разработанная пластинчатая модель здания по бимоментной теории за счет выбора коэффициентов $\xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}$ достоверно отражает законы перемещения точек здания. Пластинчатая модель зданий позволяет определить горизонтальные поперечные и продольные, вертикальные продольные перемещения, с учетом поперечного сдвига, поперечного обжатия, что четко отражает динамические процессы здания при сейсмических воздействиях.

Амплитуда внешнего воздействия A_0 зависит от балльности землетрясения $A_0 = \frac{k_c g}{\omega_0^2} = \frac{0.1 \cdot 9.8}{29.8^2} = 0.00112$ м. Максимальные значения нормальных напряжений внешней стены обнаружены в середине нижней части здания, которые являются положительными (растягивающими)

$$\sigma_{xx} = 0.59 \text{ МПа}, \quad \sigma_{yy} = 2.48 \text{ МПа}.$$

Максимальные контактные касательные напряжения $\tilde{q}_{zy}, \tilde{q}_{zx}$ в зонах стыковых соединений внешних стен с внутренними вертикальными

(перегородками) и горизонтальными (перекрытия) стенами определены в предположении, что они деформируются только в своих плоскостях и получились равными

$$\tilde{q}_{zy} = 0.355 \text{ МПа}, \quad \tilde{q}_{zx} = 0.054 \text{ МПа}.$$

Максимальное контактное нормальное напряжение обнаружено в зоне стыковых соединений внешней продольной и внутренней вертикальной поперечной межкомнатной стены получилось равным $\tilde{q}_{zy} = -0.074 \text{ МПа}$.

Довольно большое значение касательного напряжения \tilde{q}_{zy} в вертикальном направлении получилось в зонах стыковых соединений между внутренней вертикальной и внешней стенами. Максимальное значение контактного касательного напряжения \tilde{q}_{zy} значительно превышает нормального контактного напряжения \tilde{q}_{zx} . Нормальное контактное напряжение является сжимающим. Расчеты показали, что при внешних динамических воздействиях с большой амплитудой появляются довольно опасные напряжения во внешних стенах и в зонах стыковых соединений внутренних и внешних стен.

При расчете зданий, количество деления на шаги разностных схем по безразмерным координатам принято следующим: для девятиэтажных $N = 30$, $M = 45$, пятиэтажных $N = 30$, $M = 25$ и двухэтажных зданий $N = 60$, $M = 16$. Устойчивость вычисления по безразмерному времени обеспечена по явной схеме при шаге $\Delta \tau = 0.01$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора наук (DSc) на тему: «Бимоментная теория толстых анизотропных пластин» представлены следующие выводы:

1. Усовершенствована теория толстых анизотропных пластин с учетом бимоментов на основе нелинейного закона распределения перемещений в поперечных сечениях и всех компонент деформаций и напряжений. Усовершенствованная теория позволяет осуществлять статические и динамические расчеты анизотропных толстых пластин с учетом пространственного напряженно-деформированного состояния при различных граничных условиях и нагружениях.

2. Построены формулы для определения внутренних сил, моментов, бимоментов и обобщенных перемещений пластин. Построенные формулы позволяют определить максимальные значения напряжений и внутренние силовые факторы толстых пластин.

3. Разработаны две независимые системы двумерных уравнений движения и граничные условия относительно внутренних сил, моментов и бимоментов, а также обобщенные функции перемещений внутренних точек толстых анизотропных пластин. Разработанные системы уравнений позволяют прогнозировать деформации с учетом бимоментов.

4. Разработаны две независимые системы двумерных уравнений движения для определения перемещения точек лицевых поверхностей толстых пластин с точностью до 4- и 6-го порядков. Разработанные системы уравнений позволяют оценить максимальные перемещения на свободных границах толстых пластин.

5. Построены аналитические решения задачи изгиба шарнирно-закрепленной по краям толстой пластины, находящейся под воздействием статической поперечной синусоидальной нагрузки. Построенные аналитические решения позволяют оценить точность бимоментной теории пластин на основе сопоставления полученных результатов с результатами точного расчета.

6. Разработаны методы статических и динамических расчетов для определения перемещений, внутренних сил, моментов и бимоментов пластин при различных вариантах закрепления краев и внешней нагрузки. Разработанные методы позволяют установить, что теория Тимошенко неприемлема для статического и динамического расчетов изотропных и ортотропных толстых пластин.

7. Разработан метод динамического расчета толстых пластин под действием внешней периодической нагрузки. Разработанный метод позволяет оценить динамическое поведение толстых пластин вблизи резонансного состояния.

8. Разработаны рекомендации по применению бимоментной теории к расчету толстых изотропных и ортотропных пластин под действием внешних сил, а также пластинчатых сооружений при сейсмических воздействиях.

9. Разработан метод статического и динамического расчетов напряженно-деформированного состояния нетонких пластин на упругом основании. Разработанная методика позволяет произвести расчеты на изгиб и вынужденные нестационарные колебания нетонких пластин на упругом основании.

10. Разработана пространственная динамическая пластинчатая модель зданий в рамках бимоментной теории. Построены формулы для определения приведенных модулей упругости и плотности разработанной пластинчатой модели. Обосновано, что разработанная пластинчатая модель и построенные формулы пригодны для описания динамического поведения зданий при сейсмических колебаниях.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 AWARDING THE
SCIENTIFIC DEGREE AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES AND TASHKENT INSTITUTE
OF ENGINEERS OF IRRIGATION AND MECHANIZATION IN
AGRICULTURE**

**INSTITUTE OF MECHANICS AND SEISMIC STABILITY OF
STRUCTURES**

USAROV MAKHAMATALI KORABOEVICH

BIMOMENT THEORY OF THICK ANISOTROPIC PLATES

01.02.04 – Mechanics of Deformable Rigid Bodies

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

Tashkent - 2018

The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, number B2018.3.DSc/FM18

The doctoral dissertation has been prepared in the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is posted on the website of Scientific Council (www.instmech.uz) and information-educational portal «ZiyoNET» at the address (www.ziynet.uz)

Scientific adviser: **Rashidov Tursunbay**
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

Official opponents: **Safarov Ismoil Ibrokhimovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Akhmedov Akrom Burkhanovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Abdikarimov Rustamkhan Alimkhanovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Leading organization: **Samarkand State University**

The defense will take place at «3» October 2018 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of the Scientific Council DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of AS RUz and Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (Address 100000, Tashkent, Kari Niyaziy street, 39, Conference hall – 4. Tel: (99871) 237-46-68; fax: (99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiame.uz).

The thesis is available in the Information Resource Center of Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (registration number 38). Address 100000, Tashkent, Kari Niyaziy street, 39, Conference hall – 4. Tel: (99871) 237-46-68; fax: (99871) 237-38-79.

Abstract of dissertation sent out on «12» September 2018 year.
(mailing report № 1 on «12» September 2018 year).

M.M.Mirsaidov
Chairman of Scientific Council for awarding degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

B.A.Khudayarov
Scientific secretary of Scientific Council
for awarding degrees, doctor of technical sciences,

R.A.Abirov
Chairman of scientific seminar at the Scientific Council for the awarding
degrees, doctor of physical and mathematical sciences

INTRODUCTION (abstract of the thesis of the doctor of Sciences (DSc))

The aim of research is to improve the theory of thick anisotropic plates, with account of their spatial stress-strain state and bimoments, and on the basis of this theory to develop the methods for solving static and dynamic problems of structural elements, buildings and structures under the effect of various external forces.

The objects of research are thick anisotropic plates and dynamic plate-like models of multi-storey buildings.

The subject of the study is a theory and methods of static and dynamic calculations of stress-strain state of thick isotropic and anisotropic plates, as well as dynamic continuum models of building structures with allowance for bimoments.

Scientific novelty of the dissertation research is as follows:

the theory of thick plates is improved taking into account the nonlinear law of displacements distribution, all components of strain and stress tensor, and bimoments in the cross sections of a thick anisotropic plate;

formulas are derived for determining the internal forces, moments and bimoments that appear in the cross sections of the plates, taking into account the transverse compression and contraction;

two systems of two-dimensional equations of motion for thick anisotropic plates with respect to forces, moments, and bimoments have been developed with allowance for tension and compression of the middle surface, as well as the transverse compression of the plate along the thickness;

methods of dynamic calculation, algorithms and programs for determining the displacements, forces, moments, and bimoments of plates under different options of boundary conditions and external loads have been developed;

spatial dynamic continuum plate model of building is developed on the basis of the bimoment theory of plates under the effect of seismic forces.

Implementation of research results. On the basis of the results obtained in investigation of the bimoment theory of thick anisotropic plates:

the methods of dynamic calculation to determine the displacements, forces, moments and bimoments of plates under various options of boundary conditions and external loading have been introduced in OOO Fargona Omad Ishonch Loyiha in dynamic calculation at the object "Reconstruction of the school No. 27 in the village Yukory Kishlok MSG Yangi Ropkon of Besharyk District, Fergana region (Act of implementation of scientific results from the State Committee of the Republic of Uzbekistan on Architecture and Construction 2579 / 30-005 of 11 April 2018). Implementation of scientific results in the reconstruction process allowed to reduce the calculation time by 1.3 times and to increase the efficiency of design works by 25%;

the calculation methods developed on the basis of the bimoment theory applied to the calculation of plate structures have been introduced into the reconstruction process at Binokor Loyiha LLC at the State Committee of the Republic of Uzbekistan on Architecture and Construction at the Facility

"Reconstruction of School No. 26 in the Izbaskan District (with the addition of a training block for 450 academic places and 18 × 30 m gym) "(Act of implementation of scientific results from the State Committee of the Republic of Uzbekistan on Architecture and Construction 2579 / 30-005 of 11 April 2018). The implementation of scientific results in the reconstruction process contributed to the improvement of the quality of work and labor productivity by 20%, and also to an increase in seismic stability of buildings by 1.25 times due to the increase in the safety margin;

methods for the development of dynamic models and equations of motions of thick plates on an elastic foundation have been introduced in the state scientific and technical grant F4-FA-F051 on the theme "Development of the theory of wave in seismic stability of structures", carried out in 2012-2016 in developing the theory of seismic stability of structures and derivation of one-dimensional equations of motion of underground pipelines, taking into account interaction with soil (Act of implementation from the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan 2 / 1255-1275 of May 17, 2018). Implementation of scientific results allows to solve complex problems with high accuracy and fully reflects the effect of seismic forces in equations for underground pipelines calculations;

methods of numerical calculation, analytical expressions for the determination of stresses from the effects of dynamic forces, as well as structure displacement and displacements of thick plates have been introduced in the State scientific and technical grant F4-A14-F020 on the theme "Development of effective methods for calculating seismic resistance, taking into account the processes of waves propagation in earth structures", conducted in 2015-2017 when calculating hydro-technical structures for seismic impacts (Act of implementation from the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan 2 / 1255-1275 of May 17, 2018). Implementation of scientific results made it possible to determine with high accuracy the displacements and stresses in hydro-technical structures.

Publication of research results. On the theme of the thesis there were published 46 scientific works, including 3 author's certificates (patents), 1 recommendation, 22 scientific articles, 16 of them - in republican and 6 - in foreign journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of the dissertation of the Doctor of Sciences (DSc).

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, six chapters, conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 195 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Усаров М.К. Решение пространственной задачи теории упругости для толстых пластин // Проблемы механики. – 2005. – № 4. – С. 33 – 37. (01.00.00; №4).
2. Усаров М.К. К теории изгиба толстых ортотропных пластин без учета упрощающих гипотез. // Проблемы механики. – 2005. – №5 – 6.– С. 28 – 32. (01.00.00; №4).
3. Усаров М.К. Задача изгиба толстых ортотропных пластин в рамках трехмерной теории упругости//Проблемы механики. –2008. – №2–3. – С.40-43. (01.00.00; №4).
4. Усаров М.К. Изгиб анизотропной пластины//Проблемы механики. – 2009. –№2–3. – С.34–37. (01.00.00; №4).
5. Усаров М.К. Вынужденные колебания толстых пластин// Проблемы механики.– 2010. –№3. – С. 15–18. (01.00.00; №4).
6. Усаров М.К. Задача изгиба для толстой ортотропной пластины в трехмерной постановке. Санкт-Петербург // Инженерно-строительный журнал.–2011.– №4. (22).– С.40-47. (01.00.00; №27).
7. Усаров М.К., Усаров Д.М. “Задача изгиба ортотропных пластин на упругом основании”. //Проблемы механики. –2012.–№4.–С.68–71. (01.00.00; №4).
8. Усаров М.К., Буриев А.Т. «Динамический изгиб толстых ортотропных пластин» //Проблемы механики.–2013.–№3–4.– С.60–63. (01.00.00; №4).
9. Усаров М.К. Расчет толстых ортотропных пластин на основе бимоментной теории // Проблемы механики. –2014.– № 2. – С.41–44. (01.00.00; №4).
10. Усаров М.К. Расчет ортотропных пластин на основе бимоментной теории. // Проблемы механики. –2014.–№ 3–4. – С.37–41. (01.00.00; №4).
11. Усаров М.К. Бимоментная теория изгиба и колебания толстых ортотропных пластин. //Вестник НУ Уз.– № 2/1. –2014. – С.127-132. (01.00.00; №8).
12. Усаров М.К. Изгиб ортотропных пластин с учетом бимоментов. Санкт-Петербург // Инженерно-строительный журнал. 2015. №1(53). – С.80–90. (01.00.00; №27).
13. Усаров М.К. Динамический изгиб шарнирно опертой-пластины. // Проблемы механики. –2015. –№ 3–4. – С. 12–16. (01.00.00; №4).
14. Усаров М.К. Динамический изгиб шарнирно-опертой пластины с учетом бимоментов//Проблемы механики. –2016.– №1.– С.74–78. (01.00.00; №4).
15. Усаров М.К. Динамический расчет прямоугольной ортотропной

пластины с учетом бимоментов // Проблемы механики.–2017.–№4.– С.15–19. (01.00.00; №4).

16. Усаров М.К. К решению трехмерных задач теории упругости для толстых пластин переменной толщины// Проблемы механики. – 2017. – №2–3. – С. 174–177. (01.00.00; №4).

17. Усаров М.К., Аюбов Г.Т. Динамический расчет здания на основе континуальной пластинчатой модели // Проблемы механики. –2018.–№ 1.– С.108-111. (01.00.00; №4).

18. Усаров М.К., Усаров Д.М. Динамический изгиб ортотропных пластин на упругом основании с учетом бимоментов //Научный вестник СамГУ.–2018.–№3(109).–С.29-35. (01.00.00; №2).

19. Usarov M.K. On Solution of the Problem of Bending of Orthotropic Plates on the Basis of Bimoment Theory. Open Journal of Applied Sciences, USA-2015, Vol.5, –P. 212-219. (№24. Scientific Research Publishing Inc. IF=0.88)

20. Usarov M.K. «Dynamic Design of Thick Orthotropic Cantilever Plates with Consideration of Bimoments»// World Journal of Mechanics. –2016. –№6. P.341–356. (№24. Scientific Research Publishing Inc. IF=0.87).

21. Usarov M.K., Usarov D.M., Ayubov G.T. Bending and Vibrations of a Thick Plate with Consideration of Bimoments//Journal of Applied Mathematics and Physics. Vol.4.–2016. P. 1643–1651. (№24. Scientific Research Publishing Inc. IF=0.57).

22. Usarov M.K. To the solution of three-dimensional problems of oscillations in the theory of elasticity in thick plates of variable thickness// Journal of Applied Mathematics and Physics. – Vol. 5. –2017. Number 10. – 2017.– P. 2044–2050. <http://www.scirp.org/journal/jamp>. (№24. Scientific Research Publishing Inc. IF=0.57).

II бўлим (II часть; II part)

23. Усаров М.К. Изгиб толстых пластин // Вестник ТашИИТ. – 2008. – № 2. – С. 30 – 35.

24. Усаров М.К. Теория толстых пластин с учетом бимоментов// Научно-технический журнал Фер. ПИ.– 2014.–№ 3. – С.44–50.

25. Usarov M.K. On the theory of bending of a thick orthotropic plate without consideration of simplifying hypothesis//. Social and Natural Sciences Journal. –Vol. 3.– 2011. –P. 51–55.

26. Ниязова Н.А., Усаров М.К. К теории изгиба и устойчивости трехслойных пластин с ортотропным трехмерным наполнителем// Восьмой Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике.–Пермь, 23-29 август, 2001.– С.458–459.

27. Усаров М.К. К теории изгиба и устойчивости толстых пластин с малой сдвиговой жесткостью// Труды конф. «Математическое моделирование инженерных задач». –Ташкент, 22-24 октябрь, 2001г.

28. Усаров М.К. Изгиб толстых ортотропных пластин// Материалы конф. “Современные проблемы механики”.–Ташкент, 2001., 29-31 октября, – С.312–314.

29. Усаров М.К. К решению трехмерных задач теории упругости для толстых ортотропных пластин// Материалы Международной конференции «Проблемы механики и сейсродинамики сооружений».– Ташкент, 2004, 27-28 мая, – С. 328–330.

30. Усаров М.К., Изгиб толстой ортотропной пластины без учета упрощающих гипотез// Материалы Международной науч.-техн. конференции «Современные проблемы и перспективы механики.–Ташкент, 2006., 17-18 мая, – С. 412–415.

31. Усаров М.К. Задача изгиба ортотропной пластины в трехмерной постановке// Материалы XV межд. научн. конференции ученых Украины, Беларуси и России: ”Прикладные задачи математики и механики“.– Севастополь, 2007.,17-21 сентября, – С. 68–70.

32. Усаров М.К. Задача изгиба толстых ортотропных пластин в рамках трехмерной теории упругости// Материалы XV Межд. конференции. – Самарканд, 2007., 28–29 июня, – С. 213-216.

33. Усаров М.К. Расчет изгиба ортотропных пластин на упругом основании// Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики».–Ташкент, 2009., 23-24 сентябрь, – С. 522–525.

34. Усаров М.К., Усаров Д.М. Колебания толстых ортотропных пластин// Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, посвященная 80-летию ТашИИТ.–Ташкент, 2011., 15-16 декабря, – С 221-223.

35. Усаров М.К. «К бимоментной теории анизотропных пластин». //Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем».– Самарканд, 2013г., 19–20 апреля. – С.218-222.

36. Усаров М.К., Усаров Д.М. «Изгиб толстых пластин на упругом основании». //Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем» // Самарканд-2013г., 19-20 апреля. – С.222-226.

37. Усаров М.К., Усаров Д.М. «Изгиб ортотропных пластин на упругом основании»//Материалы Республиканской научно-исследовательской конференции «Современные проблемы моделирования механических и технологических процессов, основанных на высоких технологиях».–Бухара. 2013., 26-28 ноября. – С. 158–161.

38. Усаров М.К. Теория толстых плит с учетом бимоментов. Современные актуальные проблемы естественных наук// Международная

научно-практическая интернет-конференция.–Актюбе, 2014., 18-27 декабря, Т.2. – С. 71-76.

39. Усаров М.К., Аюбов Г.Т. Вынужденные колебания пластинчатых сооружений// Материалы Международной научно-технической конференции «Прочность конструкций, сейсродинамика зданий и сооружений».–Ташкент, 2016.,12-14 сентябрь.– С.325–328.

40. Усаров М.К. Динамический расчет толстых ортотропных консольных пластин с учетом бимоментов//Сборник научных статей Республиканского второго профессорско-преподавательского и научно-исследовательского состава высших и средне-специальных учебных заведений: «Наука и образование в XXI веке».–Бухара. 2017, май, С. 277-283.

41. Усаров М.К., Усаров Д.М. Динамический расчет ортотропной пластины на упругом основании с учетом бимоментов // Республика илмий-амалий анжумани материаллари «Ўзбекистонда геотехника муаммолари ва уларнинг замонавий ечимлари». Тошкент. 16 – 17 апрель 2018 й. Б. 210-216.

42. Мирзаев И.М., Усаров М.К. Построение математических моделей динамики зданий методом вычислительного эксперимента // Тезисы докл. Межд. конф. «Математическое моделирование и вычислительный эксперимент». – Ташкент. 28 – 30 ноября 1994. – С. 185.

43. Усаров М.К., Усаров Д.М. Решение об официальной регистрации программы для ЭВМ. 2016. 30 сентября.

44. Усаров М.К., Усаров Д.М., Аюбов Г.Т. Решение об официальной регистрации программы для ЭВМ. 2016. 28 декабря.

45. Усаров М.К., Усаров Д.М., Аюбов Г.Т. Определение поля перемещения пластинчатой модели здания при сейсмических воздействиях. SEYSMICHESKIE_KOLEBANIYA_ZDANIYA.EXE. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. 2017. 4 октября.

46. Усаров М.К., Сагдиев Х.С., Усаров Д.М., Аюбов Г.Т. Рекомендации по применению бимоментной теории к расчету пластинчатых сооружений // –Ташкент. Изд. Навруз. 2017. – 40 с.

Авторефератнинг ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги нусхалари
«Механика муаммолари Ўзбекистон журналы» таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди