

**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**

**АЮБОВ ГАЙРАТЖОН ТУХТАСИНОВИЧ**

**ИНШООТЛАРНИ ПЛАСТИНАСИМОН КОНТИНУАЛЬ МОДЕЛЬ  
АСОСИДА ФАЗОВИЙ ҲИСОБЛАШНИНГ ДИНАМИК УСУЛЛАРИ**

**01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2019**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**  
**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Аюбов Гайратжон Тухтасинович**

Иншоотларни пластинасимон континуаль модель асосида фазовий  
ҳисоблашнинг динамик усуллари.....3

**Аюбов Гайратжон Тухтасинович**

Динамические методы пространственного расчета сооружений на основе  
пластинчатой континуальной модели .....25

**Ayubov Gayratjon Tuxtasinovich**

Dynamic methods of spatial calculation of structures based on a plate  
continuum model.....47

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works.....51

**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**

**АЮБОВ ГАЙРАТЖОН ТУХТАСИНОВИЧ**

**ИНШООТЛАРНИ ПЛАСТИНАСИМОН КОНТИНУАЛЬ МОДЕЛЬ  
АСОСИДА ФАЗОВИЙ ҲИСОБЛАШНИНГ ДИНАМИК УСУЛЛАРИ**

**01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.PhD/T19 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](http://www.instmech.uz)) ва «Ziyonet» ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Усаров Махаматали Корабоевич**

физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

**Расмий оппонентлар:**

**Хожметов Гоибназар Хадиевич**

техника фанлари доктори, профессор

**Ахмедов Ақром Бурханович**

физика-математика фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Наманган муҳандислик-қурилиш институти**

Диссертация ҳимояси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ва Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти ҳузуридаги DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «27» ноябрь соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33, 1 - мажлислар зали. Тел.: (99871) 262-71-52; факс: (99871) 262-71-32, e-mail: [instmech@academy.uz](mailto:instmech@academy.uz)).

Диссертация билан Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (95 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниёзий кўчаси, 39, Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Диссертация автореферати 2019 йил «12» ноябрь куни тарқатилди.  
(2019 йил «12» ноябрдаги 1 рақамли реестр баённомаси).

**М.М. Мирсаидов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор, ЎзР ФА академиги

**Н.М. Икромов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, PhD

**Р.А. Абиров**

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

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда замонавий шаҳар қурилиш архитектураси қаватлари ва режадаги узунлиги оширилган биноларни қуришга йўналтирилган. Бундай кўп қаватли бинолар сейсмик таъсирнинг йўналишини олдиндан башорат қилиб бўлмайдиган юқори сейсмик ҳудудларда барпо қилинмоқда. Уларнинг зилзилабардошлигини таъминлаш, лойиҳалаш ва қурилишда алоҳида аҳамиятга эга. Ҳозирги вақтда турли хил ҳисоблаш моделлари ва услубларини, иншоотларни мураккаб конструкцион хусусиятларини ҳисобга олиб бино ва иншоотларнинг зилзилабардошлигини ҳамда сейсмик хавфсизлигини таъминлаш бўйича тадқиқотлари кенг кўламда олиб борилмоқда. Ривожланган давлатларда, жумладан АҚШ, Япония, Хитой, Хиндистон, Туркия ва бошқа давлатларда кучли зилзилалар таъсирини ҳисобга олган ҳолда мураккаб конфигурацияли бино ва иншоотларнинг турли хил фазовий моделлари, ҳисоблаш усуллари ва компьютер дастурларидан фойдаланиб лойиҳалаш борасидаги муаммоларини ҳал этиш муҳим вазифаларидан бири ҳисобланади.

Жаҳонда сейсмик фаол ҳудудларда жойлашган бино ва иншоотларнинг динамик ҳолатини тасвирловчи турли хил фазовий моделларини ишлаб чиқиш, уларнинг динамик характеристикаларини аниқлаш ва амалий масалаларининг ечиш усуллари ривожлантирилмоқда. Бу борада, жумладан мураккаб фазовий тизим сифатида турли конструктив ечимга эга бўлган биноларнинг динамик моделлари, сейсмик кучлар таъсирида унинг конструкцияларида ҳосил бўладиган кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш услублари ва дастурларини ишлаб чиқиш ҳамда хавфли кесимларини аниқлаш учун мақсадли илмий тадқиқотларни олиб бориш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамызда бино ва иншоотларнинг зилзилабардошлигини ошириш ва уларнинг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш бўйича кенг кўламда чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Шу билан бир қаторда қаватлари ва режадаги узунлиги оширилган, мураккаб конфигурацияли, сейсмик ҳудудларда бир жинсли бўлмаган грунт шароитида жойлашган бино ва иншоотларни қуришда уларни бўлиши мумкин бўлган сейсмик таъсирларга мустаҳкамлигини ошириш мақсадида динамик ҳисоблаш услубларини такомиллаштириш талаб этилади. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «...шаҳарларда энергия жиҳатдан самарадор арзон кўп квартирали уйларни қуриш,... реконструкция қилиш ва мавжудларини капитал таъмирлаш орқали аҳоли турмуш тарзини яхшилаш...»<sup>1</sup> вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, жумладан бино ва иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблаш усулларини

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

такомиллаштириш, пластинасимон континуаль модель асосида биноларни динамик характеристикаларини аниқлаш, бино ва иншоотларни кучланганлик-деформацияланган ҳолатини сонли ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги Фармони, 2017 йил 1 июндаги ПФ-5066-сон «Фавқулодда вазиятларнинг олдини олиш ва уларни бартараф этиш тизими самарадорлигини тубдан ошириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги Фармонлари, 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 ва Вазирлар Маҳкамасининг 2007 йил 3 апрелдаги 71-сон «Фавқулодда ҳолатларни прогноз қилиш ва олдини олиш бўйича Давлат дастурини тасдиқлаш» тўғрисидаги Қарорларида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика ва информатика» ва XIV. «Сейсмология, бинолар ва иншоотлар сейсмик хавфсизлиги ва қурилиш» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Бино ва иншоотлар зилзилабардошлиги муаммолари бўйича мамлакатимизда ва хорижий мамлакатларда бир қатор олимлар илмий тадқиқотлар олиб боришган. Бино ва иншоотлар зилзилабардошлигининг илмий асослари механика соҳасидаги қуйидаги олимлар, К.С.Завриев, А.Г.Назаров, М.Т.Уразбаев, Т.Р.Рашидов, Т.Буриев, С.В.Пономарев, А.А.Шаалимов, Э.Е.Хачиян, В.А.Быховский, И.И.Гольденблат, С.В.Поляков, И.Л.Корчинский, В.Т.Рассказовский, В.В.Болотин, М.Ф.Барштейн, В.М.Лятхер, С.В.Медведев, Н.А.Николаенко, А.Р.Ржаницин, Ф.Омори, М.А.Био, Г.В.Хаузнер, Р.Р.Мартел, Т.Ш.Ширинкулов, Я.Н.Мубараков, М.М.Мирсаидов, Г.Х.Хожметов, Б.М.Мардонов, И.Мирзаев, А.Абдусатторов, К.С.Абдурашидов, К.С.Султанов, У.Ш.Шамсиев, И.С.Сафаров, Х.Худайназаров, Р.Х.Мухутдинова, Т.З.Султанов, К.Д.Салямова, Б.Э.Хусанов, А.Б.Ахмедов, С.Ж.Раззаков, Х.С.Сагдиев, М.К.Усаров, Д.Ф.Руми, З.Р.Тешабаев ва бошқаларнинг илмий ишларида кўриб чиқилган. Улар томонидан бино ва иншоотлар зилзилабардошлигининг статик ва динамик назариялари ишлаб чиқилган ва ривожлантирилган. Турли кўринишдаги сейсмик таъсирларда бино ва иншоотларни ҳисоблашнинг турли моделлари таклиф қилинган.

Ҳозирги вақтдаги ҳисоблаш услублари алоҳида аҳамиятли тақрибий услубларга асосланган бўлиб, биноларнинг зилзила натижасида структуравий бузилиши ва уларнинг оқибатларининг таҳлили, объектларни моделлаштириш (консол кўринишидаги) ва зилзилабардошликка ҳисоблашдаги

мавжуд бўлган камчиликларни кўрсатмоқда. Шу сабабли, эгилиш, силжиш, чўзилиш (сиқилиш) ва буралишга ишлайдиган, балка ва пластинасимон элементлардан ташкил топган биноларнинг фазовий конструкцияларининг тебранишини динамик масалалари, долзарб масалалардан ҳисобланади, бу тизимларнинг динамик ҳисоблари балкали ва пластинасимон элементлари боғланишининг реал шароитларини ҳисобга олувчи, конструкция элементларининг фазовий характерини акс эттирувчи услуб асосида амалга оширилади. Юқорида келтирилганлар бино ва иншоотларни сейсмик таъсирлардаги кучланганлик деформацияланганлик ҳолати тадқиқотларига катта ҳисса ҳисобланади ва биноларни лойиҳалашдаги ҳажмий режавий ва конструктив ечимларни такомиллаштириш имконини беради.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ва илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг Ф4-ФА-Ф049 «Материалларни анизотроп хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қалин деворли пластина ва қобикларни эгилиши ва тебранишининг бимоментли назариясини ишлаб чиқиш» (2012–2016); ФА-А14-Ф022 «Актив сейсмик ҳимояланиш ва тўлқинлар жараёнларини ҳисобга олган ҳолда биноларни ҳисоблашнинг самарали фазовий усулларини ишлаб чиқиш» (2015–2017) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** бимоментли назария асосида биноларнинг динамик пластинасимон континуаль моделини такомиллаштириш ва сейсмик мустаҳкамликка ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

бино ва иншоотлар зилзилабардошлигининг амалий масалаларини ечишга қўлланилган динамик фазовий пластинасимон моделларни такомиллаштириш;

бинонинг пластинасимон континуаль моделининг конструктив хусусиятларини эътиборга олган ҳолда келтирилган эластиклик модули ва зичлигини аниқлаш ифодаларини ишлаб чиқиш;

сейсмик таъсирларда кўп қаватли бинолар ва пластинасимон иншоотларни пластинасимон континуаль модель доирасида бўйлама ва кўндаланг тебранишларининг сонли ечиш усулларини ишлаб чиқиш;

кўп қаватли биноларда тезланишлар, максимал кўчишлар, динамик кўрсаткичларни аниқлаш дастурларини ва алгоритмларини, динамик ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш;

сейсмик таъсирларда биноларнинг пластинасимон моделини қўллаш асосида биноларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳамда фазовий конструкцияларининг ҳавфли жойлари (кесимлар)ни ҳисоблаш дастурлари ва услубларини ишлаб чиқиш;

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида кўп қаватли бино ва иншоотларнинг динамик пластинасимон континуаль модели олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** пластинасимон континуаль модель асосида бимоментларни ҳисобга олиб бино ва иншоотларни кучланганлик-

деформацияланганлик ҳолати ва динамик характеристикаларини аниқлаш жараёнлари ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида деформацияланувчи қаттиқ жисм механикаси, қалин пластиналарнинг эгилиши ва тебраниши назариясининг усуллари, қурилиш механикаси, математик моделлаштириш, алгоритмизация ва сейсмик тебранишлар назариясининг усуллари, динамик характеристикаларни сонли ҳисоблаш учун чекли айирмалар усули, ҳисоблаш экспериментлари усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

пластиналарнинг бимоментли назариясининг асосий муносабатларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган пластинасимон континуаль модель асосида бино ва иншоотларни сейсмик таъсирларга ҳисоблаш усуллари такомиллаштирилган;

геометрик тузилиши ва конструктив хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда бино пластинасимон континуаль моделини келтирилган эластиклик модули ва зичликларини аниқлашнинг аналитик ифодалари ишлаб чиқилган;

сейсмик таъсирларда пластинасимон континуаль модель доирасида кўп қаватли биноларнинг фазовий тебраниш шакллари ҳисобга олган ҳолда кўндаланг ва бўйлама тебранишлар масалаларини сонли ечиш усуллари ишлаб чиқилган;

сейсмик таъсирларда пластинасимон континуаль модель асосида биноларни конструктив хосликларини ҳисобга олган ҳолда динамик ҳисоблаш алгоритми, дастури ва конструкцияларнинг хавфли кесимлари, кинематик ва динамик характеристикаларини аниқлаш услублари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

бимоментларни ҳисобга олиб пластинасимон модель асосида динамик кучлар таъсиридаги бино ва иншоотларни фазовий ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

бўйлама ва кўндаланг йўналишлардаги сейсмик тебранишларда бинонинг хавфли кесимларидаги максимал кўчишлар ва тезланишларни сонли натижаларини олиш ва чизиқли масалаларни ҳисоблаш жараёнини автоматлаштириш имконини берувчи ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилган (№ DGU 05312);

пластинасимон континуаль модель доирасида резонанс усули асосида кўп қаватли бинонинг динамик характеристикалари аниқланган (№ DGU 05532);

фазовий тўғон типдаги пластинасимон гидротехник ва девор иншоотларининг куч факторларини сонли ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги эластиклик ва деформацияланувчи қаттиқ жисм механикасининг умумий қабул қилинган тадқиқот усуллари ҳамда бино ва иншоотларни ҳисоблашнинг қутисимон моделларида фойдаланиб тадқиқотлар ўтказган бошқа тадқиқотчилар натижаларига мос тушиши ва амалиётга жорий қилинганлиги билан изоҳланади.



**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти сейсмик таъсирларда бинонинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатига фазовий сонли ҳисоблашларнинг ишлаб чиқилган усулларида фойдаланган ҳолда кўп қаватли биноларнинг пластинасимон континуаль моделини такомиллаштириши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган бино ва иншоотларнинг фазовий пластинасимон континуаль моделларини қўллаган ҳолда динамик ҳисоблаш усуллари ва дастурлари ёрдамида биноларнинг хавфли кесимларини аниқлаш, улардаги кўчишлар, тезланишлар ва кучланишларнинг максимал қийматларини ҳисоблаш ҳамда зилзила вақтида мавжуд сейсмик хавфсизлигини баҳолаш имконини бериши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Иншоотларнинг пластинасимон континуаль моделидан фойдаланиб фазовий ҳисоблашнинг динамик усуллари тадқиқотлари бўйича олинган илмий натижалар асосида:

динамик юкламалар таъсиридаги биноларнинг пластинасимон конструкцияларида хавфли зоналарни аниқлаш учун ҳисоблаш услуги “Фарғонафукаролойиҳа” МЧЖ да “Фарғона вилояти, Фарғона шаҳри, Аэропорт кўчасида жойлашган 250 ўринли №5 оилавий поликлиника қурилиши” объектининг динамик ҳисоблаш жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 2019 йил 4 февралдаги 770/06–18-сонли маълумотномаси). Натижада бино конструкциясининг ишончилигини 15–20% га ошириб, бинонинг зилзилабардошлигини таъминлаш имконини берган;

пластинасимон континуаль модель асосидаги ҳисоблаш услуги “Шўртан газ кимё комбинатининг тозаланган метан базасида синтетик суюқ ёқилғи ишлаб чиқариш заводи ҳудудида жойлашган бошқарув-маиший комплекс қурилиши” объектида бинони сейсмик таъсирларга ҳисоблашга жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 2019 йил 4 февралдаги 770/06–18-сонли маълумотномаси). Натижада ҳисоблаш жараёнига сарфланадиган вақтни 1,2 баробар қисқартириш имконини берган;

кўп қаватли бино ва иншоотларни бўйлама ва кўндаланг тебранишлари ҳақидаги масалаларни ечиш усули, шунингдек ҳисоблаш дастури “Шўртан газ кимё комбинатининг тозаланган метан базасида синтетик суюқ ёқилғи ишлаб чиқариш заводи ҳудудида жойлашган бошқарув-маиший комплекс қурилиши” объектининг лойиҳалаш ва қуриш жараёнига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 2019 йил 4 февралдаги 770/06–18 - сонли маълумотномаси). Натижада лойиҳалаш ишларини аниқлиги ва самарадорлигини 18% ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 4 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 22 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон

Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 9 та мақола, жумладан, 7 таси республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр қилинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация ишининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, мақсад ва вазифалари шакиллантирилиб, тадқиқотларнинг объект ва предметлари келтирилган, тадқиқотнинг республика фан ва технологияси тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг амалий натижалари ва илмий янгилиги ифодаланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти ва тадқиқот натижаларининг амалиётга тадбиғи ёритилган, тадқиқот натижаларининг нашр этилганлиги ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Бино ва иншоотларни сейсмик мустаҳкамликга ҳисоблаш бўйича илмий ишлар таҳлили**» деб номланган биринчи бобида сейсмик тебранишларда диссертация мавзуси бўйича мавжуд адабиётлар таҳлили, турли хил назариялар асосида бино ва иншоотларнинг мавжуд фазовий пластинасимон ва текис ҳисоблаш услублари келтирилган, ҳамда бинонинг пластинасимон континуаль модели қурилган. Сейсмик таъсирларда баъзи қалин ортотроп пластиналарнинг келтирилган эластиклик модулини ҳисобга олган ҳолда кўп қаватли биноларнинг фазовий динамик ҳаракатини моделлаштиришни мақсадга мувофиқлиги асосланган.

Жаҳонда кўплаб мамлакатлар, шу қаторида бизнинг республикамиз ҳам сейсмик фаол ҳудудда жойлашган бўлиб, бино ва иншоотларни лойиҳалаш ва қуришда сейсмик таъсирларни ҳисобга олиш долзарб масала ҳисобланади.

Бино ва иншоотларнинг зилзилабардошлиги бўйича қурилиш меъёрларида уларнинг ҳисобий схемаси қават сатҳида тўпланган массалар билан қистириб маҳкамланган эластик стержень кўринишида олинган.

Бино қурилиш механикаси курсида ўрганилувчи мураккаб объектлар ҳисобланади. Кўп қаватли йирик бинолар элементларининг хилма-хиллиги ва мураккаб тузилишга эга эканлиги учун бугунги кунда уларни кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатига динамик ҳисоблашнинг универсал усуллари мавжуд эмас. Бино ва иншоотлар зилзилабардошлиги назарияси қурилиш механикасининг долзарб йўналишларидан бири сифатида ривожланмоқда. Шунини таъкидлаш керакки, кўплаб кучли зилзилалар оқибатларининг таҳлили бино ва иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблаш усуллариининг камчиликларини кўрсатиб берди.

Ҳозирги кунда фойдаланиладиган иншоотларнинг меъёрий ҳисобий схемаси сейсмик таъсирларда уларнинг ҳолатини ҳақиқий кўринишини тўлиқ

ёритиб бермайди. Мисол учун, бир ўлчамли консол балка ёки бир неча тўпланган массалардан ташкил топган стержень кўринишидаги ҳисобий схема бино ва иншоотлар конструкцияларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини реал характерини тўлиқ акс эттириб бера олмайди. Юқоридаги масалани ҳисобга олиш бино ва иншоотларни динамик (сейсмик) таъсирларда кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини тадқиқ қилиш услубининг ривожланишига сезиларли даражада ҳисса қўшади ва уларни лойиҳалашда биноларнинг конструктив ва ҳажмий-режавий ечимларини такомиллаштиришга имкон беради.

Баъзи бир яқинлашишлар билан яхлит ортотроп, мустаҳкамлиги кам материалдан ташкил топган қалин консоль пластина деб қараш мумкин бўлган параллеллапипед кўринишидаги уч ўлчамли континуаль жисмнинг тебранишларини бино тебраниши билан солиштириш мумкин бўлади. Сеймик тебранишлар жараёнида пластинасимон ва балкасимон элементлар чўзилиш-сиқилиш, силжиш, эгилиш ва буралиш деформациялари юзага келиб қаралаётган континуаль уч ўлчамли жисмнинг фазовий деформациясини таъминлаб беради.

Континуаль моделнинг моҳияти, зич жойлашган тўр тугунларининг соҳаси унга тенг кучли бўлган қобик ёки пластиналар билан алмаштириш мумкинлиги билан ифодаланади.

Континуаль моделлаштириш фазовий дискрет тизимларни ҳисоблашда кенг фойдаланилади. Мисол учун, математик моделлаштириш усуллари авиация ва кemasозликда конструкцияларини ҳисоблашда фойдаланилган. Қистирилган қовурғалар билан маҳкамланган тўғри бурчак пластиналар кенг тарқалган конструкциялардан бири бўлиб, аниқ дискрет-континуаль модель бўйича ривожланган сонли ва аналитик усуллар ҳисоби бўйича амалга оширилади. Бу ерда ижобий натижаларга чекли элементлар усули ёрдамида эришилган.

Пластинасимон модель сифатида кўплаб муҳандислик иншоотларини келтириш мумкин. Мисол учун, гидротехник иншоотлари тузилишига кўра қалинлиги ўзгарувчан қалин пластиналарга яқин.

Диссертацияда ҳисоб ишларини бажаришда биноларнинг конструктив ўзига хосликларини ҳисобга олган ҳолда, пластинасимон моделлар такомиллаштирилган. Ушбу модель доирасида ишлаб чиқилган бино конструкцияларининг тебраниш масалаларини сонли-аналитик ечиш усули таклиф қилинган, ҳамда бу усул конструкцияларнинг фазовий ишлашини ҳисобга олади. Юқоридагилар орқали ушбу диссертация ишининг долзарблиги аниқланади, шу билан аниқлаштирилган услуб орқали бино ва иншоотлар зилзилабардошлигини ҳисоблаш аниқлигини оширишга имкон беради.

Диссертациянинг **«Пластинасимон континуаль модель асосида биноларнинг сейсмик тебраниши тўғрисида масалаларни ифодалаш»** деб номланган иккинчи бобида қалин пластиналарнинг бимоментли назариясининг асосий ҳаракат тенгламалари ва муносабатлари келтирилган. Қалин пластиналарнинг бимоментли назарияси чузувчи ва кесувчи кучлар,

эгувчи ва буровчи моментлардан ташқари бимоментларни ичига олади ҳамда кучланиш ва деформация тензорларининг барча компонентларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган:  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  ( $i, j=1,3$ ) ва ҳар бири тегишли равишда тўққизта икки ўлчовли тенгламаларнинг чегаравий шартлари асосида шаклланган иккита бир-бирига боғлиқ бўлмаган масалалар билан ифодаланган.

Кўндаланг сиқилишни ҳисобга олган ҳолда чўзилиш-сиқилиш шароитида юзага келувчи эгувчи ва буровчи моментлар, кўндаланг, уринма ва кесувчи кучлар ҳамда бимоментларнинг аниқ ифодалари келтирилган, эгилишда эса – пластина қалинлиги бўйича кўндаланг силжишни ҳисобга олган ҳолда келтирилган. Кучлар, моментлар ва бимоментларга нисбатан бинонинг пластинасимон континуаль моделининг ҳаракат тенгламалари қурилган.

Ушбу бобда пластиналарнинг бимоментлигининг назарияси доирасида ишлаб чиқилган бинонинг пластинасимон континуаль модели такомиллаштирилган. Геометрик ва конструктив хусусиятларни ҳисобга олган ҳолда бинонинг пластинасимон модели учун келтирилган эластиклик модуллари ва зичлигини аниқлаш учун формулалар тузилган. Пластиналарни бимоментли назариясини тавсифлаш учун кинематик функциялар ва бимоментларнинг умумлашган тушунчалари киритилди.

$\bar{\psi}_1$ ,  $\bar{\psi}_2$ ,  $\bar{\beta}_1$ ,  $\bar{\beta}_2$ ,  $\bar{u}_1$ ,  $\bar{u}_2$ ,  $\bar{r}$ ,  $\bar{\gamma}$ ,  $\bar{W}$  умумлашган тўққизта функциялар ёрдамида бимоментлар ва кучлар орқали биринчи масала шакллантирилган.

Бўйлама ва тангенциал зўриқишлар қуйидаги ифодалар ёрдамида аниқланади:

$$N_{11} = \int_{-h}^h \sigma_{11} dz, \quad N_{12} = \int_{-h}^h \sigma_{12} dz, \quad N_{22} = \int_{-h}^h \sigma_{22} dz. \quad (1)$$

Бўйлама ва тангенциал бимоментлар қуйидаги кўринишни олади:

$$T_{11} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{11} z^2 dz, \quad T_{12} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{12} z^2 dz, \quad T_{22} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{22} z^2 dz. \quad (2)$$

Бимоментлар интенсивлиги  $\bar{p}_{13}$ ,  $\bar{p}_{23}$ ,  $\bar{p}_{33}$  ва  $\bar{\tau}_{13}$ ,  $\bar{\tau}_{23}$ ,  $\bar{\tau}_{33}$  уринма  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{23}$ ,  $\sigma_{33}$  кучланишларга нисбатан қуйидаги ифодалар ёрдамида аниқланади:

$$\bar{p}_{13} = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h \sigma_{13} z dz, \quad \bar{p}_{23} = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h \sigma_{23} z dz, \quad \bar{p}_{33} = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h \sigma_{33} dz, \quad (3)$$

$$\bar{\tau}_{13} = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h \sigma_{13} z^3 dz, \quad \bar{\tau}_{23} = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h \sigma_{23} z^3 dz, \quad \bar{\tau}_{33} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{33} z^2 dz. \quad (4)$$

Максимал кучланишларни аниқлаш учун ифодалар қуйидаги кўринишни

олади:

$$\bar{\sigma}_{11} = \left( E_{11} - \frac{E_{13}}{E_{33}} E_{31} \right) \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{12} - \frac{E_{13}}{E_{33}} E_{32} \right) \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{13}}{E_{33}} \bar{q}_3, \quad (5)$$

$$\bar{\sigma}_{22} = \left( E_{21} - \frac{E_{23}}{E_{33}} E_{31} \right) \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{22} - \frac{E_{23}}{E_{33}} E_{32} \right) \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{23}}{E_{33}} \bar{q}_3, \quad (6)$$

$$\bar{\sigma}_{12} = G_{12} \left( \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_1} \right). \quad (7)$$

Ташқи кучлар билан аниқланадиган ҳаракат тенгламалари системасининг кучга оид ҳадларини қуйидаги кўринишда ифодаланади

$$\bar{q}_k = \frac{q_k^{(+)} - q_k^{(-)}}{2}, \quad (k=1,2), \quad \bar{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} + q_3^{(-)}}{2}. \quad (8)$$

Биринчи масала кучлар ва бимоментлар таъсиридаги ҳаракат тенгламаларидан иборат. Бўйлама йўналишда йўналган сейсмик таъсирдаги бинонинг ҳаракат тенгламаси сифатида фазовий эластиклик назарияси доирасида ички кучлар ва бимоментларни ҳисобга олган ҳолда қурилган қалин пластинанинг бўйлама тебранишлари тенгламаларини оламиз:

$$\frac{\partial N_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{12}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_1 = \rho H \ddot{\bar{\psi}}_1, \quad \frac{\partial N_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{22}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_2 = \rho H \ddot{\bar{\psi}}_2, \quad (9)$$

$$\frac{\partial T_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{12}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{13} + 2\bar{q}_1 = \rho H \ddot{\bar{\beta}}_1, \quad \frac{\partial T_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{22}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{23} + 2\bar{q}_2 = \rho H \ddot{\bar{\beta}}_2, \quad (10)$$

$$\frac{\partial \bar{p}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{p}_{23}}{\partial x_2} - \frac{2\bar{p}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} = \rho \ddot{\bar{r}}, \quad \frac{\partial \bar{\tau}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{\tau}_{23}}{\partial x_2} - \frac{6\bar{\tau}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} = \rho \ddot{\bar{\gamma}}, \quad (11)$$

$$\bar{u}_k = \frac{1}{4} (21\bar{\beta}_k - 3\bar{\psi}_k) - \frac{1}{20} H \frac{\partial \bar{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{20} \frac{H \bar{q}_k}{G_{k3}} \quad (k=1,2), \quad (12)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{2} (21\bar{\gamma} - 7\bar{r}) - \frac{1}{30} H \left( \frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H \bar{q}_3}{30 E_{33}}. \quad (13)$$

Иккинчи масалани ёритиш учун  $\tilde{\psi}_1, \tilde{\psi}_2, \tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{r}, \tilde{\gamma}, \tilde{W}$  тўққизта номаълум функциялар ёрдамида кучлар, момент ва бимоментларни киритамиз.

Иккинчи масала кучлар, моментлар ва бимоментлар таъсиридаги ҳаракат тенгламаларидан иборат. Учта тенгламалардан иборат биринчи система моментлар ва кесувчи кучлар учун иккита тенгламадан ташкил топади.

Эгувчи ва бурувчи моментлар қуйидаги ифодадан аниқланади

$$M_{11} = \int_{-h}^h \sigma_{11} z dz, \quad M_{12} = \int_{-h}^h \sigma_{12} z dz, \quad M_{22} = \int_{-h}^h \sigma_{22} z dz. \quad (14)$$

Кесувчи кучлар учун ифодалар қуйидаги кўринишни олади:

$$Q_{13} = \int_{-h}^h \sigma_{13} dz = G_{13} (2\tilde{u}_1 + H \frac{\partial \tilde{r}}{\partial x_1}), \quad Q_{23} = \int_{-h}^h \sigma_{23} dz = G_{23} (2\tilde{u}_2 + H \frac{\partial \tilde{r}}{\partial x_2}). \quad (15)$$

Қолган тенгламаларни қуриш учун қуйидаги ифодалар ёрдамида аниқланадиган пластинанинг силжиши ва эгилишидан пайдо бўладиган бимоментлар киритилган:

$$P_{11} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{11} z^3 dz, \quad P_{12} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{12} z^3 dz, \quad P_{22} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{22} z^3 dz. \quad (16)$$

$\tilde{p}_{13}$ ,  $\tilde{p}_{23}$  ва  $\tilde{p}_{33}$  кўндаланг нормал ва уринма бимоментлар интенсивлиги қуйидаги ифодалар ёрдамида аниқланади

$$\tilde{p}_{13} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{13} z^2 dz, \quad \tilde{p}_{23} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{23} z^2 dz, \quad (17)$$

$$\tilde{p}_{33} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{13} z dz, \quad \tilde{\tau}_{33} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{13} z^3 dz. \quad (18)$$

Максимал кучланишларни аниқлаш учун ифодалар қуйидаги кўринишларни олади:

$$\tilde{\sigma}_{11} = \left( E_{11} - \frac{E_{13}}{E_{33}} E_{31} \right) \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{12} - \frac{E_{13}}{E_{33}} E_{32} \right) \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{13}}{E_{33}} \tilde{q}_3, \quad (19)$$

$$\tilde{\sigma}_{22} = \left( E_{21} - \frac{E_{23}}{E_{33}} E_{31} \right) \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{22} - \frac{E_{23}}{E_{33}} E_{32} \right) \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{23}}{E_{33}} \tilde{q}_3, \quad (20)$$

$$\tilde{\sigma}_{12} = G_{12} \left( \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_2} + \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_1} \right). \quad (21)$$

Ташқи кучлар орқали аниқланадиган ҳаракат тенгламалари системасининг кучга оид ҳадларини қуйидаги кўринишда ифодаланган

$$\tilde{q}_k = \frac{q_k^{(+)} + q_k^{(-)}}{2} \quad (k=1,2), \quad \tilde{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} - q_3^{(-)}}{2}. \quad (22)$$

Эгувчи, буровчи моментларга нисбатан пластинанинг кўндаланг тебраниш тенгламалари ва эластиклик назарияси тенгламаси асосида қурилган кўндаланг, бўйлама бимоментлар ва кесувчи кучларга нисбатан

қуйидаги кўринишда ёзилган:

$$\frac{\partial M_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{12}}{\partial x_2} - Q_{13} + H\tilde{q}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\psi}}_1, \quad \frac{\partial M_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{22}}{\partial x_2} - Q_{23} + H\tilde{q}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\psi}}_2, \quad (23)$$

$$\frac{\partial P_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{12}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{13} + H\tilde{q}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\beta}}_1, \quad \frac{\partial P_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{22}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{23} + H\tilde{q}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\beta}}_2, \quad (24)$$

$$\frac{\partial Q_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial Q_{23}}{\partial x_2} + 2\tilde{q}_3 = \rho H \ddot{\tilde{r}}, \quad H \frac{\partial \tilde{p}_{13}}{\partial x_1} + H \frac{\partial \tilde{p}_{23}}{\partial x_2} - 4\tilde{p}_{33} + 2\tilde{q}_3 = H \rho \ddot{\tilde{\gamma}}, \quad (25)$$

$$\tilde{u}_k = \frac{1}{2} (21\tilde{\beta}_k - 7\tilde{\psi}_k) - \frac{1}{30} H \frac{\partial \tilde{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{30} \frac{H\tilde{q}_k}{G_{k3}}, \quad (k=1,2), \quad (26)$$

$$\tilde{W} = \frac{1}{4} (21\tilde{\gamma} - 3\tilde{r}) - \frac{1}{20} H \left( \frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H\tilde{q}_3}{20E_{33}}. \quad (27)$$

Бинонинг пластинасимон моделининг келтирилган механик характеристикаларини аниқлаб олинади. Пластинасимон моделни келтирилган зичлик ва эластиклик модулини аниқлашда бино бир қанча қутилар (хоналар)дан иборат деб ҳисобланади.

Бинонинг келтирилган зичлиги қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$m_{np} = \rho_{пл} V_1 = \rho_{np} V_0. \quad (28)$$

Ушбу ифодадан келтирилган зичлик ифодаси топилади:

$$\rho_{np} = \rho_{пл} \frac{V_1}{V_0}, \quad (29)$$

бу ерда:  $V_0$  – бинонинг бир қаватининг ҳажми;  $V_1$  – бинонинг бир қаватини ташкил қилувчи плиталар ҳажми

$$V_0 = ab_1 H, \quad V_1 = 2ab_1 h_1 + ab_1 h_2 + 2Hb_1 h_1 + (\kappa - 2)Hb_1 h_2 + aHh_2, \quad (30)$$

бу ерда  $a$ ,  $H$  – бинонинг узунлиги ва эни;  $b_1$  – бинонинг бир қавати баландлиги;  $k$  – бинонинг ички кўндаланг деворлари сони;  $h_1$  – ташқи юк кўтарувчи деворларнинг қалинлиги;  $h_2$  – ички деворлар қалинлиги;  $h_{пер}$  – ораёпма қалинлиги.

Бинонинг келтирилган эластиклик модуллари ва зичлиги аналитик кўринишда умумий ҳолда қуйидаги ифодалар ёрдамида аниқланади:

$$E_1^{np} = \xi_{11} E_0, \quad E_2^{np} = \xi_{22} E_0, \quad E_3^{np} = \xi_{33} E_0, \quad (31)$$

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

Бинонинг келтирилган зичлиги қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади

$$\rho_{np} = \rho_{пл} \xi_0. \quad (32)$$

$\xi_{11}$ ,  $\xi_{22}$ ,  $\xi_{33}$ ,  $\xi_{12}$ ,  $\xi_{13}$ ,  $\xi_{23}$ ,  $\xi_0$  коэффицентлар қийматлари бинонинг ҳар бир ячейкаси (хоналари) учун иккита фазовий ўзгарувчи функция

кўринишида аниқланади,  $E_0, G_0$  – бинонинг энг мустаҳкам юк кўтарувчи панелининг эластиклик ва силжиш модуллари. Бинонинг келтирилган эластиклик модулини аниқлашда қуйидаги муносабатдан фойдаланилди:

$$\xi_{11} = \alpha \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{22} = \alpha \frac{S_{22}}{S_{02}}, \quad \xi_{33} = \alpha \frac{S_{33}}{S_{03}}, \quad \xi_{12} = \alpha \frac{S_{12}}{S_{01}}, \quad \xi_{13} = \alpha \frac{h_{nep}}{b_1} \lambda^*, \quad \xi_{23} = \alpha \frac{h_2}{a_1}, \quad \xi_0 = \frac{V_1}{V_0}, \quad (33)$$

бу ерда  $S_{01}, S_{02}, S_{03}$  – бинонинг бир қаватининг учта координата текислигидаги кўндаланг кесими юзалари;  $S_{11}, S_{22}, S_{33}$  – координаталар текислигида бинонинг бир қаватини ташкил қилувчи ёпмаларнинг кўндаланг кесимларини йиғиндиси;  $\lambda^*$  – ораёпма плиталарининг кўндаланг кесимларида бўшлиқларни ифодаловчи коэффицент. (33) ифодадаги  $\alpha$  коэффицент бино конструкциясининг ячейкасимон тузилишига боғлиқ ҳолда аниқланади.

Био ва хоналарнинг, ораёпмаларнинг ўлчамларига боғлиқ равишда юқорида келтирилган юзалар ва ҳажмларни аниқлаш қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$S_{01} = b_1 H, \quad S_{02} = a H, \quad S_{03} = a b_1, \quad (34)$$

$$S_{11} = 2b_1 h_1 + b_1 h_2 + H h_{nep}, \quad S_{12} = 2b_1 h_1 + b_1 h_2, \quad (35)$$

$$S_{22} = 2a h_1 + a h_2 + 2H h_1 + (k-2)H h_2, \quad S_{33} = 2b_1 h_1 + a h_2 + (k-2)b_1 h_2.$$

Бинонинг конструктив ўзига хос хусусиятларини аниқлаш бўйича қуйидаги ифодаларини (33, 34, 35) га асосан ёзиш мумкин.

$$\xi_{11} = \alpha \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{22} = \alpha \frac{S_{22}}{S_{02}}, \quad \xi_{33} = \alpha \frac{S_{33}}{S_{03}}, \quad (36)$$

$$\xi_{12} = \alpha \frac{S_{12}}{S_{01}}, \quad \xi_{13} = \alpha \frac{G_{nep}}{G_0} \frac{h_{nep}}{b_1} \lambda^*, \quad \xi_{23} = \alpha \frac{G_2}{G_0} \frac{h_2}{a_1},$$

бу ерда:  $S_{01} = E_0 b_1 H, \quad S_{02} = E_0 a H, \quad S_{03} = E_0 a b_1, \quad (37)$

$$S_{11} = 2b_1 h_1 E_b^{(1)} + b_1 h_2 E_b^{(2)} + H h_{nep} E_{nep}, \quad S_{12} = 2b_1 h_1 E_b^{(1)} + b_1 h_2 E_b^{(2)},$$

$$S_{22} = 2a h_1 E_b^{(1)} + a h_2 E_b^{(2)} + 2H h_1 E_b^{(1)} + (k-2)H h_2 E_b^{(2)}, \quad (38)$$

$$S_{33} = 2b_1 h_1 E_b^{(1)} + a h_2 E_b^{(2)} + (k-2)b_1 h_2 E_b^{(2)}.$$

бу ерда  $G_{nep}$  – био ораёпмасининг силжиш модули;  $G_2$  – ички деворларнинг силжиш модули;  $E_b^{(1)}$  – ташқи деворларнинг эластиклик модули;  $E_b^{(2)}$  – ички деворларнинг эластиклик модули;  $E_{nep}$  – ораёпмаларнинг эластиклик модули.

2.5 бўлимда чекли айирмалар усулини қўллаш асосида био ва иншоотларни зилзилабардошлиги динамик масалаларини сонли ечиш усуллари ишлаб чиқилган. Фазовий координаталар бўйлаб кўчишлар ҳосилаларини аппроксимацияси учун марказий айирмалар схемалари ифодаларидан фойдаланилди.

Фазовий координаталар ва вақтлар бўйича ҳисоблаш қадамлари



қуйидагича танланди:

$$\Delta x_1 = \frac{a}{N}, \quad \Delta x_2 = \frac{b}{M}, \quad c\Delta t = k \min(\Delta x_1, \Delta x_2), \quad \text{бу ерда: } k < 1$$

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad N, M - \text{бўлақлар сони.}$$

$$\Delta x_1 = \Delta x \cdot a, \quad \Delta x_2 = \Delta y \cdot b. \quad (39)$$

Қуйидаги ифодалар орқали ўлчамсиз координаталарга ўтиб, олинган

$$\Delta x = \frac{1}{N}, \quad \Delta y = \frac{1}{M}, \quad \Delta \tau = k \frac{a}{H} \Delta x. \quad (40)$$

Диссертациянинг **“Пластинасимон континуаль модель асосида бинони фазовий ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиш”** деб номланган учинчи бобида келтирилган эластиклик модули, зичлигини аниқлаш услуби ва конструкция элементларини механик характеристикаларини ҳисобга олган ҳолда биноларнинг пластинасимон моделининг динамик ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган. Биноларнинг сейсмик устуворлигини умумий масалалари шакллантирилган. Тузилишини конструктив хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда биноларнинг фазовий континуаль модели танланган.

Бобда чекли айирмалар усулини қўллаган ҳолда сейсмик тебраниш масаласининг сонли ечими қурилган. Таклиф қилинган пластинасимон континуаль модель доирасида сейсмик таъсирда бинонинг динамик ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган. Пластинасимон модель доирасида турли қаватли бинонинг хусусий частотаси ва даврлари аниқланган.

Хона панеллари учун физик-механик характеристикалар қуйидагича қабул қилинган: юк кўтарувчи эгилувчи панелларнинг эластиклик модули  $E=20000 \text{ МПа}$ ; зичлиги  $\rho=2700 \text{ кг/м}^3$ ; Пуассон коэффиценти  $\nu=0.3$ . Силжишга ишловчи панеллар учун механик характеристикалар эса қуйидагича қабул қилинган: эластиклик модули  $E=7500 \text{ МПа}$ ; зичлиги  $\rho=1200 \text{ кг/м}^3$ ; Пуассон коэффиценти  $\nu=0.3$ .

Қалин пластинасимон континуаль модель доирасида бино мажбурий тебранишининг ҳисоблаш натижалари бино ораёпма плиталарининг қуйидаги ўлчамлари учун олиб борилган:

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

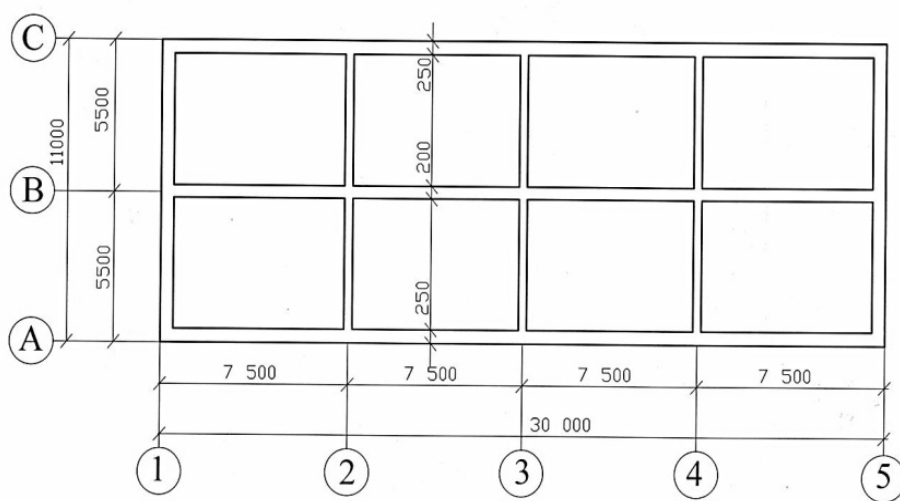
У ҳолда (31, 32, 33) ифодалардаги келтирилган эластиклик модули ва зичликларининг  $\xi_0, \xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}$  коэффицентлари қуйидаги қийматларни қабул қилади:

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

$$E_1^{np} = 2600 \text{ МПа}, E_2^{np} = E_3^{np} = 2000 \text{ МПа},$$

$$G_{12}^{np} = 480 \text{ МПа}, G_{13}^{np} = 520 \text{ МПа}, G_{23}^{np} = 200 \text{ МПа}, \rho_{np} = 451 \text{ кг/м}^3.$$

Таъсир барча ҳолатларда  $a_{10} = 0.1g$  амплитудали асоснинг тезланиши  $\ddot{u}_{10}(t) = a_{10} \cos(p_0 t)$  орқали берилади ҳамда 7 баллик зилзила кучига тенг. Таъсир частотаси эса  $p_0 = 2\pi\omega_0$ ,  $\omega_0 = 9.5 \text{ Гц}$  га тенг деб танланади. Бундай юқори частотали сейсмик таъсир  $T_0 \approx 0.105$  даврга эга. Бундай устувор давр Газли зилзиласи акселерограммасида мавжуд. Шу сабабли, ҳисобга олинаётган таъсир Газли зилзиласи (1976 й.) нинг устувор даврига мос келади. Қўрилаётган бино режаси 1-расмда келтирилган.



1-расм. Бино қутисимон моделининг режаси

Таклиф қилинган бино пластинасимон континуаль модели бўйича чекли айирмалар усули (ЧАУ) ва бино қутисимон модели чекли элементлар усули (ЧЭУ) ёрдамида сонли натижалар олинган.

Пластинасимон модель асосида бинонинг **кўндаланг тебранишлари** тўғрисидаги масалани қўйилиши шакллантирилган бўлиб, бино асосининг силжишлари фақат кичик ўлчам бўйлаб горизонтал кўндаланг йўналиш бўйича амалга оширилади деб қаралган. Бу ҳолда сейсмик таъсир қўйидаги кўринишда бўлади:

$$u_1 = u_2 = u_3 = 0.$$

Бино асоси тезланишнинг ўзгариш қонуни  $\ddot{u}_{30}(t)$  шаклида берилган:

$$\ddot{u}_{30}(t) = a_{30} \cos(p_0 t), \quad (41)$$

бу ерда:  $a_{30}$  ва  $p_0$  – асос тезланишининг амплитудаси ва частотаси.

Бино пластинасимон моделининг ҳаракат тенгламаси сифатида эгувчи,

бурувчи моментлар, кесувчи кучлар, бимоментлар ва кинематик тенгламаларга нисбатан ёзилган (23, 24, 25, 26, 27) тенгламаларни пластинасимон континуаль моделнинг эгилиш-силжиш тенгламаси кўринишида қабул қилинади.

Эгилиш-силжиш тебраниши учун бино асосида қуйидаги чегаравий шартлар қабул қилинган:

$$\tilde{\psi}_1 = 0, \tilde{\psi}_2 = 0, \tilde{\beta}_1 = 0, \tilde{\beta}_2 = 0, \tilde{u}_1 = 0, \tilde{u}_2 = 0, \tilde{r} = 0, \tilde{\gamma} = 0, \tilde{W} = 0.$$

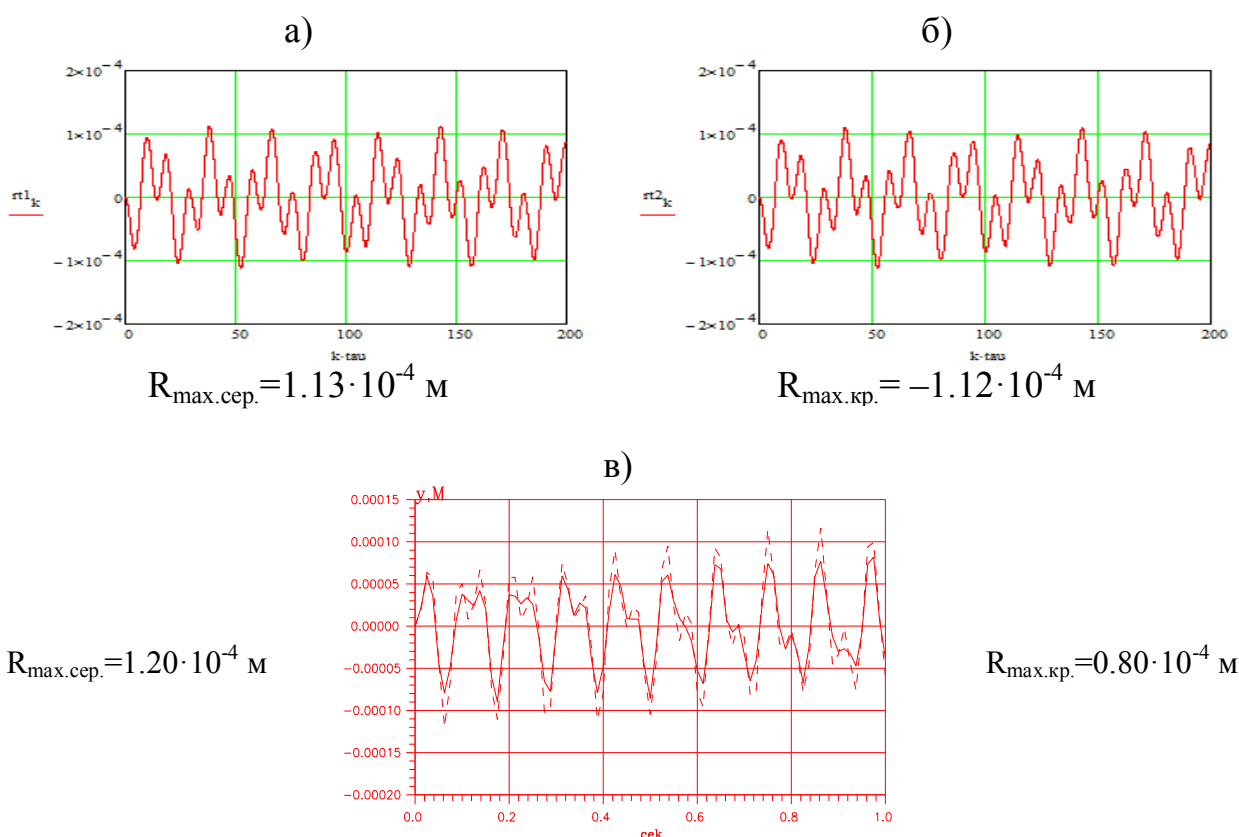
Бинонинг эркин ён томонларида куч факторларининг нолга тенглик шартларига эга бўлинди:

$$M_{11} = 0, M_{12} = 0, P_{11} = 0, P_{12} = 0, Q_{13} = 0, \tilde{p}_{13} = 0, \tilde{\sigma}_{11} = 0, \tilde{\sigma}_{12} = 0, \sigma_{11}^* = 0.$$

Бинонинг юқори эркин томони қуйидаги шартларга бўйсинади:

$$M_{12} = 0, M_{22} = 0, P_{12} = 0, P_{22} = 0, Q_{23} = 0, \tilde{p}_{23} = 0, \tilde{\sigma}_{11} = 0, \tilde{\sigma}_{12} = 0, \sigma_{22}^* = 0.$$

**Икки қаватли бинони динамик ҳисоблаш.** Бинонинг ораёпмасида жойлашган характерли нуқталарнинг тебраниши 2-расмда келтирилган. Расмдаги узлуксиз чизик ораёпма четида жойлашган нуқтани, штрих чизик ораёпманинг марказида жойлашган нуқтани характерлайди. (2, в расм)



**2-расм. Икки қаватли бинонинг характерли нуқталаридан олинган кўчишлар (м): а) томёпма ўртасининг характерли нуқтаси; б) томёпма четининг характерли нуқтаси; в) ЧЭУ асосида олинган графиклар**

Етти баллик зилзилага мос келувчи (41) сейсмик таъсирда икки қаватли бинонинг мажбурий кўндаланг тебранишидан олинган биринчи ва иккинчи қаватларининг четки юқори сатхида  $\tilde{r}$  ва  $\ddot{r}$  умумлашган кўчиш ва тезланишларнинг энг катта қийматлари 1-жадвалда келтирилган.

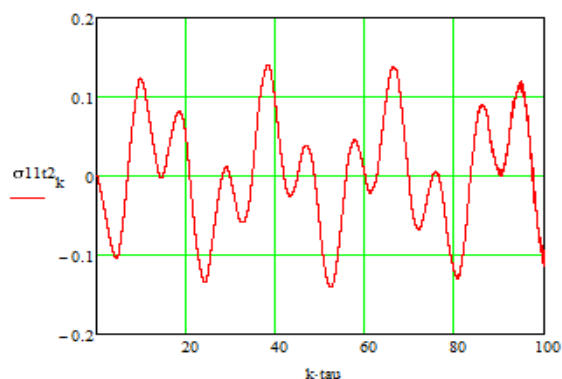
1-жадвал.

Икки қаватли бинонинг кўндаланг тебранишларда кўчиш ва тезланишларнинг максимал қийматлари

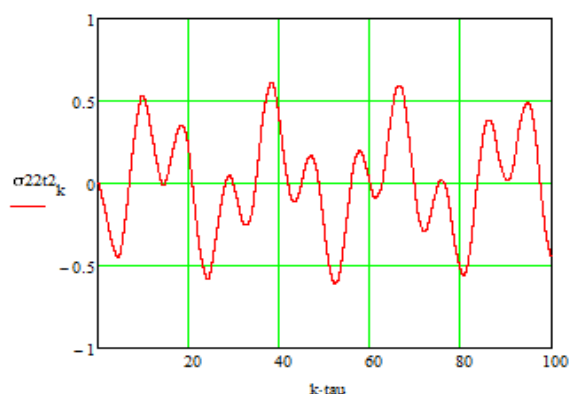
Бино қаватлари	$\tilde{r}, 10^{-4} \text{ м}$	$\ddot{r}, \text{ м/с}^2$
1	0.754	2.436
2	1.130	3.524

Икки қаватли бинонинг ташқи деворида кучланишни  $\sigma_{11}$  ўлчовсиз вақт  $\tau$  бўйича ўзгариш графиги 3-расмда келтирилган. Графикдан кўринадики, кучланишнинг максимал қиймати  $\sigma_{11} = -0.142 \text{ МПа}$  га тенг.

4-расмда  $\sigma_{22}$  кучланишнинг ўлчовсиз вақт бўйича ўзгариш графиги келтирилган. Бинонинг ташқи юк кўтариш деворининг пастки қисмининг марказида нормал кучланиш  $\sigma_{22}$  максимал қиймати  $\sigma_{22} = 0.616 \text{ МПа}$  га тенг бўлади. Ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, кўп қаватли бинонинг кўндаланг тебранишида  $\sigma_{11}$  ва  $\sigma_{22}$  нормаль кучланишларнинг максимал қийматлари ташқи юк кўтариш деворининг пастки қисмининг марказида  $x_1 = a/2, y_1 = 0$  координатасида пайдо бўлади.



**3-расм. Икки қаватли бинонинг кўндаланг тебранишида  $\sigma_{11}$  кучланишнинг вақт бўйича ўзгариш графиги**



**4-расм. Икки қаватли бинонинг кўндаланг тебранишида  $\sigma_{22}$  кучланишнинг вақт бўйича ўзгариш графиги**

Уринма кучланишлар ташқи юк кўтарувчи деворнинг пастки қисмининг  $x_1 = a, y_1 = 0$  нуқтасида энг катта қийматга эришади яъни  $\sigma_{12} = 0.0218 \text{ МПа}$ .

**Тўққиз қаватли бинонинг динамик ҳисоби.** 2-жадвалда мажбурий кўндаланг тебранишда тўққиз қаватли бино юқори қават сатҳининг четки нуқтасидан олинган умумлашган кўчиш ва кучланиш  $\tilde{r}$  ва  $\ddot{r}$  ларнинг энг катта қийматлари келтирилган.

Тўққиз қаватли бионинг кўндаланг тебранишларда кўчиш ва  
тезланишларнинг максимал қийматлари

Био қаватлари	$\tilde{r}, 10^{-4} \text{ м}$	$\ddot{r}, \text{ м/с}^2$
1	-1.590	2.176
2	-2.819	2.629
3	-3.411	2.668
4	3.945	2.311
5	5.329	-1.869
6	6.610	-1.146
7	-8.103	-1.186
8	-10.700	2.399
9	-13.128	3.646

Олинган сонли ҳисоблашлардан қуйидагича хулоса қилиш мумкин, икки қаватли ва беш қаватли бинолар учун олинган кўчишнинг қийматлари 10% гача ораликда фарқ қилади.

Пластинасимон модель асосида резонанс методидан фойдаланиб бионинг динамик характеристикалари сонли усуллардан ЧЭУ ва ЧАУ ошкор схемаси ёрдамида аниқланган.

3-жадвалда иккидан ўн икки қаватгача бўлган биноларнинг хусусий тебраниш частотасининг сонли қийматлари келтирилган. Хусусий частотанинг қийматлари қути кўринишидаги модель учун ЧЭУ дан, континуаль модель учун эса резонанс усулидан фойдаланиб олинган.

Қутисимон ва континуаль моделларда био тебраниши биринчи шаклининг  
хусусий частотаси.

Био қаватлари	Қутисимон модель бўйича бионинг даври ва частоталари		Континуаль модель бўйича бионинг даври ва частоталари	
	T, с	$\omega_1$ , Гц	T, с	$\omega_1$ , Гц
2	0.0398	25.12	0.0392	25.48
3	0.0579	17.26	0.0590	16.93
4	0.0782	12.78	0.0793	12.60
5	0.1009	9.91	0.1031	9.50
6	0.1264	7.91	0.1298	7.70
7	0.1547	6.46	0.1639	6.10
8	0.1866	5.36	0.1953	5.12
9	0.2212	4.52	0.2169	4.61
10	0.2597	3.85	0.2666	3.75
11	0.3021	3.31	0.3125	3.20
12	0.3472	2.88	0.3484	2.87

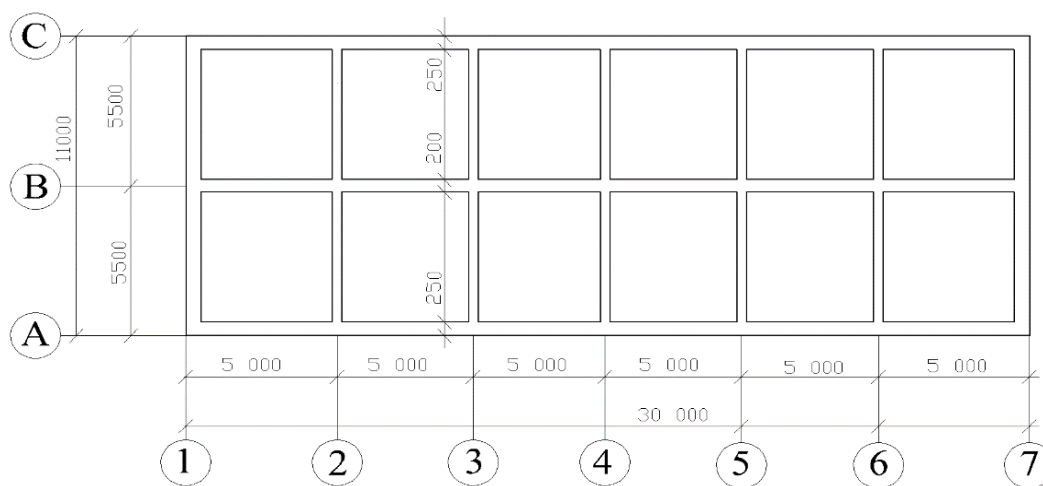
Бинонинг (36, 37, 38) ифодалар ёрдамида конструктив хусусиятларини ҳисобга олиб динамик ҳисоблаш натижалари диссертацияда келтирилган. Бинонинг пластинасимон континуаль модели учун бинонинг уч хил вариантдаги конструктив хусусиятлари танлаб олинган ва бинонинг юқори қаватларининг кўчиши ва тезланишларининг қийматлари аниқланган.

Сейсмик таъсирлар барча ҳолларда асоснинг тезланиши  $\ddot{u}_{30} = a_{30} \cos(p_0 t)$  қонуният орқали  $a_{30} = 0.1g$  тенг амплитуда билан берилиб, зилзиланинг 7-баллик интенсивлигига мос келади. Сейсмик таъсирнинг частотаси  $\omega_0 = 9.5 \text{ Гц}$  тенг деб танланган. Бундай юқори частотали таъсирнинг даври  $T_0 = 0.105 \text{ с}$  тенгдир.

Масалаларни ечишда қаралаётган бино конструкциялари учун қуйидаги бошланғич маълумотлардан фойдаланилган: темирбетон учун эластиклик модули  $E=20000 \text{ МПа}$ ; зичлиги  $\rho=2700 \text{ кг/м}^3$ ; пуассон коэффиценти  $\nu=0.3$ . Керамзитбетон учун эластиклик модули  $E=7500 \text{ МПа}$ ; зичлиги  $\rho=1200 \text{ кг/м}^3$ ; Пуассон коэффиценти  $\nu=0.3$ .

Сонли ҳисоблашларда бино моделининг конструктив хусусиятлари бўйича қуйидаги вариантлари қаралган: ички деворлар, ораёпма ва том ёпмалар арматураланган енгил керамзитбетондан, ташқи деворлар эса арматураланган оғир темир бетондан.

Бинонинг пластинасимон континуаль модель доирасида мажбурий тебранишини ҳисоблаш натижалари бинонинг ораёпма плиталари қуйидаги ўлчамларда келтирилган:  $h_1=0.25 \text{ м}$ ,  $h_2=0.2 \text{ м}$ ,  $h_{\text{пер}}=0.2 \text{ м}$ ,  $a_1=5 \text{ м}$ ,  $b_1=3 \text{ м}$ ,  $a=30 \text{ м}$ ,  $H=11 \text{ м}$  (5-расм).



**5-расм. Икки қаватли бино қутисимон моделининг режаси**

Икки қаватли бинонинг иккинчи қаватини кўчиш ва тезланишларининг максимал қийматлари 4-жадвалда келтирилган.

Учинчи вариант бўйича икки қаватли бино кўчиш ва тезланишларининг  
максимал қийматлари

Бинонинг конструктив хусусиятлари	$r, 10^{-4} \text{ м}$	$\ddot{r}, \text{ м/с}^2$	$\dot{\ddot{r}}, \text{ м/с}^2$
Ташқи ва ички деворлар, ораёпма ва том ёпма материаллари темирбетондан	0.518	1.617	-1.206
Ички деворлар керамзитобетондан, ташқи девор, ораёпма ва том ёпмалар материаллари темирбетондан	-1.998	2.361	1.460
Ички деворлар, ораёпма ва том ёпмалар керамзитобетондан, ташқи девор материаллари темирбетондан	-1.996	2.421	1.476

Келтирилган қийматларни солиштириш натижасида кўринадикки, бинонинг бикрлиги ортган сари юқори қаватининг кўчиш ва тезланишларининг қийматлари камаймоқда (4-жадвал).

## ХУЛОСА

«Иншоотларни пластинасимон континуаль модель асосида фазовий ҳисоблашнинг динамик усуллари» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Бино ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги муаммолари бўйича замонавий илмий ишлар орасидан бино ва иншоотлар фазовий моделларни танлашга оид янги илмий ишлар таҳлили ўтказилган ва сейсмик тебранишларда кўп қаватли биноларнинг фазовий деформацияланиши ҳисобга олган ҳолда динамик таъсирлардаги ҳолатини баъзи ортотроп қалин пластинанинг фазовий деформацияси билан моделлаштиришнинг мақсадга мувофиқлигини асосланган.

2. Пластиналарнинг бимоментли назарияси доирасида конструкция элементларнинг механик кўрсаткичлари ва уларнинг геометрик тузулишини ҳисобга олган ҳолда биноларнинг фазовий пластинасимон континуаль модели такомиллаштирилган. Биноларнинг такомиллаштирилган пластинасимон модели уч компонентали сейсмик таъсирлар остида биноларнинг фазовий тебранишига оид икки ўлчовли математик масаланини шакллантириш имконони берган.

3. Бинонинг пластинасимон континуаль моделининг келтирилган зичлиги ва эластиклик модуллари учун аналитик ифодалари тузилган. Бу аналитик ифодалар бино пластинасимон континуаль моделининг келтирилган эластиклик модулларининг қийматларини аниқлаш имконини бериб, бу қийматлар балкасимон ва пластинасимон конструкция

элементларининг эластиклик модуллари қийматларига нисбатан уларнинг тузилишдаги бўшлиқлари ҳисобига 7 дан 20 мартагача камайишини аниқлаш имконини берган.

4. Сейсмик таъсирларда кўп қаватли бино ва иншоотларнинг кўндаланг ва бўйлама тебранишлари тўғрисидаги масалалар пластинасимон континуаль модель доирасида шакллантирилган. Шакллантирилган масалалар сейсмик таъсирларда бинонинг фазовий динамик ҳолатини аниқлаш имконини беради.

5. Чекли айирмалар усули доирасида куч факторларини ва уларнинг ҳосилаларини аппроксимациялаш усуллари ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган усуллар чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда сейсмик таъсирларда биноларнинг ҳаракат тенгламаларининг сонли ечимларини куриш имконини берган.

6. Сейсмик таъсирларда бино ва иншоотларнинг континуаль моделини қўллаш асосида чекли айирмалар усулини қўллаган ҳолда кўп қаватли биноларни динамик ҳисоблаш услуби, алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган биноларни сейсмик мустаҳкамликка динамик ҳисоблаш услублари сейсмик таъсирларда биноларнинг кучланишлари, кўчишлари ва тезланишларини ҳамда хавфли зоналарини аниқлаш имконини берган.

7. Заминнинг тезланиши кўринишидаги сейсмик таъсирларда кўп қаватли биноларнинг пластинасимон континуаль модели асосида олинган сонли ҳисоб натижаларининг таҳлили натижасида, геометрик ўлчамлари, конструкциялар материалининг механик кўрсаткичлари ва ташқи таъсирларнинг кўрсаткичларига боғлиқ равишда бинонинг қаватларидаги кўчишлари ва тезланишларининг қийматлари, уларнинг заминдаги қийматларига қараганда 1,2 дан 8 мартагача ортиши аниқланган.

8. Сонли натижаларнинг ишончилигини аниқлаш мақсадида пластинасимон модель доирасида икки қаватлидан то ўн икки қаватлигача бўлган биноларнинг динамик кўрсаткичлари ва кўчишлари аниқланган. Чекли элементлар усули ёрдамида олинган натижаларни таққослаш асосида биноларнинг континуаль моделида олинган хусусий тебраниш частоталари ва кўчишлари чекли элементлар усули бўйича аниқланган кўчишлар ва хусусий тебраниш частоталари қийматлари билан яқинлиги аниқланган.

9. Диссертацияда таклиф қилинган пластинасимон континуаль моделдан фойдаланган ҳолда ва меъёрий хужжатлар бўйича олинган натижаларни таққослаш асосида қаватлар сони тўққиз ва ундан ортиши билан бу икки ҳисоб сонли натижаларининг ўзаро яқинлашиши аниқланган.



**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**

**АЮБОВ ГАЙРАТЖОН ТУХТАСИНОВИЧ**

**ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСЧЕТА  
СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИНЧАТОЙ КОНТИНУАЛЬНОЙ  
МОДЕЛИ**

**01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2019**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2017.1.PhD/T19.**

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](http://www.instmech.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:**

**Усаров Махаматали Корабоевич**

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

**Официальные оппоненты:**

**Хожметов Гоибназар Хадиевич**

доктор технических наук, профессор

**Ахмедов Акром Бурханович**

доктор физико-математических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Наманганский инженерно-строительный институт**

Защита диссертации состоится «27» ноября 2019 года в 14<sup>00</sup> 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: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33, зал заседаний – 1. Тел.: (99871) 262-71-52; факс: (99871) 262-71-32, e-mail: [instmech@academy.uz](mailto:instmech@academy.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (регистрационный номер 95). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары Ниязий, 39, Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Автореферат диссертации разослан «12» ноября 2019 года.

(реестр Протокола рассылки №1 от «12» ноября 2019 года).

**М.М. Мирсаидов**

Председатель Научного совета  
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор, академик АН РУз

**Н.М. Икрамов**

Ученый секретарь Научного совета  
по присуждению ученых степеней, PhD

**Р.А. Абиров**

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

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Во всем мире современная градостроительная архитектура больших городов направлена на возведение зданий повышенной этажности и протяженного плана. Такие высотные здания возводятся в районах повышенной сейсмичности с непредсказуемым направлением сейсмического воздействия. Обеспечение их сейсмостойкости имеет важное значение при проектировании и строительстве. В настоящее время проводятся широкие исследования сейсмостойкости зданий и сооружений с учетом различных расчетных моделей и методов расчета, учитывающих сложные конструкционные особенности сооружений и обеспечивающие их сейсмическую безопасность. В развитых странах, таких как США, Япония, Китай, Индия, Турция и других, при разработке различных пространственных моделей, методов расчетов и компьютерных программ, решение проблемы проектирования зданий и сооружений сложной конфигурации при воздействии сильных землетрясений считается одной из важных задач.

В мире развиваются методы разработки различных пространственных моделей, определения динамических характеристик и решения прикладных задач зданий и сооружений, расположенных в сейсмоактивных зонах. Проведение исследований в этой сфере с целью разработки динамических моделей зданий и сооружений в виде сложной системы, а также методики и программы расчета напряженно-деформированного состояния, возникающего в конструкции при сейсмических воздействиях и определение опасных сечений, является одной из важных проблем.

В нашей республике реализуются всеобъемлющие мероприятия по повышению сейсмостойкости зданий и сооружений и обеспечению их сейсмической безопасности. Наряду с этим строительство зданий и сооружений повышенной этажности и протяженного плана, а также сложной конфигурации, расположенных в неоднородных грунтовых условиях на сейсмических территориях, требует совершенствования методов динамического расчета на действие возможных сейсмических воздействий с целью повышения их прочности. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы ставится задача реализации таких целевых программ, как «...строительство доступного энергоэффективного многоквартирного жилья в городах, ... реконструкция и капитальный ремонт существующих домов для улучшения условий жизни населения ...»<sup>1</sup>. Осуществление данной задачи предопределяется необходимостью совершенствования методов расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия, а также численного расчета напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений и определения их динамических характеристик на основе пластинчатой континуальной модели.

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

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

**Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Математика, механика и информатика» и программой XIV. «Сейсмология, сейсмобезопасность зданий, сооружений и строительство».

**Степень изученности проблемы.** По проблемам сейсмостойкости зданий и сооружений в нашей стране и за рубежом рядом ученых проведены научно-исследовательские работы. Научные основы сейсмостойкости зданий и сооружений заложены в работах таких ученых в области механики, как К.С.Завриев, А.Г.Назаров, М.Т.Уразбаев, Т.Р.Рашидов, Т.Буриев, С.В.Пономарев, А.А.Шаалимов, Э.Е.Хачиян, В.А.Быховский, И.И.Гольденблат, С.В.Поляков, И.Л.Корчинский, В.Т.Рассказовский, В.В.Болотин, М.Ф.Барштейн, В.М.Лятхер, С.В.Медведев, Н.А.Николаенко, А.Р.Ржаницин, Ф.Омори, М.А.Био, Г.В.Хаузнер, Р.Р.Мартел, Т.Ш.Ширинкулов, Я.Н.Мубараков, М.М.Мирсаидов, Г.Х.Хожметов, Б.М.Мардонов, И.Мирзаев, А.Абдусатторов, К.С.Абдурашидов, К.С.Султанов, У.Ш.Шамсиев, И.С.Сафаров, Х.Худайназаров, Р.Х.Мухутдинова, Т.З.Султанов, К.Д.Салямова, Б.Э.Хусанов, А.Б.Ахмедов, С.Ж.Раззаков, Х.С.Сагдиев, М.К.Усаров, Д.Ф.Руми, З.Р.Тешабаев и др. Ими разработаны и усовершенствованы статическая и динамическая теории сейсмостойкости зданий и сооружений. Предложены различные модели расчета зданий и сооружений и исследованы на различные виды сейсмических воздействий.

Выполняемые в настоящее время расчеты основываются на сугубо приближенных методах, а структурные разрушения зданий в результате сильных землетрясений и анализ их последствий указывают на имеющиеся недостатки при моделировании объекта (в виде консоли) и используемых методов расчета на сейсмостойкость. В связи с этим актуальными становятся исследование динамической задачи колебаний пространственной конструкции здания, состоящего из балочных и пластинчатых элементов, работающих на изгиб, сдвиг, растяжение (сжатие) и кручение, и выполнение

динамического расчета этой системы на основе методики, отражающей пространственный характер деформирования элементов конструкций, с учетом реальных условий контактных соединений балочных и пластинчатых элементов. Реализация указанного явится вкладом в исследование напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений при сейсмических воздействиях и позволит совершенствовать объемно-планировочные и конструктивные решения зданий при их проектировании.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного и научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационные исследования выполнены в рамках исследовательского проекта Института механики и сейсмостойкости сооружений Ф4-ФА-Ф049 «Разработка бимоментной теории изгиба и колебания толстых пластин и оболочек с учетом анизотропных свойств материалов» (2012–2016); ФА-А14-Ф022 «Разработка эффективных методов пространственного расчета зданий с учетом активной сейсмической защиты и волновых процессов» (2015–2017).

**Целью исследований** является усовершенствование динамической континуальной модели зданий в рамках бимоментной теории и разработка методов расчета на сейсмостойкость.

**Задачи исследований:**

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

составить выражение приведенных модулей упругости и плотности пластинчатой континуальной модели с учетом конструктивных особенностей зданий;

разработать методы численных решений задач о поперечных и продольных колебаниях многоэтажных зданий и пластинчатых сооружений в рамках пластинчатой континуальной модели при сейсмических воздействиях;

разработать методику динамического расчета, алгоритмов и программ определения динамических характеристик, максимальных перемещений, ускорений в многоэтажных зданиях;

разработать методику и программ расчета напряженно-деформированного состояния, а также опасных зон (сечений) пространственных конструкций зданий при сейсмических воздействиях на основе применения пластинчатой модели зданий.

**Объектом исследований** являются динамические пластинчатые континуальные модели многоэтажных зданий и сооружений.

**Предмет исследований** – динамические характеристики и напряженно-деформированное состояние зданий и сооружений на основе их пластинчатых континуальных моделей с учетом бимоментов.

**Методы исследований.** В процессе исследований использовались методы механики деформируемого твердого тела, методы теории изгиба и

колебаний толстых пластин, строительной механики, математического моделирования, алгоритмизации, методы теории сейсмических колебаний, метод конечных разностей для численного расчета динамических характеристик, методы вычислительного эксперимента.

**Научная новизна диссертационных исследований** заключается в следующем:

усовершенствованы методы расчета на сейсмостойкость зданий и сооружений при сейсмических воздействиях на основе пластинчатой модели зданий с учетом основных соотношений бимоментной теории пластин;

разработаны аналитические выражения определения приведенных модулей упругости и плотности пластинчатой континуальной модели здания с учетом его геометрической структуры и конструктивных особенностей;

разработаны методы численных решений задач поперечных и продольных колебаний с учетом формы пространственных колебаний многоэтажных зданий в рамках пластинчатой континуальной модели при сейсмических воздействиях;

разработаны методики определения кинематических и динамических характеристик, опасных сечений конструкций, алгоритмы и программы динамического расчета с учетом конструктивных особенностей зданий на основе пластинчатой континуальной модели при сейсмических воздействиях.

**Практические результаты исследований** заключаются в следующем:

разработан метод пространственного расчета зданий и сооружений под воздействием динамических сил на основе пластинчатой модели с учетом бимоментов;

разработана программа расчета, позволяющая автоматизировать процесс решения линейных задач и получать численные результаты максимальных перемещений и ускорений в опасных зонах зданий при сейсмических колебаниях в продольном и поперечном направлениях (№ DGU 05312);

определены динамические характеристики многоэтажных зданий в рамках пластинчатой континуальной модели на основе резонансного метода (№ DGU 05532);

разработан метод численного расчета силовых факторов пространственных пластинчатых гидротехнических сооружений типа плотин и стенок сооружений.

**Достоверность результатов исследований.** Достоверность результатов исследования подтверждается использованием общепринятых допущений в теории упругости и механике деформируемого твердого тела, а также хорошей согласованностью с результатами, полученными другими исследователями, с использованием коробчатых расчетных моделей зданий и сооружений.

**Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость проведенных исследований заключается в усовершенствовании пластинчатой континуальной модели многоэтажных зданий, с использованием которой разработаны методики численного

пространственного расчета на напряженно-деформированное состояние зданий при сейсмических воздействиях.

Практическая значимость результатов исследований состоит в том, что разработанные методики и программы динамического расчета пространственных пластинчатых континуальных моделей зданий и сооружений дают возможность определить опасные сечения зданий и получить численные результаты максимальных перемещений, ускорений и напряжений и оценить их сейсмическую безопасности при землетрясениях.

**Внедрение результатов исследований.** На основе полученных научных результатов исследования динамических методов пространственного расчета сооружений с использованием пластинчатой континуальной модели:

методика расчета для определения опасных зон в пластинчатых конструкциях зданий под действием динамической нагрузки внедрена в ООО «Фаргонафукаролойиха» при динамическом расчете на объекте «Строительство семейной поликлиники № 5 на 250 посещений по ул. Аэропорт в г. Фергана Ферганской области» (Справка по внедрению научных результатов Министерства строительства Республики Узбекистан 770/06-18 от 4 февраля 2019 г.). В результате появилась возможность повысить надежность конструкций зданий на 15–20%, что будет способствовать обеспечению сейсмостойкости здания;

методика расчета на основе пластинчатой континуальной модели внедрена при расчете зданий на сейсмические воздействия на объекте «Строительство административно-бытового комплекса, расположенного на территории завода по производству синтетического жидкого топлива на базе очищенного метана Шуртанского газохимического комбината» (Справка по внедрению научных результатов Министерства строительства Республики Узбекистан 770/06-18 от 4 февраля 2019 г.). В результате появилась возможность сокращения срока вычислительного процесса в 1,2 раза;

методы решения задач о поперечных и продольных колебаниях многоэтажных зданий и сооружений, а также вычислительная программа внедрены в процесс проектирования и строительства на «Строительстве административно-бытового комплекса, расположенного на территории завода по производству синтетического жидкого топлива на базе очищенного метана Шуртанского газохимического комбината». В результате появилась возможность повышения точности и эффективности проектных работ на 18%.

**Апробация результатов исследований.** Результаты данного исследования обсуждались на 4 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследований.** По теме диссертации всего опубликовано 22 научные работы. Из них 9 научных статей, в том числе 7 – в республиканских и 2 – в зарубежном журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, выявлены объект и предмет исследований, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов и внедрение их в практику, представлены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Обзор научных работ по расчету зданий и сооружений на сейсмостойкость»** приведен обзор существующих работ по тематике диссертации, методике существующих расчетов плоских и пространственных пластинчатых моделей зданий и сооружений на основе различных теорий, а также построение пластинчатой континуальной модели здания при сейсмических колебаниях. Обоснована целесообразность моделирования динамического поведения многоэтажных зданий с пространственным динамическим движением некоторой толстой ортотропной пластины с приведенными модулями упругости при сейсмических воздействиях.

Основная территория стран мира, в том числе нашей республики, находятся в высоко сейсмоактивных регионах, поэтому учет сейсмических воздействий при проектировании и строительстве зданий и сооружений является актуальным вопросом.

В основном в строительных нормах по сейсмостойкости зданий и сооружений расчетная схема получена как жестко защемленной упругой консольный стержень со сосредоточенными массами на уровне этажей.

Здания являются сложными объектами изучения курса строительной механики. На сегодняшний день для них нет универсальных методов динамического расчета напряженно-деформированного состояния, в связи с многочисленностью элементов и сложной структурой таких сооружений, как высотные крупные здания. Теория сейсмостойкости зданий и сооружений развивается в качестве одного из актуальных направлений строительной механики. Следует отметить, что анализ последствий многих сильных землетрясений показал недостатки существующих методов расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость.

Используемая в настоящее время нормативная расчетная схема сооружений не полностью отражает истинную картину работы сооружения при сейсмических воздействиях. Например, одномерная расчетная схема в виде консольной балки или в виде стержня с несколькими сосредоточенными



массами не в состоянии описать, за редким исключением, реальный характер напряженно-деформированного состояния конструкции зданий и сооружений. Учет вышеизложенного вносит вклад в дальнейшее развитие методов исследований напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений при динамических (сейсмических) воздействиях и позволяет усовершенствовать объемно-планировочные и конструктивные решения зданий при их проектировании.

С некоторым приближением, колебания здания можно сопоставить с колебаниями некоторого трехмерного континуального тела в виде параллелепипеда, которое можно считать толстой консольной пластиной из относительно малопрочного сплошного ортотропного материала. В процессе сейсмического колебания пластинчатые и балочные элементы подвергаются деформации на растяжение-сжатие, сдвиг, изгиб и кручение, которые обеспечивают пространственное деформирование предполагаемого континуального трехмерного тела.

Сущность континуальной модели заключается в том, что область с густой сеткой узлов может быть заменена некоторой эквивалентной пластиной или оболочкой.

Континуальное моделирование широко используется в расчетах дискретных пространственных систем. Например, методы математического моделирования использованы в расчетах авиационных конструкций, в кораблестроении. Прямоугольные пластины, подкрепленные ребрами, являются одной из наиболее распространенных конструкций, для которых развиты аналитические и численные методы расчета по точной дискретно-континуальной модели. Наибольшие успехи здесь достигнуты с помощью метода конечных элементов.

В качестве пластинчатой модели можно представить многие инженерные сооружения. Например, гидротехнические сооружения по конфигурации близки к толстым пластинам переменной толщины.

При выполнении расчетов в диссертации усовершенствована пластинчатая модель с учетом конструктивных особенностей зданий. Предложен численно-аналитический метод решения задач колебаний конструкции здания, разработанный в рамках этой модели, этот метод учитывает пространственную работу конструкции в целом. Этим определяется актуальность данной диссертации, поскольку уточненные методики позволяют повысить точность расчетов на сейсмостойкость зданий и сооружений.

Во второй главе диссертации **«Формулировка задачи о сейсмических колебаниях зданий на основе пластинчатой континуальной модели»** кратко приведены основные соотношения и уравнения движения бимоментной теории толстых пластин. Бимоментная теория толстых пластин, кроме растягивающих и перерезывающих сил, изгибающих и крутящих моментов, включает бимоменты и разработана с учетом всех компонентов тензоров напряжения и деформации:  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$ , ( $i, j = 1, 3$ ) и

описывается двумя несвязанными задачами, каждая из которых формулируется на основе девяти двумерных уравнений с соответствующими краевыми условиями.

Приведены точные выражения продольных, касательных и перерезывающих сил, изгибающих и крутящих моментов и бимоментов, возникающих при растяжении-сжатии, с учетом поперечного обжатия, а при поперечном изгибе – с учетом поперечного сдвига по толщине пластины. Построены уравнения движения пластинчатой модели здания относительно сил, моментов и бимоментов.

В главе усовершенствована пластинчатая континуальная модель здания, разработанная в рамках бимоментной теории пластин. Построены формулы для определения приведенных модулей упругости и плотности пластинчатой модели здания с учетом их геометрических и конструктивных особенностей. Введены понятия обобщенных кинематических функций и бимоментов для описания бимоментной теории пластин.

Первая задача описывается силами и бимоментами с помощью девяти обобщенных функций  $\bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2, \bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2, \bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{r}, \bar{\gamma}, \bar{W}$ .

Продольные и тангенциальные усилия определяются по формулам:

$$N_{11} = \int_{-h}^h \sigma_{11} dz, \quad N_{12} = \int_{-h}^h \sigma_{12} dz, \quad N_{22} = \int_{-h}^h \sigma_{22} dz. \quad (1)$$

Продольные и тангенциальные бимоменты имеют вид:

$$T_{11} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{11} z^2 dz, \quad T_{12} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{12} z^2 dz, \quad T_{22} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{22} z^2 dz. \quad (2)$$

Интенсивности бимоментов  $\bar{p}_{13}, \bar{p}_{23}, \bar{p}_{33}$  и  $\bar{\tau}_{13}, \bar{\tau}_{23}, \bar{\tau}_{33}$  от касательных напряжений  $\sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33}$  определяются по формулам:

$$\bar{p}_{13} = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h \sigma_{13} z dz, \quad \bar{p}_{23} = \frac{1}{2h^2} \int_{-h}^h \sigma_{23} z dz, \quad \bar{p}_{33} = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h \sigma_{33} dz, \quad (3)$$

$$\bar{\tau}_{13} = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h \sigma_{13} z^3 dz, \quad \bar{\tau}_{23} = \frac{1}{2h^4} \int_{-h}^h \sigma_{23} z^3 dz, \quad \bar{\tau}_{33} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{33} z^2 dz. \quad (4)$$

Выражения для определения максимальных напряжений имеют вид:

$$\bar{\sigma}_{11} = \left( E_{11} - \frac{E_{13}}{E_{33}} E_{31} \right) \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{12} - \frac{E_{13}}{E_{33}} E_{32} \right) \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{13}}{E_{33}} \bar{q}_3, \quad (5)$$

$$\bar{\sigma}_{22} = \left( E_{21} - \frac{E_{23}}{E_{33}} E_{31} \right) \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{22} - \frac{E_{23}}{E_{33}} E_{32} \right) \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{23}}{E_{33}} \bar{q}_3, \quad (6)$$

$$\bar{\sigma}_{12} = G_{12} \left( \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_1} \right). \quad (7)$$

Представим грузовые члены системы уравнений движений, определяемые внешними силами, в виде

$$\bar{q}_k = \frac{q_k^{(+)} - q_k^{(-)}}{2}, \quad (k=1,2), \quad \bar{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} + q_3^{(-)}}{2}. \quad (8)$$

Первая задача состоит из уравнений движения при воздействии сил и бимоментов. В качестве уравнения движения здания под действием сейсмического воздействия, направленного вдоль продольного направления, принимается уравнение продольных колебаний толстой пластины, построенные с учетом внутренних сил и бимоментов в рамках пространственной теории упругости, которые имеют вид:

$$\frac{\partial N_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{12}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_1 = \rho H \ddot{\bar{\psi}}_1, \quad \frac{\partial N_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial N_{22}}{\partial x_2} + 2\bar{q}_2 = \rho H \ddot{\bar{\psi}}_2, \quad (9)$$

$$\frac{\partial T_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{12}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{13} + 2\bar{q}_1 = \rho H \ddot{\bar{\beta}}_1, \quad \frac{\partial T_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial T_{22}}{\partial x_2} - 4\bar{p}_{23} + 2\bar{q}_2 = \rho H \ddot{\bar{\beta}}_2, \quad (10)$$

$$\frac{\partial \bar{p}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{p}_{23}}{\partial x_2} - \frac{2\bar{p}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} = \rho \ddot{\bar{r}}, \quad \frac{\partial \bar{\tau}_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{\tau}_{23}}{\partial x_2} - \frac{6\bar{\tau}_{33}}{H} + \frac{2\bar{q}_3}{H} = \rho \ddot{\bar{\gamma}}, \quad (11)$$

$$\bar{u}_k = \frac{1}{4}(21\bar{\beta}_k - 3\bar{\psi}_k) - \frac{1}{20}H \frac{\partial \bar{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{20} \frac{H\bar{q}_k}{G_{k3}} \quad (k=1,2), \quad (12)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{2}(21\bar{\gamma} - 7\bar{r}) - \frac{1}{30}H \left( \frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H\bar{q}_3}{30E_{33}}. \quad (13)$$

Для описания второй задачи введены силы, моменты и бимоменты с помощью девяти неизвестных функций  $\tilde{\psi}_1, \tilde{\psi}_2, \tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{r}, \tilde{\gamma}, \tilde{W}$ .

Вторая задача состоит из уравнений движения при воздействии сил, моментов и бимоментов. Первая система из трех уравнений содержит два уравнения для моментов и перерезывающих сил.

Изгибающие и крутящие моменты определяются формулам:

$$M_{11} = \int_{-h}^h \sigma_{11} z dz, \quad M_{12} = \int_{-h}^h \sigma_{12} z dz, \quad M_{22} = \int_{-h}^h \sigma_{22} z dz. \quad (14)$$

Выражения для перерезывающих сил имеют вид:

$$Q_{13} = \int_{-h}^h \sigma_{13} dz = G_{13}(2\tilde{u}_1 + H \frac{\partial \tilde{r}}{\partial x_1}), \quad Q_{23} = \int_{-h}^h \sigma_{23} dz = G_{23}(2\tilde{u}_2 + H \frac{\partial \tilde{r}}{\partial x_2}). \quad (15)$$

Для построения остальных уравнений введены следующие бимоменты, возникающие при изгибе и сдвиге пластины, которые определяются по следующим формулам:

$$P_{11} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{11} z^3 dz, \quad P_{12} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{12} z^3 dz, \quad P_{22} = \frac{1}{h^2} \int_{-h}^h \sigma_{22} z^3 dz. \quad (16)$$

Интенсивность поперечных касательных и нормальных бимоментов  $\tilde{p}_{13}$ ,  $\tilde{p}_{23}$  и  $\tilde{p}_{33}$  определяются выражениями:

$$\tilde{p}_{13} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{13} z^2 dz, \quad \tilde{p}_{23} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{23} z^2 dz, \quad (17)$$

$$\tilde{p}_{33} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{13} z dz, \quad \tilde{\tau}_{33} = \frac{1}{2h^3} \int_{-h}^h \sigma_{13} z^3 dz. \quad (18)$$

Выражения для определения максимальных напряжений имеют вид:

$$\tilde{\sigma}_{11} = \left( E_{11} - \frac{E_{13} E_{31}}{E_{33}} \right) \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{12} - \frac{E_{13} E_{32}}{E_{33}} \right) \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{13}}{E_{33}} \tilde{q}_3, \quad (19)$$

$$\tilde{\sigma}_{22} = \left( E_{21} - \frac{E_{23} E_{31}}{E_{33}} \right) \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \left( E_{22} - \frac{E_{23} E_{32}}{E_{33}} \right) \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} + \frac{E_{23}}{E_{33}} \tilde{q}_3, \quad (20)$$

$$\tilde{\sigma}_{12} = G_{12} \left( \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_2} + \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_1} \right). \quad (21)$$

Грузовые члены системы уравнений движений, определяемые внешними силами представлены в виде:

$$\tilde{q}_k = \frac{q_k^{(+)} + q_k^{(-)}}{2} \quad (k=1,2), \quad \tilde{q}_3 = \frac{q_3^{(+)} - q_3^{(-)}}{2}. \quad (22)$$

Уравнения поперечных колебаний пластины относительно изгибающих, крутящих моментов и уравнение относительно перерезывающих сил, относительно продольных и поперечных бимоментов, построенных на основе уравнения теории упругости, записаны в виде:

$$\frac{\partial M_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{12}}{\partial x_2} - Q_{13} + H\tilde{q}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\psi}}_1, \quad \frac{\partial M_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{22}}{\partial x_2} - Q_{23} + H\tilde{q}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\psi}}_2, \quad (23)$$

$$\frac{\partial P_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{12}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{13} + H\tilde{q}_1 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\beta}}_1, \quad \frac{\partial P_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{22}}{\partial x_2} - 3H\tilde{p}_{23} + H\tilde{q}_2 = \frac{H^2}{2} \rho \ddot{\tilde{\beta}}_2, \quad (24)$$

$$\frac{\partial Q_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial Q_{23}}{\partial x_2} + 2\tilde{q}_3 = \rho H \ddot{\tilde{r}}, \quad H \frac{\partial \tilde{p}_{13}}{\partial x_1} + H \frac{\partial \tilde{p}_{23}}{\partial x_2} - 4\tilde{p}_{33} + 2\tilde{q}_3 = H \rho \ddot{\tilde{\gamma}}, \quad (25)$$

$$\tilde{u}_k = \frac{1}{2} (21\tilde{\beta}_k - 7\tilde{\psi}_k) - \frac{1}{30} H \frac{\partial \tilde{W}}{\partial x_k} + \frac{1}{30} \frac{H\tilde{q}_k}{G_{k3}}, \quad (k=1,2), \quad (26)$$

$$\tilde{W} = \frac{1}{4} (21\tilde{\gamma} - 3\tilde{r}) - \frac{1}{20} H \left( \frac{E_{31}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_1}{\partial x_1} + \frac{E_{32}}{E_{33}} \frac{\partial \tilde{u}_2}{\partial x_2} \right) + \frac{H\tilde{q}_3}{20E_{33}}. \quad (27)$$

Определяются приведенные механические характеристики пластинчатой

модели здания. При определении приведенных плотности и модуля упругости пластинчатой модели считается, что здание состоит из многочисленных коробок (комнат).

Приведенная плотность здания определяется по следующей формуле:

$$m_{\text{пр}} = \rho_{\text{пл}} V_1 = \rho_{\text{пр}} V_0. \quad (28)$$

Отсюда получена формулу приведенной плотности:

$$\rho_{\text{пр}} = \rho_{\text{пл}} \frac{V_1}{V_0}, \quad (29)$$

где:  $V_0$  – объем одного этажа здания;  $V_1$  – объем плит, образующих один этаж здания

$$V_0 = ab_1H, \quad V_1 = 2ab_1h_1 + ab_1h_2 + 2Hb_1h_1 + (k-2)Hb_1h_2 + aHh_2, \quad (30)$$

где:  $a, H$  – длина и ширина здания;  $b_1$  – высота одного этажа здания;  $k$  – количество внутренних поперечных стен здания;  $h_1$  – толщина внешних несущих стен;  $h_2$  – толщина внутренних стен;  $h_{\text{пер}}$  – толщина перекрытия.

В общем случае в аналитическом виде определены приведенные упругие характеристики и плотность здания:

$$\begin{aligned} E_1^{\text{пр}} &= \xi_{11} E_0, \quad E_2^{\text{пр}} = \xi_{22} E_0, \quad E_3^{\text{пр}} = \xi_{33} E_0, \\ G_{12}^{\text{пр}} &= \xi_{12} G_0, \quad G_{13}^{\text{пр}} = \xi_{13} G_0, \quad G_{23}^{\text{пр}} = \xi_{23} G_0. \end{aligned} \quad (31)$$

Приведенная плотность здания определяется по формуле

$$\rho_{\text{пр}} = \rho_{\text{пл}} \xi_0. \quad (32)$$

Значения коэффициентов  $\xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}, \xi_0$  для каждой ячейки (комнаты) здания определяются в виде функций двух пространственных переменных,  $E_0, G_0$  – модули упругости и сдвига самой прочной несущей панели здания. При определении приведенного модуля упругости здания используются следующие соотношения:

$$\xi_{11} = \alpha \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{22} = \alpha \frac{S_{22}}{S_{02}}, \quad \xi_{33} = \alpha \frac{S_{33}}{S_{03}}, \quad \xi_{12} = \alpha \frac{S_{12}}{S_{01}}, \quad \xi_{13} = \alpha \frac{h_{\text{пер}}}{b_1} \lambda^*, \quad \xi_{23} = \alpha \frac{h_2}{a_1}, \quad \xi_0 = \frac{V_1}{V_0}, \quad (33)$$

где  $S_{01}, S_{02}, S_{03}$  – площади поперечных сечений здания в трех координатных плоскостях одного этажа здания;  $S_{11}, S_{12}, S_{22}, S_{33}$  – суммарные

площади поперечных сечений плит в координатных плоскостях, образующих один этаж здания;  $\lambda^*$  – коэффициент, характеризующий пустоты в поперечном сечении плиты перекрытия. Коэффициент  $\alpha$  в выражение (33) определяется в зависимости от ячеистой структуры конструкции здания.

Отметим, что вышеприведенные объемы и площади определяются в зависимости от размеров плит, комнат и самого здания, в следующем в виде:

$$S_{01} = b_1 H, \quad S_{02} = aH, \quad S_{03} = ab_1, \quad (34)$$

$$\begin{aligned} S_{11} &= 2b_1 h_1 + b_1 h_2 + Hh_{nep}, \quad S_{12} = 2b_1 h_1 + b_1 h_2, \\ S_{22} &= 2ah_1 + ah_2 + 2Hh_1 + (k-2)Hh_2, \quad S_{33} = 2b_1 h_1 + ah_2 + (k-2)b_1 h_2. \end{aligned} \quad (35)$$

На основе уравнений (33, 34, 35) можно записать следующие выражения по определению конструктивных особенностей здания:

$$\begin{aligned} \xi_{11} &= \alpha \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{22} = \alpha \frac{S_{22}}{S_{02}}, \quad \xi_{33} = \alpha \frac{S_{33}}{S_{03}}, \\ \xi_{12} &= \alpha \frac{S_{12}}{S_{01}}, \quad \xi_{13} = \alpha \frac{G_{nep}}{G_0} \frac{h_{nep}}{b_1} \lambda^*, \quad \xi_{23} = \alpha \frac{G_2}{G_0} \frac{h_2}{a_1}, \end{aligned} \quad (36)$$

где:

$$S_{01} = E_0 b_1 H, \quad S_{02} = E_0 aH, \quad S_{03} = E_0 ab_1, \quad (37)$$

$$\begin{aligned} S_{11} &= 2b_1 h_1 E_b^{(1)} + b_1 h_2 E_b^{(2)} + Hh_{nep} E_{nep}, \quad S_{12} = 2b_1 h_1 E_b^{(1)} + b_1 h_2 E_b^{(2)}, \\ S_{22} &= 2ah_1 E_b^{(1)} + ah_2 E_b^{(2)} + 2Hh_1 E_b^{(1)} + (k-2)Hh_2 E_b^{(2)}, \\ S_{33} &= 2b_1 h_1 E_b^{(1)} + ah_2 E_b^{(2)} + (k-2)b_1 h_2 E_b^{(2)}, \end{aligned} \quad (38)$$

где:  $G_{nep}$  - модуль сдвига перекрытия здания;  $G_2$  - модуль сдвига внутренних стен;  $E_b^{(1)}$  - модуль упругости наружных стен;  $E_b^{(2)}$  - модуль упругости внутренних стен;  $E_{nep}$  - модуль упругости перекрытия.

В диссертации на основе применения метода конечных разностей разработаны методы численного решения динамических задач сейсмостойкости зданий и сооружений. Для аппроксимации производных перемещений по пространственным координатам использованы формулы центральных разностных схем.

Шаги вычисления по пространственным координатам и времени выбираются следующим образом:

$$\Delta x_1 = \frac{a}{N}, \quad \Delta x_2 = \frac{b}{M}, \quad c\Delta t = k \min(\Delta x_1, \Delta x_2), \quad \text{где: } k < 1,$$

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad N, M - \text{количество делений.}$$

$$\Delta x_1 = \Delta x \cdot a, \quad \Delta x_2 = \Delta y \cdot b. \quad (39)$$

Переходя к безразмерным координатам, получены выражения

$$\Delta x = \frac{1}{N}, \quad \Delta y = \frac{1}{M}, \quad \Delta \tau = k \frac{a}{H} \Delta x. \quad (40)$$

В третьей главе диссертации **«Разработка методики пространственных расчетов зданий на основе пластинчатой континуальной модели»** разработана методика определения приведенных модулей упругости, плотности и методы динамического расчета пластинчатой модели зданий с учетом механических характеристик элементов конструкции. Сформулированы общие задачи сейсмостойкости зданий. Выбрана пространственная континуальная модель зданий с учетом конструктивных особенностей структуры.

В главе, используя метод конечных разностей, построено численное решение задачи сейсмических колебаний. В рамках предложенной пластинчатой континуальной модели разработана методика динамического расчета зданий при сейсмическом воздействии. В рамках пластинчатой модели определены собственные частоты и периоды здания различной этажности.

Физико-механические характеристики материалов панелей комнат приняты следующими: несущие изгибаемые панели имеют модуль упругости  $E = 20000 \text{ МПа}$ ; плотность  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ . Для панели, работающей на сдвиг, механические характеристики принимаются: модуль упругости  $E = 7500 \text{ МПа}$ , плотность  $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ .

Приведены результаты расчетов по методу континуальной модели вынужденных колебаний здания в рамках толстой пластинчатой модели при следующих размерах плиты перекрытий здания:

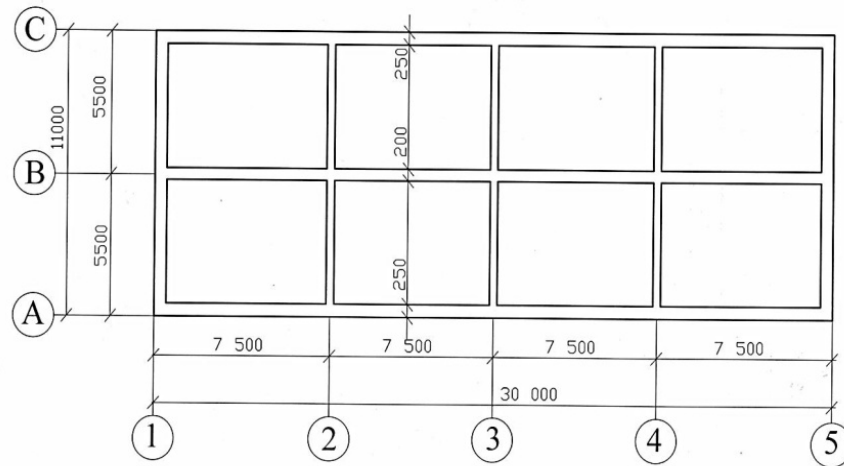
$$h_1 = 0.25 \text{ м}, \quad h_2 = 0.2 \text{ м}, \quad h_{\text{пер}} = 0.2 \text{ м}, \quad a_1 = 7.5 \text{ м}, \quad b_1 = 3 \text{ м}, \quad a = 30 \text{ м}, \quad H = 11 \text{ м}.$$

Тогда коэффициенты  $\xi_0, \xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}$ , приведенные модули упругости и плотности по формулам (31, 32, 33) принимают следующие значения:

$$\begin{aligned} \xi_0 &= 0.167, \quad \xi_{11} = 0.13, \quad \xi_{22} = 0.1, \quad \xi_{33} = 0.103, \quad \xi_{12} = 0.063, \quad \xi_{13} = 0.066, \quad \xi_{23} = 0.027, \\ E_1^{\text{np}} &= 2600 \text{ МПа}, \quad E_2^{\text{np}} = E_3^{\text{np}} = 2000 \text{ МПа}, \\ G_{12}^{\text{np}} &= 480 \text{ МПа}, \quad G_{13}^{\text{np}} = 520 \text{ МПа}, \quad G_{23}^{\text{np}} = 200 \text{ МПа}, \quad \rho_{\text{np}} = 451 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Воздействие во всех случаях задается через ускорение основания  $\ddot{u}_{10} = a_{10} \cos(p_0 t)$  с амплитудой равной  $a_{10} = 0.1g$ , что соответствует интенсивности 7-балльного землетрясения. Частота воздействия выбрана равной  $p_0 = 2\pi\omega_0$ ,  $\omega_0 = 9.5 \text{ Гц}$ . Такое высокочастотное воздействие имеет

период  $T_0 \approx 0.105$  с. Такой преобладающий период имеет акселерограмма Газлийского землетрясения. Поэтому можно сказать, что учитываемое воздействие является в определенном смысле аналогом Газлийского землетрясения (1976 г.) по преобладающему периоду. План рассматриваемого здания приведен на рисунке 1.



**Рис. 1. План коробчатой модели здания**

Получены численные результаты по предлагаемой пластинчатой континуальной модели здания на основе метода конечных разностей (МКР) и коробчатой модели здания по методу конечных элементов (МКЭ).

Сформулирована постановка задачи о **поперечных колебаниях здания** на основе пластинчатой модели, в предположении, что перемещение основания здания происходит только вдоль горизонтального поперечного направления вдоль малого размера. Тогда сейсмическое воздействие имеет следующий вид:

$$u_1 = u_2 = u_3 = 0.$$

Закон изменения ускорения основания  $\ddot{u}_{30}(t)$  задается в виде:

$$\ddot{u}_{30}(t) = a_{30} \cos(p_0 t), \quad (41)$$

где:  $a_{30}$  и  $p_0$  – амплитуда и частота ускорения основания.

В качестве уравнений движения пластинчатой модели здания принимаются уравнения изгибно-сдвиговых колебаний пластинчатой континуальной модели, которые запишутся относительно изгибающих, крутящих моментов, перерезывающих сил, бимоментов и кинематических уравнений в виде (23, 24, 25, 26, 27).

В основании здания граничные условия для изгибно-сдвиговых колебаний имеют вид:



$$\tilde{\psi}_1=0, \tilde{\psi}_2=0, \tilde{\beta}_1=0, \tilde{\beta}_2=0, \tilde{u}_1=0, \tilde{u}_2=0, \tilde{r}=0, \tilde{\gamma}=0, \tilde{W}=0.$$

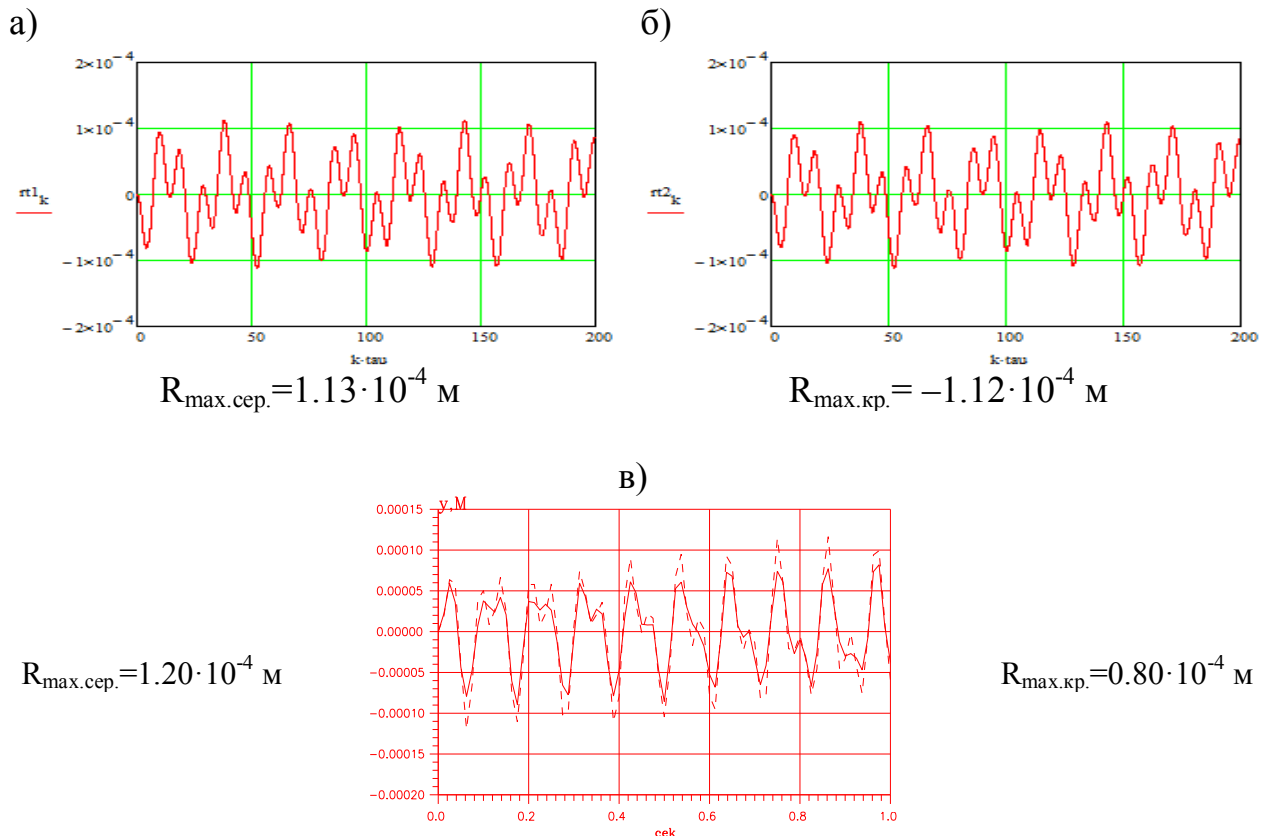
На свободных боковых гранях зданий силовые факторы подчиняются условию равенства нулю:

$$M_{11}=0, M_{12}=0, P_{11}=0, P_{12}=0, Q_{13}=0, \tilde{p}_{13}=0, \tilde{\sigma}_{11}=0, \tilde{\sigma}_{12}=0, \sigma_{11}^*=0.$$

Свободные верхние грани здания подчиняются условию:

$$M_{12}=0, M_{22}=0, P_{12}=0, P_{22}=0, Q_{23}=0, \tilde{p}_{23}=0, \tilde{\sigma}_{11}=0, \tilde{\sigma}_{12}=0, \sigma_{22}^*=0.$$

**Динамический расчет двухэтажного здания.** На рисунке 2 приведены колебания характерных точек, расположенных на уровне перекрытий здания. В нем сплошная линия характеризует точки, находящиеся на краю перекрытия, штриховая линия - точки в центре перекрытия (рис. 2,в).



**Рис. 2. Перемещения двухэтажного здания, полученные по характерным точкам (м): а) характерная точка в середине покрытия; б) характерная точка на краю перекрытия; в) график, полученный другим способом на основе МКЭ**

В таблице 1 приведены максимальные значения обобщенного перемещения и ускорения  $\tilde{r}$  и  $\ddot{\tilde{r}}$ , полученные при вынужденных поперечных колебаниях двухэтажных зданий в крайних точках, в верхних уровнях

первого и второго этажей при действии сейсмического воздействия (41), соответствующего семибалльному землетрясению.

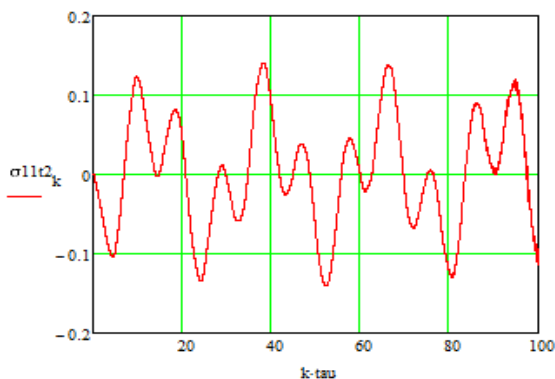
Таблица 1

Максимальные значения перемещений и ускорений двухэтажного здания при поперечных колебаниях

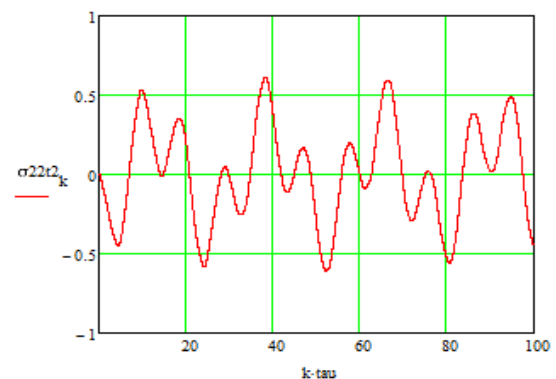
Этажность здания	$\tilde{r}, 10^{-4} \text{ м}$	$\ddot{r}, \text{ м/с}^2$
1	0.754	2.436
2	1.130	3.524

На рисунке 3 приведен график изменения напряжения  $\sigma_{11}$  во внешней стене двухэтажного здания по безразмерному времени  $\tau$ . Из графика видно, что максимальное значение напряжения равно  $\sigma_{11} = -0.142 \text{ МПа}$ .

На рисунке 4 приведен график изменения по безразмерному времени  $\tau$  напряжения  $\sigma_{22}$ . Максимальное значение нормального напряжения  $\sigma_{22}$  в центральной точке нижней части внешней несущей стены здания получилось равным  $\sigma_{22} = 0.616 \text{ МПа}$ . Расчеты показали, что при поперечных колебаниях многоэтажных зданий максимальные значения нормальных напряжений  $\sigma_{11}$  и  $\sigma_{22}$  достигаются в центральной точке нижней части внешней несущей стены здания с координатами  $x_1 = a/2, y_1 = 0$ .



**Рис.3. График напряжения  $\sigma_{11}$  по времени двухэтажного здания при поперечных колебаниях**



**Рис.4. График напряжения  $\sigma_{22}$  по времени двухэтажного здания при поперечных колебаниях**

Максимальное значение касательного напряжения достигается при  $\sigma_{12} = 0.0218 \text{ МПа}$  и обнаружено в крайних точках нижней части внешней несущей стены с координатами  $x_1 = a, y_1 = 0$ .

**Динамический расчет девятиэтажного здания.** В таблице 2 приведены максимальные значения обобщенного перемещения и ускорения  $\tilde{r}$  и  $\ddot{r}$ , полученные при вынужденных поперечных колебаниях девятиэтажного дома в крайних точках в верхних уровнях этажей.

Таблица 2

Максимальные значения перемещений и ускорений девятиэтажного здания при поперечных колебаниях

Этажность здания	$\tilde{r}, 10^{-4} \text{ м}$	$\ddot{\tilde{r}}, \text{ м/с}^2$
1	-1.590	2.176
2	-2.819	2.629
3	-3.411	2.668
4	3.945	2.311
5	5.329	-1.869
6	6.610	-1.146
7	-8.103	-1.186
8	-10.700	2.399
9	-13.128	3.646

Из полученных численных расчетов можно сделать вывод, что значения перемещений, полученные для двухэтажного и пятиэтажного зданий в различных точках перекрытия, отличаются в пределах до 10%.

На основе пластинчатой модели определяются динамические характеристики зданий, используя резонансный метод. Задача решается численными методами (МКЭ и явная схема МКР).

В таблице 3 приведены численные значения частот собственных колебаний зданий, этажность которых от двух до двенадцати. Для коробчатой модели здания значения собственных частот получены МКЭ, а для континуальной модели - резонансным методом.

Таблица 3

Собственная частота первой формы колебаний зданий в коробчатой и континуальной моделях

Этаж здания	Период и частота зданий по коробчатой модели		Период и частота зданий по континуальной модели	
	T, с	$\omega_1$ , Гц	T, с	$\omega_1$ , Гц
2	0.0398	25.12	0.0392	25.48
3	0.0579	17.26	0.0590	16.93
4	0.0782	12.78	0.0793	12.60
5	0.1009	9.91	0.1031	9.50
6	0.1264	7.91	0.1298	7.70
7	0.1547	6.46	0.1639	6.10
8	0.1866	5.36	0.1953	5.12
9	0.2212	4.52	0.2169	4.61
10	0.2597	3.85	0.2666	3.75
11	0.3021	3.31	0.3125	3.20
12	0.3472	2.88	0.3484	2.87

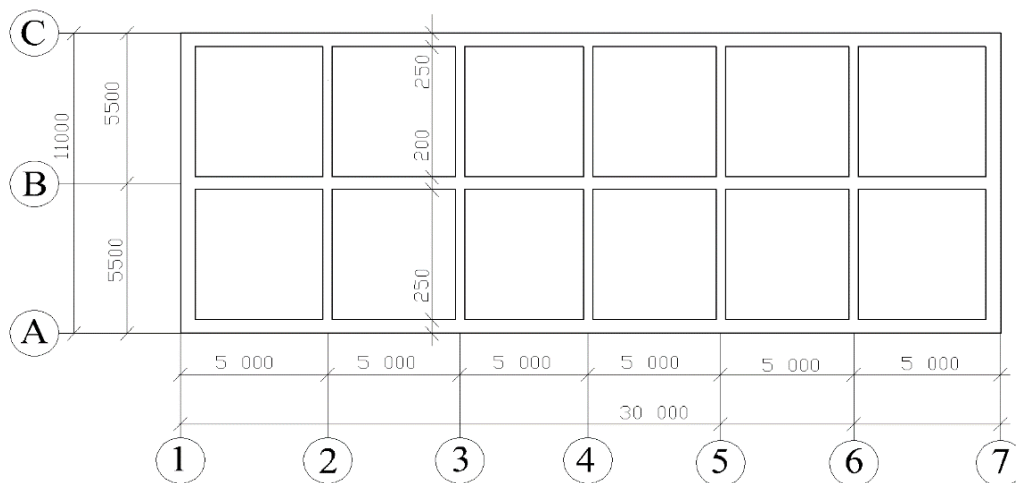
В диссертации приведены результаты динамического расчета с учетом конструктивных особенностей здания с помощью (36, 37, 38). Для пластинчатой континуальной модели здания выбраны три варианта конструктивных особенностей модели здания и определены значения перемещений и ускорений верхних этажей зданий.

Воздействие во всех случаях задается через ускорение основания с законом  $\ddot{y}_{30} = a_{30} \cos(p_0 t)$  с амплитудой равной  $a_{30} = 0.1g$ , что соответствует интенсивности 7-балльного землетрясения. Частота воздействия выбрана равной  $\omega_0 = 9.5 \text{ Гц}$ . Такое высокочастотное воздействие имеет период  $T_0 = 0.105 \text{ с}$ .

При решении задачи использованы следующие исходные данные для конструкций рассматриваемого здания: для железобетона модуль упругости  $E = 20000 \text{ МПа}$ ; плотность  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ . Для керамзитобетона модуль упругости  $E = 7500 \text{ МПа}$ ; плотность  $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ .

При численном расчете рассмотрены следующие варианты конструктивных особенностей модели здания: внутренние стены, перекрытия и покрытия из армированного легкого керамзитобетона, а наружные стены из армированного тяжелого железобетона.

Приведем результаты расчетов вынужденных колебаний здания в рамках пластинчатой континуальной модели при следующих размерах плит перекрытий здания:  $h_1 = 0.25 \text{ м}$ ,  $h_2 = 0.2 \text{ м}$ ,  $h_{\text{пер}} = 0.2 \text{ м}$ ,  $a_1 = 5 \text{ м}$ ,  $b_1 = 3 \text{ м}$ ,  $a = 30 \text{ м}$ ,  $H = 11 \text{ м}$  (рисунок 5).



**Рис.5. План коробчатой модели двухэтажного здания**

В таблице 4 приведены максимальные значения перемещений и ускорений второго этажа двухэтажного здания.

Таблица 4

Максимальные значения перемещений и ускорений двухэтажного здания по третьему варианту

Конструктивные особенности зданий	$r, 10^{-4} \text{ м}$	$\ddot{r}, \text{ м/с}^2$	$\dot{\ddot{r}}, \text{ м/с}^2$
Материалы наружных и внутренних стен, покрытия и перекрытия из железобетона	0.518	1.617	-1.206
Материалы внутренних стен из керамзитобетона, а наружные стены, покрытия и перекрытия из железобетона	-1.998	2.361	1.460
Материалы внутренних стен, покрытия и перекрытия из керамзитобетона, а наружные стены из железобетона	-1.996	2.421	1.476

В результате сопоставления приведенных значений установлено, что с увеличением жесткости здания уменьшаются значения перемещений и ускорений верхнего этажа здания (таблица 4).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований, проведенных по теме диссертации «Динамические методы пространственного расчета сооружений на основе пластинчатой континуальной модели» на соискание ученой степени доктора философии (PhD), представлено следующее заключение:

1. Проведен обзор современных научных работ по проблемам сейсмостойкости зданий и сооружений, касающихся выбора пространственных моделей и обоснована целесообразность моделирования динамического поведения многоэтажных зданий с пространственным деформированием некоторой толстой ортотропной пластины при сейсмических колебаниях.

2. Усовершенствована пространственная континуальная пластинчатая модель зданий с учетом их геометрической структуры и механических характеристик элементов конструкций в рамках бимоментной теории пластин. Усовершенствованная пластинчатая модель зданий позволила сформулировать двумерную математическую задачу о пространственных колебаниях зданий при трехкомпонентных сейсмических воздействиях.

3. Составлены аналитические выражения для определения приведенных модулей упругости и плотности пластинчатой континуальной модели здания. Эти аналитические выражения позволили определить значения приведенных модулей упругости пластинчатой континуальной модели здания, которые уменьшаться от 7 до 20 раза за счет их дискретной структуры по сравнению с реальными значениями модулей упругости балочных и пластинчатых

элементов конструкций.

4. В рамках континуальной пластинчатой модели сформулированы задачи о продольных и поперечных колебаниях многоэтажных зданий и сооружений при сейсмических воздействиях. Сформулированные задачи позволяют определить пространственное динамическое поведение зданий при сейсмических колебаниях.

5. Разработаны методы аппроксимации силовых факторов и их производных в рамках метода конечных разностей. Разработанные методы позволили построить численные решения уравнения движения зданий при сейсмических воздействиях с учетом граничных условий.

6. На основе применения континуальной модели зданий и сооружений с использованием метода конечных разностей разработаны методики динамического расчета, алгоритмы и программы многоэтажных зданий при сейсмических воздействиях. Разработанные методики динамического расчета зданий на сейсмостойкость позволили определить напряжения, перемещения и ускорения, а также определить опасные зоны зданий при сейсмических воздействиях.

7. На основе анализа полученных численных результатов по пластинчатой континуальной модели многоэтажного здания на сейсмические воздействия в виде ускорения основания установлено, что значения перемещений и ускорений этажей здания увеличиваются от 1,2 до 8 раза по сравнению их значений в основания в зависимости от механических характеристик материалов конструкций, геометрических размеров и параметров внешних воздействий.

8. В целях определения достоверности численных результатов в рамках пластинчатой модели определены перемещения и динамические характеристики зданий, этажность которых от двух до двенадцати. На основе сопоставления с результатами, полученными МКЭ, установлено, что данные собственных частот и перемещений континуальной модели зданий близки к собственным частотам и перемещениям, найденным по методу конечных элементов.

9. На основе сопоставления полученных результатов, с использованием предложенной в диссертации пластинчатой континуальной модели и по нормативному документу установлено, что с увеличением этажности до девяти и выше этажей численные результаты расчетов двух подходов взаимно приближаются.

**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**

**AYUBOV GAYRATJON TUXTASINOVICH**

**DYNAMIC METHODS OF SPATIAL CALCULATION OF STRUCTURES  
BASED ON A PLATE CONTINUUM MODEL**

**01.02.04 – Mechanics of Deformable Rigid Bodies**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2019**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD/T19.**

The 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](http://www.instmech.uz)) and information-educational portal «ZiyoNET» at the address ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz))

**Scientific adviser:**

**Usarov Makhamatali Koraboevich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Fellow

**Official opponents:**

**Xojmetov Goibnazar Xadievich**

Doctor of Technical Sciences, Professor

**Axmedov Akrom Burxanovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences

**Leading organization:**

**Namangan engineering-construction institute**

The defense will take place at «27» november 2019 at 14<sup>00</sup> 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 100125, Tashkent, Durmon yuli street, 33, Conference hall – 1. Tel: (99871) 262-71-52; fax: (99871) 262-71-32, e-mail: [instmech@academy.uz](mailto:instmech@academy.uz)).

The thesis is available in the Information Resource Center of Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (registration number 95). Address 100000, Tashkent, Kari Niyaziy street, 39, Tel: (99871) 237-46-68; fax: (99871) 237-38-79.

Abstract of dissertation sent out on «12» november 2019 year.  
(mailing report № 1 on «12» november 2019 year).

**M.M.Mirsaidov**

Chairman of Scientific Council for awarding degrees,  
doctor of technical sciences, professor, Academician  
of Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan

**N.M.Ikramov**

Scientific secretary of Scientific Council  
for awarding degrees, doctor of phylosofy

**R.A.Abirov**

Chairman of scientific seminar at the cientific  
Council for the awarding degrees, doctor of physical and  
mathematical sciences, Senior Fellow



## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the study** is to improve the model and methods for dynamic calculation of buildings in the framework of the plate continuum model, as well as the development of methods for calculating buildings for seismic effects.

**The objects of the study** are dynamic plate continuum models of multi-storey buildings and structures.

**Scientific novelty of the dissertation research** is as follows:

spatial dynamic plate continuum model of buildings and structures based on the bimoment theory of thick plates under seismic effects is improved;

analytical expressions of the given moduli of elasticity and density of the building plate model are developed taking into account its geometrical structure and design features;

methods of numerical solutions to the problems of transverse and longitudinal vibrations of multi-storey buildings and plate structures are developed within the framework of the plate continuum model under seismic effects;

methods and calculation programs based on the use of a plate model of maximum displacements, accelerations, natural frequencies and stress-strain state, as well as hazardous areas (sections) of buildings under seismic effects are developed.

**Implementation of research results.** Based on scientific results of the study of dynamic methods for the spatial calculation of structures using a plate continuum model, the following aspects were obtained:

calculation methods for determining hazardous areas in the plate structures of buildings under dynamic load were introduced at “Fargonafukaroloikha” LLC when performing dynamic calculation at the object "Construction of a family clinic No. 5 for 250 visits, address: Airport str., Fergana, Fergana Region” (Implementation act of scientific results of the Ministry of Construction of the Republic of Uzbekistan 770/06-18 of February 4, 2019). The introduction of scientific results into design process made it possible to increase the reliability of the building structures by 15–20%, which will contribute to ensuring the earthquake resistance of the operated building;

calculation methods based on the plate continuum model were used to design buildings for seismic effects at the object “Construction of an administrative complex located on the territory of a synthetic liquid fuel production plant based on purified methane from the Shurtan Gas-Chemical Plant” (Implementation act of scientific results of the Ministry of Construction of the Republic of Uzbekistan 770/06-18 dated February 4, 2019). The introduction of results of these calculation methods allowed reducing the duration of the computing process by 1.2 times;

methods for solving the problems of transverse and longitudinal vibrations of multi-storey buildings and structures, and a computational program, have been introduced into the design and construction process at the "Construction of an administrative complex located on the territory of a synthetic liquid fuel production plant based on purified methane from the Shurtan Gas-Chemical Plant."

The developed calculation methods have significantly reduced the possible damage to the operated and designed buildings in the cities of the republic during earthquakes; the use of results has increased the accuracy and efficiency of design work by 18%.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of introduction, three chapters, conclusion, list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I-бўлим ( I часть; I part)**

1. Аюбов Г.Т., Усаров Д.М. Динамический изгиб прямоугольной пластины // Проблемы архитектуры и строительства, Самарканд – 2014, №4. – С.79–81 (05.00.00; №14).

2. Аюбов Г.Т., Усаров Д.М. Вынужденные колебания здания на основе пластинчатой модели // Проблемы архитектуры и строительства, Самарканд-2016 г. №3., – С.108–111(05.00.00; №14).

3. Усаров М.К., Усаров Д.М., Аюбов Г.Т. Динамический расчет здания на основе пластинчатой модели, учитывающей бимоменты // Проблемы механики. 2017, №1. –С. 34–39. (05.00.00; №6).

4. Усаров М.К., Аюбов Г.Т. Динамический расчет здания на основе континуальной пластинчатой модели // Проблемы механики. –2018. –№1.– С.108–111 (05.00.00; №6).

5. Makhamatali K. Usarov, Gayratjon T. Ayubov. Study of Longitudinal Oscillations of a Building on the Basis of Continuum Plate Model // Journal of Applied Mathematics and Physics.–Vol.6. No. 9.–2018.–Pp.1928–1936 (№24. Scientific Research Publishing Inc. If=0.54).

6. Руми Д.Ф., Аюбов Г.Т. Поперечные колебания здания на основе континуальной пластинчатой модели // Проблемы архитектуры и строительства, Самарканд – 2018. – №3. – С. 168–172 (05.00.00; №14).

7. Усаров М.К., Руми Д.Ф., Аюбов Г.Т. Определение динамические характеристики пластинчатой континуальной модели здания // Проблемы механики. – 2018. – № 4. – С. 24–27. (05.00.00; №6).

8. Усаров М.К., Ювмитов А.С., Аюбов Г.Т. Исследование напряженно-деформированного состояния четырехэтажного здания на основе континуальной пластинчатой модели//ТАСИ, Архитектура. Строительство. Дизайн. Научно- практический журнал, – Ташкент, 2019. –№1. – С. 125–130 (05.00.00; №4).

9. Javlon Yarashov, Makhamatali Usarov, Gayratjon Ayubov. Study of longitudinal oscillations of a five-storey building on the basis of plate continuum model // Journal E3S Web of Conferences 97, 04065 (2019), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704065>. (№3. Scopus).

**II-бўлим (II часть; II part)**

10. Аюбов Г.Т., Усаров Д.М. Продольные колебания здания на основе пластинчатой модели // Развитие науки и технологий, Бухара-2016, №3. – С.60–65.

11. Руми Д.Ф., Аюбов Г.Т. Колебания многоэтажного здания при кинематических воздействиях различного частотного спектра // Наука и

образование в XXI веке. Сборник научных статей. Бухара. 2017. – С. 250–256.

12. Аюбов Г.Т. Динамический расчет здания на основе пластинчатой континуальной модели // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № DGU 05312 от 17.05.2018 г.

13. Руми Д.Ф., Аюбов Г.Т. Динамика коробчатой модели многоэтажного здания при гармоническом воздействии // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 05532, 27.07.2018.

14. Руми Д.Ф., Усаров М.К., Аюбов Г.Т. Рекомендации по расчету зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом // Изд. Навруз, Ташкент-2017 г., 32 с.

15. Руми Д.Ф., Усаров М.К., Аюбов Г.Т. Рекомендации по расчету зданий с динамическими гасителями колебаний // Изд. Навруз, Ташкент-2017 г., 26 с.

16. Усаров Д.М., Аюбов Г.Т. Динамический изгиб защемленной прямоугольной пластины//Материалы Международной научно-технической конференции. «Современные актуальные проблемы естественных наук». 18-27 декабря, Актобе-2014 г, Казахстан Том 2, – С 107–111.

17. Руми Д.Ф., Усаров М.К. Аюбов Г.Т. Эластомерные опоры как средство активной сейсмозащиты зданий // материалы VIII Международного симпозиума, 9-11 декабря, Тверь-2015 г, – С.231-235.

18. Усаров М.К., Вынужденные колебания пластинчатых сооружений // Материалы Международной научно-технической конференции г. Ташкент 12-14 сентябрь 2016 г. – С.325–328.

19. Усаров М.К., Усаров Д.М., Аюбов Г.Т. Применение бимоментной теории пластин к расчету на сейсмостойкости здания // Сборник научных статей Республиканского второго профессорско – преподавательского и научно – исследовательского состава высших и средне – специальных учебных заведений. «Наука и образование в XXI веке», г. Бухара, май, 2017 г. – С. 301–307.

20. Усаров М.К., Усаров Д.М., Аюбов Г.Т. Пластинчатая модель и расчет на сейсмостойкости здания // Материалы международной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития строительной механики на основе компьютерных технологий и моделирования» СамГАСИ, 16 - 17 июнь, 2017 г. – С. 237–242.

21. Аюбов Г.Т. Расчет здания на основе пластинчатой модели при сейсмических воздействиях // Ўзбекистонда геотехника муаммолари ва уларнинг замонавий ечимлари. Республика илмий-амалий анжумани материаллари. Тошкент ш.,16-17 апрель 2018 й. –С216–221.

22. Аюбов Г.Т. Продольные колебания здания на основе континуальной пластинчатой модели // ТИИИМСХ, Сборник докладов Республиканской научно-практической конференции “механика деформируемого твердого тела” Том-1, г. Ташкент 25-октябрь, 2018 г. – С. 285–292.

Авторефератнинг ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги нусхалари  
«Irrigatsiya va Melioratsiya» илмий журнали таҳририясида  
таҳрирдан ўтказилди

Бичими 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 43.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.