

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.ФМ/Т.02.09  
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ**

**ЯХШИБОВ ШЕРЗОД РУСТАМКУЛОВИЧ**

**УЧ ҚАТЛАМЛИ ҚОВУШОҚ-ЭЛАСТИК ПЛАСТИНКАНИНГ  
АНТИСИММЕТРИК ТЕБРАНИШЛАРИ**

**01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси**

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Самарқанд – 2021**

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по физико-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD)  
on physical-mathematical sciences**

**Яхшибоев Шерзод Рустамкулович**

Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг антисимметрик

тебранишлари ..... 3

**Яхшибоев Шерзод Рустамкулович**

Антисимметричные колебания трехслойных вязкоупругих пластин..... 21

**Yakhshiboyev Sherzod Rustamkulovich**

Antisymmetric vibrations of three layered viscoelastic plate ..... 37

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 41

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.ФМ/Т.02.09  
РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

---

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ**

**ЯХШИБОВ ШЕРЗОД РУСТАМКУЛОВИЧ**

**УЧ ҚАТЛАМЛИ ҚОВУШОҚ-ЭЛАСТИК ПЛАСТИНКАНИНГ  
АНТИСИММЕТРИК ТЕБРАНИШЛАРИ**

**01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси**

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Самарқанд – 2021**

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.4.PhD/FM444 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Самарқанд давлат архитектура-қурилиш институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.samdu.uz](http://www.samdu.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Худойназаров Хайрулла**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Абиров Рустам Абдуллаевич**  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Худаяров Бахтиёр Алимович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**Ўзбекистон Миллий университети**

Диссертация ҳимояси Самарқанд давлат университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 рақамли илмий кенгашнинг 2021\_ йил «\_\_» \_\_\_\_\_ куни соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15. Тел:(99866) 239-11-40; Факс: (99866) 239-11-40; E-mail: [sasu\\_info@edu.uz](mailto:sasu_info@edu.uz).)

Диссертация билан Самарқанд давлат университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_\_ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15 Тел: (99866) 239-11-40; Факс: (99866) 239-11-40.)

Диссертация автореферати 2021 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2021\_ йил «\_\_» \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**Р.И.Халмурадов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

**Х.М.Буранов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
физика-математика фанлари номзоди, доцент

**К.Исмайилов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда қурилиш ва техниканинг турли жабҳаларида қўлланиладиган муҳандислик қурилмаларининг кўп қатламли элементлари динамикасини тадқиқ этишда, жумладан, уларнинг динамик деформацияланиши ҳисобининг экспериментга яқин янги моделларини яратишда, юқори самарали математик моделлар ва замонавий сонли усулларни қўллаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Дунё миқёсида бир қатор Япония, Буюк Британия, Франция, Исроил, АҚШ, Хитой Халқ Республикаси ва Россия Федерацияси каби ривожланган ва бошқа мамлакатларида муҳандислик конструкциялари мустаҳкамлигини ошириш учун кўп қатламли конструктив элементлардан фойдаланилмоқда ва уларнинг динамик характеристикаларини ҳисоблашда эффектив методлар қўлланилмоқда. Шу сабабли ишлатилиш соҳаси турлича қурилмаларнинг муҳандислар ва тадқиқотчилар олдига қўяётган замонавий талаблари доирасида конструкцияларнинг мустаҳкамлиги ва устиворлиги таъминланиши баробарида янгидан яратилган муҳандислик қурилмалари амалиётга жорий этишни тақозо этади. Шу жиҳатдан лойиҳалаш усулларини такомиллаштириш ва компьютер техникаси ёрдамида ривожлантириш учун авиасозлик, кемасозлик, машинасозлик ва қурилишда, конструктив элементларнинг кучланган-деформацияланган ҳолати (КДХ)ни ўрганиш, қурилмалар мустаҳкамлигини таъминлаш муаммоларини тизимлаштириш усулларида фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда, бугунги кунда, юқорида санаб ўтилган муаммолар бўйича янги илмий-техникавий ечимларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, қатламли конструкциялар таркибий қисмларининг ностационар тебранишларини, жумладан, турли ташқи ностационар динамик юклар таъсиридаги қатламли пластинкалар динамикаси масалаларида-муҳандислик қурилмаларининг мустаҳкамлигини таъминлаш билан боғлиқ муаммоларда, импульсив ва сейсмик таъсирлар остидаги қатламли конструктив элементлар ҳисобида мавжуд математик моделлар ва ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш ва янгиларини яратишга ҳамда аэрокосмик, ер усти, ер ости ва бошқа муҳандислик конструкциялари элементларнинг КДХ ларини юқори аниқликда топишга имкон берувчи алгоритмларни яратишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда техника ва қурилишнинг турли соҳаларида ҳар хил табиатли динамик юклар таъсири остидаги юк ташувчи ва кўтарувчи муҳандислик қурилмалари деформациясини ҳисоблаш математик моделини яратиш ва амалиётга кенг тадбиқ этиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «... ишлаб чиқаришни модернизация қилиш, техник ва технологик жиҳатдан янгилаш, ишлаб чиқариш..., ... тежамкор ва самарали замонавий технологияларни босқичма-босқич жорий

этиш ...»<sup>1</sup> бўйича муҳим вазифалар белгиб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, қурилмаларнинг юк кўтариш қобилиятларини, жумладан уч қатламли қовушоқ-эластик пластинкалар ёрда-мида амалга ошириш мақсадида қурилмалар элементларининг деформацияланиш жараёнларини ифодаловчи такомиллаштирилган математик моделларни ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 9 августдаги ПҚ-3190-сон «Ўзбекистон Республикаси ҳудуди ва аҳолисининг сейсмик хавфсизлиги, сейсмик чидамли қурилиш ва сейсмология соҳасида илмий тадқиқотлар ўтказишни янада ривожлантириш чора-тадбирларини тўғрисида»ги, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2018 йил 2 февралдаги ПҚ-3502-сон «2018-2022 йилларда аҳоли пунктларини бош режалар билан таъминлаш, лойиҳа ташкилотлари фаолиятини яхшилаш, шунингдек, шаҳарсозлик соҳасида мутахассислар тайёрлаш сифатини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолият соҳасига тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг IV. «Математика, механика ва информатика» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Мамлакатимизда ва хорижий юртларда авиасозлик, кемасозлик, ҳарбий иш, фуқаро қурилиши каби турли соҳаларда қатламли композит, жумладан, уч қатламли пластинкалар кенг қўлланилади. Аксарият ҳолларда пластинкаларнинг динамик ҳисоби Кирхгоф гипотезаларига асосланган классик назария асосида бажарилади. Аммо классик назария пластинканинг КДХ компоненталарини тўлиқ ҳисоблаш имконини бермайди. Шунинг учун бу назарияни ривожлантириш устида жуда кўп олимлар иш олиб борган ва бу ишлар бугунги кунда ҳам давом этмоқда. Классик назариянинг қатламли конструкциялар бўйича ривожчи С.Г.Лехницкий, Е.Reysner, С.А.Амбарцумян, И.Г.Филиппов, Х.Алтенбах, Э.И.Григолюк, В.П.Шевченко, М.В.Фоменко, М.Мирсаидов, Р.И.Халмурадов, Х.Х.Худойназаров, М.К.Усаров, А.Б.Ахмедов, Р. Абдукаримов ва бошқа бир қатор таниқли олим ва тадқиқотчилар томонидан амалга оширилмоқда. Пластинка ва қобиқларнинг динамик ҳисобини, ёки бошқача айтганда тебранишлар аниқлаштирилган назарияларини яратиш бўйича тадқиқотлар икки қатта йўналишга оид. Булардан биринчиси асимптотиклик назария ҳамда Тимошенко ва Рейсснер типидagi назарияларни

---

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

ишлаб чиқиш бўлса, иккинчиси кейинги бир неча ўн йилликларда эластиклик назарияси уч ўлчовли масаласининг аниқ ечимларидан фойдаланишга асосланган пластинка тебранишлари назарияларини яратишдан иборат. Кейинги усулнинг бир жинсли ва кўп қатламли эластик ва қовушоқ-эластик пластинкалар учун яроқли турли вариантлари профессор И.Г.Филиппов ва унинг ўқувчилари томонидан ишлаб чиқилган. Кўрсатилган метод билан профессорлар Г.И.Петрашень ва И.Г.Филипповлар, ҳамда уларнинг бир қатор ўқувчилари томонидан бир жинсли (бир қатламли) ва қатламли эластик ва қовушоқ-эластик пластинкаларнинг тебранишлари назариялари таклиф этилган. Назарияларни ишлаб чиқишда, бир қатор мутахассислар фикрига кўра бир нечта камчиликларга йўл қўйилган, хусусан:

чегаравий шартлар пластинка ички қатламларидан бирининг ўрта сирти нуқталари кўчишларининг бош қисмларига нисбатан шакллантирилган. Бу нарса умуман тўғри эмас, чунки ташқи юклар пластинканинг ташқи сиртларига қўйилган бўлади;

номаълум изланувчилар сифатида пластинка ички қатламларидан бирининг ўрта сирти нуқталари кўчишларининг бош қисмлари қабул қилинади (уч қатламли пластинка ҳолида ўрта сирт сифатида тўлдирувчи қатламнинг ўрта сирти олинади). Ушбу бош қисмлар сони кўчишлар сонига пропорционал бўлиб умумий ҳолда олтитадан ошмаслиги керак. Лекин агар чегаравий шартлар аниқ шакллантирилса, яъни улар пластинка ташқи сиртлари кўчишларининг бош қисмларига нисбатан ёзилса, номаълумлар сони ўн иккитани ташкил этади. Бу эса ўз навбатида уларни аниқлаш учун қўлланиладиган дифференциал ёки интегро-дифференциал тенгламалар сонининг ошишига ва уларни ечиш билан боғлиқ қатор математик муаммоларга олиб келади. Ушбу ҳолат авторларнинг ўзлари томонидан ҳам тан олинган;

қўлланилган ёндошувлар қабул қилинган ўрта сиртга нисбатан фақат симметрик структурали қатламли пластинкаларни тадқиқ қилиш имконини беради;

пировард натижада кўрсатиб ўтилган факторлар муаллифларни турли хил муҳим соддалаштиришлардан фойдаланишга мажбур қилганки, оқибатда натижавий тебранишлар тенгламалари бир жинсли пластинка тебраниш тенгламаларидан катта фарқ қилмайдиган тенгламаларга келиб қолган.

Баён қилинган фикрлардан келиб чиққан ҳолда таъкидлаш мумкинки, бугунги кунда эластик-қовушоқлик хоссалари ҳисобга олинган ва турли ташқи динамик юкланишлар таъсири остидаги қатламли элементларнинг, хусусан, уч қатламли қовушоқ-эластик пластинкаларнинг ностационар тебранишлари назарияси, тебраниш ва устиворлик масалаларини ечиш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдаги муаммолар етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқотлари Самарқанд давлат архитектура-қурилиш институти илмий тадқиқот ишлари режасининг №18.04.00-6 рақамли

«Қурилиш конструкцияларини муҳитнинг таъсирини ҳисобга олган ҳолда биржинсли бўлмаган, чизиклимас, қовушоқ-эластик хусусиятли, динамикаси, зилзилабардошлиги ҳамда устиворлиги масалаларини назарий ва амалий тадқиқ этиш» (2000-2020) мавзудаги тадқиқот ишлари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг ностационар кўндаланг тебранишлари динамик ҳисобининг ташқи динамик юклар таъсирини ҳисобга олувчи янги математик моделини ишлаб чиқиш; пластинка ихтиёрий кўндаланг кесими нуқталарининг кучланган-деформацияланган ҳолатини аниқлаш алгоритмининг яратиш; ишлаб чиқилган усулни импульсив ва бошқа юкланишлар таъсири остидаги уч қатламли пластинкаларни ҳисоблаш ҳолатларига қўллашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

эластиклик назариясининг қатламли пластинкалар антисимметрик тебранишлари учун шакллантирилган уч ўлчовли масаласининг умумий ечимидан фойдаланиб, ташқи динамик юклар таъсири остидаги уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг ностационар антисимметрик тебранишлари янги математик моделинини яратиш;

уч қатламли қовушоқ-эластик пластинка исталган қатламининг ихтиёрий нуқтасидаги кучланиш тензори ва кўчиш вектори компоненталарини талаб этилган аниқликда топиш аналитик усулини ишлаб чиқиш;

динамик юкланишлар таъсири остидаги уч қатламли пластинка тебранишлари учун янги амалий масалалар қўйиш ва мос ҳисоб усулини ишлаб чиқиш. Ҳар хил чегаравий шартларда уч қатламли пластинканинг гармоник тебранишлари ва динамик юклар таъсиридаги мажбурий тебранишлари ҳақидаги хусусий масалаларни ечиш усулларини яратиш;

қовушоқ-эластик пластинка қатламлари геометрик ва физик-механик характеристикаларининг кўндаланг кесим ихтиёрий нуқтасидаги кучланган-деформацияланган ҳолатининг координата ва вақтдан боғлиқ қонуниятларига таъсирини тадқиқ қилиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида қурилиш ва замонавий техниканинг турли соҳаларида кўп қўлланиладиган қовушоқ-эластик уч қатламли пластинка олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** турли, вақтга боғлиқ ўзгарувчи юкланишлар таъсиридаги қовушоқ-эластик уч қатламли пластинка динамикасини ўрганиш ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида асосий тадқиқот усули сифатида ёрдамчи гипотеза ва аксиомалардан фойдланмасдан эластиклик назарияси уч ўлчовли масаласининг аниқ ечимларига асосланган усул, Фуре ва Лапласнинг интеграл алмаштиришлар усуллари, ҳамда математик физиканинг тадқиқотчилар томонидан кўп маротаба синалган бошқа аналитик ва сонли усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг кўндаланг тебранишлари учун, ташқи динамик (импульсли, сейсмик, зарба тўлкини) таъсирларни ҳисобга олувчи ҳамда аниқлаштирилган тебраниш тенгламалари ва пластинка нуқталари КДХ ни бир қийматли ҳисоблаш алгоритмларини ўз ичига олган янги математик модели ишлаб чиқилган;

пластинка қовушоқ-эластик қатламлари ихтиёрий кўндаланг кесимларидаги кучланишлар ва кўчишлар майдонларини фазовий координата ва вақт бўйича талаб этилган аниқликда ҳисоблаш самарали усули яратилган;

қовушоқ-эластиклик хусусиятли уч қатламли пластинка антисимметрик тебранишлари янги амалий масалалари қўйилган ҳамда унинг гармоник тебранишлари ва динамик юклар таъсиридаги мажбурий тебранишлари ҳақидаги хусусий масалалар ечилган;

қовушоқ-эластик пластинка қатламлари геометрик ва физик-механик характеристикаларининг кўндаланг кесим ихтиёрий нуқтасидаги кучланиш тензори ва кўчиш вектори компоненталарининг координата ва вақтдан боғланиш қонуниятларига таъсири қатор амалий масалалар мисолида тадқиқ этилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

ташқи динамик таъсир остидаги уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг кўндаланг тебранишларини тадқиқ қилиш математик амалий модели таклиф этилди. Модель тебраниш тенгламаларини келтириб чиқариш ва КДХ ни бир қийматли аниқлаш алгоритминини ўз ичига олган;

ўрта қатлами эластик ва қовушоқ-эластик пластинка частоталарининг тўлқин сонидан боғлиқ ўзгариш қонуниятини ўрганиш натижалари, ҳамда четлари маҳкамланган уч қатламли пластинканинг ностационар кўндаланг тебранишлари амалий масаласининг ечими таклиф этилди;

пластинканинг ностационар кўндаланг тебранишларида унинг қатламлари кучланган-деформацияланган ҳолатини характерловчи параметрларнинг фазовий координата ва вақтдан боғлиқ графиклари олинди;

гармоник қонуният асосида ўзгарувчи ташқи импульсив таъсир остидаги уч қатламли пластинкалар динамикасини амалий математик пакетлар ёрдамида ҳисоблашга имкон берувчи сонли ҳисоб алгоритми қўлланилди.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Замоनावий қурилиш ва техниканинг амалий эҳтиёжлари замирида шаклланган масалаларнинг диссертация ишида олинган ечимлари, тадқиқотчилар томонидан жуда кўп марта боғланишдан ўтказилган ишончли, математик ва сонли, аниқ усулларни қўллаш натижасида олинган. Таклиф этилган тебранишлар тенгламалари ва уларнинг аналитик ҳамда сонли ечимларининг ишончлилиги систематик текширишлар, бошқа ўхшаш тадқиқотлар натижалари билан солиштириш, ҳамда хусусий ҳолда бир жинсли пластинка учун Кирхгофф ва R.D. Mindlin назариялари асосида олинган натижалар билан таққослаш орқали изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти уч қатламли қовушоқ-эластик пластинкалар

кўндаланг (антисимметрик) тебранишлари аниқлаштирилган тенгламаларини келтириб чиқариш методикасини ишлаб чиқиш ва ривожлантириш; импульсив юклар таъсири остидаги уч қатламли эластик ва қовушоқ-эластик пластинкаларнинг антисимметрик тебранишлари ҳақидаги янги амалий масалаларни ечиш ҳамда ишлаб чиқилган усулларни четлари турлича маҳкамланган пластинка ва хусусан икки қатламли ва бир жинсли пластинкалар учун умумлаштириш имконияти билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ташқи динамик юклар таъсири остидаги уч қатламли эластик ва қовушоқ-эластик пластинкаларнинг антисимметрик тебранишларида КДХ параметрларини аниқлаш амалий масалаларини ечиш учун аналитик-сонли алгоритмлар яратиш; олинган натижалар умумий ҳарактерга ега бўлиб уларни математик физиканинг шу турдаги масалалари учун умумлаштириш; хусусий ҳолларга, масалан икки қатламли ва бир жинсли пластинкаларнинг реологик, анизотропик ва бошқа хусусиятларини эътиборга олган ҳолда қўллаш мумкинлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларнинг жорий қилиниши.** Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг антисимметрик тебранишлари ҳақидаги амалий масалалар бўйича олинган натижалар асосида:

икки бетон юк кўтарувчи ва енгил тўлдирувчи қатламлардан иборат уч қатламли пластинканинг, пластинка текислигига тик йўналишдаги энг катта кучланишлар таъсир қилиш нуқталарини аниқлаш методикаси «Мунис Строй Сервис» МЧЖ да пластинка-плитани шундай нуқталарда кўшимча арматуралар билан мустаҳкамлаш жараёнига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси «Ўзсаноатқурилишматериаллари» Уюшмасининг 2020 йил 16 ноябрдаги 05/15-3593-сон маълумотномаси). Натижада пластинканинг бетон қатламларини тайёрлашга сарфланадиган бетон сарфи 15-17% га тежалди;

энг катта кучланишлар таъсир қилаётган нуқталардаги максимал эгилишларни ҳисоблаш «Мунис Строй Сервис» МЧЖ да уч қатламли пластинканинг шундай нуқталаридаги деформацияланган ҳолатини баҳолаш жараёнига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси «Ўзсаноатқурилишматериаллари» Уюшмасининг 2020 йил 16 ноябрдаги 05/15-3593-сон маълумотномаси). Натижада бундай нуқталардаги эгилишни камайтириш ҳисобидан пластинка-плитанинг юк кўтариш қобилияти 10-12% га ошган;

устиворлик шартларини сақлаган ҳолда, уч қатламли пластинканинг устиворлигини маълум критериялари бўйича баҳолаш «Univer Pro Stile» МЧЖда пластинка кесимларидаги нормал  $\sigma_{zz}$  кучланишлар майдонини аниқлаш жараёнига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси «Ўзсаноатқурилишматериаллари» Уюшмасининг 2020 йил 16 ноябрдаги 05/15-3593-сон маълумотномаси). Натижада сарф қилинадиган материаллар 7-9% гача миқдорда тежалган;

уч қатламли эластик пластинка юк кўтарувчи ва тўлдирувчи қатламларининг ишлаш хусусиятлари ҳисобга олинган аниқлаштирилган ҳисоб модели

«Univer Pro Stile» МЧЖ да лойиҳалаш ишларида пластинка қатламларидаги зўриқишлар ва моментларни аниқлаш жараёнига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси «Ўзсаноатқурилишматериаллари» Уюшмасининг 2020 йил 16 ноябрдаги 05/15-3593-сон маълумотномаси). Натижада қатламлилиқ пластинканинг эгилишга қарши яхшироқ ишлашини таъминлаши аниқланган ва уни ҳисобга олиш конструкциянинг юк кўтариш қобилиятини 10-12% оширишга олиб келган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 1 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган. Шунингдек, диссертация иши натижалари тўлиқ ҳажмда Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти қошидаги “Механика муаммолари” (т.ф.д., проф., академик М.Мирсаидов), Самарқанд архитектура-қурилиш институтининг бирлашган “Механика муаммолари” (т.ф.д., проф. К. Исмоилов) ҳамда Самарқанд давлат университети, Назарий ва амалий механика кафедрасининг (т.ф.д., проф. Х.Худойназаров) илмий семинарларида муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича жами 11 та илмий иш чоп этилган бўлиб, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 5 та илмий мақола (жумладан, 3 та республика, 2 та хорижий нашрларда) чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

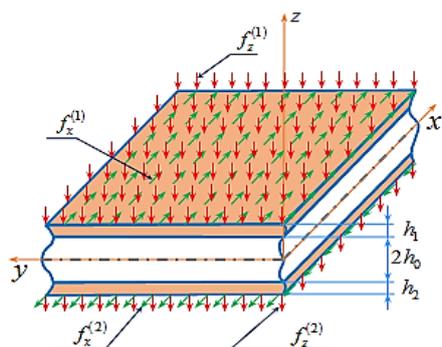
**Диссертация ишининг кириш қисмида** тадқиқот мавзусининг долзарблиги ва зарурати тўғрисида маълумотлар келтирилган, ишнинг мақсади, ҳал қилиниши керак бўлган асосий муаммолар баён қилинган, ҳимояга олиб чиқиладиган асосий илмий янгиликлари тавсифланган ва санаб ўтилган. Ишда олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти, диссертация натижалари маъруза қилинган конференция ва семинарлар сони ва даражалари келтирилган, ишнинг тузилиши ва ҳажми баён этилган.

Диссертациянинг **”Қатламли қовушоқ-эластик пластинкалар ностационар тебранишлари. Муаммонинг ҳозирги замон ҳолати”** деб номланган биринчи боби муҳандислик қурилмалари элементлари, хусусан қатламли стерженлар, пластинкалар ва қобиклар каби ҳамда юпқа деворли эластик жисмлар тебранишлари ва мувозанат ҳолатини ўрганишга бағишланган адабиётларнинг умумий шарҳига, диссертация иши доирасида олиб бориладиган кейинги тадқиқотлар учун умумий дастурни ишлаб чиқишга, ҳамда қовушоқ-эластик жисм учун асосий ҳаракат тенгламаларини танлашга бағишланган.

*Биринчи параграфда* диссертация иши мавзуси бўйича илмий мақолаларни ўрганиш натижасида кўп қатламли пластинка, қобиклар ва стерженлар динамикаси бўйича тадқиқотларнинг умумий шарҳи ёритилган. Бунда асосий эътибор муҳандислик қурилмаларининг кўп қатламли элементларига, хусусан икки ва уч қатламли пластинкалар тебранишлари берилган.

Бундан ташқари диссертация иши билан бевосита боғлиқ бўлган мақолалар билан биргаликда ўзбек олимларининг, хусусан академиклар Т.Р.Рашидов, Т.Ш.Ширинкулов, М.Мирсаидов ва профессорлар К.С.Султанов, Т.Мавлонов, А.Б.Ахмедов, Б.Мардонов, М.К.Усаров, Р.Абдукаримов ва бошқаларнинг ишлари ўрганиб чиқилган ва таҳлил қилинган.

Муҳандислик конструкциялари кўп қатламли элементлари тебранишларига оид катта миқдордаги адабиётлар манбалари таҳлил қилинди. Натижада, кўп қатламли муҳандислик элементлари назарияси кўплаб муаммолари хусусан, уч қатламли ва кўп қатламли пластинка ва қобиклар назариялари етарлича ривожланмаганлиги қайд этилди. Уч қатламли пластинкалар динамикасини ҳисоблаш усулларини янада ривожлантириш ва такомиллаштириш, шунингдек уларнинг ностационар тебранишларига тегишли амалий масалаларни ҳал қилиш керак деган хулосалар чиқарилди.



1-Расм Уч қатламли пластинка элементи ва унга қўйилган ташқи юклар

*Бобнинг иккинчи параграфи* диссертация иши доирасида тадқиқ қилинадиган уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг тебранишлари уч ўлчовли масаласининг асосий муносабатларига бағишланган. Ўлчамлари чексиз бўлган уч қатламли қовушоқ-эластик пластинкани умумий ҳолда уч ўлчовли фазода қараймиз. Пластинкани  $Oxyz$  тўғрибурчакли декарт координат системасига жойлаштирамиз (1-расм). Бунда  $Ox$  ва  $Oy$  ўқларни ўзаро перпендекуляр кўндаланг кесимларининг ўрта чизиклари бўйлаб йўналтирамиз,  $Oz$  – ўқини эса юқорига,  $Oxy$  пластинка текислигига перпендикуляр йўналтирамиз. Пластинка қатламларини худди 1-расмдагидек рақамлаб чиқамиз, яъни юқори юк кўтарувчи қатламни биринчи қатлам деб, қуйи юк кўтарувчи қатламни – иккинчи, ўрта қатламни ёки тўлдирувчини эса нолинчи қатлам деб атаймиз.

Қатламлар қалинликларини мос равишда  $h_1$ ,  $2h_0$  ва  $h_2$  лар орқали; қатламлар материаллари Ламе коэффициентларини -  $\lambda_m, \mu_m$  лар орқали; қатламлар материалларининг зичликларини -  $\rho_m$  лар орқали белгилаймиз. Шунингдек қатламлар ( $m = 0,1,2$ ) нуқталарининг координат ўқлари бўйлаб кўчишларини  $U_m(x, y, z, t)$ ,  $V_m(x, y, z, t)$ ,  $W_m(x, y, z, t)$  лар орқали белгилаймиз. Қатламлар нуқталарининг кучланишлар ва деформациялар тензорлари компоненталари учун қуйидаги умумқабул қилинган белгилашларни ишлатамиз:  $\sigma_{ii}^{(m)}$  – нормаль

кучланишлар;  $\tau_{ij}^{(m)}$  – уринма кучланишлар;  $\varepsilon_{ii}^{(m)}$  – чўзилиш деформациялари;  $\gamma_{ij}^{(m)}$  – бурчак деформациялари;  $\varepsilon^{(m)} = \varepsilon_{xx}^{(m)} + \varepsilon_{yy}^{(m)} + \varepsilon_{zz}^{(m)}$  – хажмий деформация;  $i, j = x, y, z$ . Қатламлар материалларининг қовушоқ-эластиклик хоссалари қуйидаги интеграл операторлар билан ҳисобга олинади:

$$R_{(\lambda, \mu)_m}(\zeta) = (\lambda_m, \mu_m) \left[ \zeta(t) - \int_0^t K_{(\lambda, \mu)_m}(t - \tau) \zeta(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

бу ерда  $K_{\lambda_m}(\tau)$ ,  $K_{\mu_m}(\tau)$  –  $R_{\lambda_m}$  ва  $R_{\mu_m}$  қовушоқ-эластиклик операторларининг қатламлар материаллари хоссаларига боғлиқ бўлган ядролари ( $m = 0, 1, 2$ ). Бунда  $R_{\lambda_m}$  ва  $R_{\mu_m}$  ( $m = 0, 1, 2$ ) – қайтар (обратимый) операторлар,  $K_{\lambda_m}(\xi)$  ва  $K_{\mu_m}(\xi)$  ядролар эса – ихтиёрий. Пластинка қатламлари нуқталарида кучланишларнинг деформациялардан боғлиқлиги қуйидаги Больцман интеграл муносабатлари кўринишидаги чизиқли операторлар орқали ифодаланади:

$$\sigma_{ii}^{(m)} = R_{\lambda_m}(\varepsilon^{(m)}) + 2R_{\mu_m}(\varepsilon_{ii}^{(m)}); \quad \tau_{ij}^{(m)} = R_{\mu_m}(\gamma_{ij}^{(m)}); \quad (i, j = 1, 2, 3; i \neq j), \quad (2)$$

$$\varepsilon^{(m)} = \varepsilon_{11}^{(m)} + \varepsilon_{22}^{(m)} + \varepsilon_{33}^{(m)}; \quad (m = 0, 1, 2).$$

Пластинка нуқталарининг ҳаракат тенгламалари қатламлар кўчиш  $\vec{v}^{(m)}$  векторларини скаляр  $\varphi_m$  ва вектор  $\vec{\psi}_m$  потенциаллар орқали ифодалаб қуйидаги интегро-дифференциал тенгламаларга келтирилган

$$R_m(\Delta \varphi_m) = \rho_m \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial t^2}, \quad R_{\mu_m}(\Delta \vec{\psi}_m) = \rho_m \frac{\partial^2 \vec{\psi}_m}{\partial t^2}, \quad (3)$$

$$R_m = R_{\lambda_m} + 2R_{\mu_m}, \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (m = 0, 1, 2).$$

Киритилган скаляр ва вектор потенциаллар орқали кўчиш векторлари, кучланиш ва деформация тензорларининг ҳамма компоненталари ифодаланган формулалар олинган.

Вақтнинг  $t < 0$  бўлган қийматларида пластинка тинч (мувозанат) ҳолатда бўлади,  $t = 0$  вақт momentiда юк кўтарувчи қатламларнинг ташқи текисликларига динамик кучлар таъсир этиб бошлайди деб фараз қилинади. Бошқача айтганда чегаравий шартлар қуйидаги кўринишда берилган деб ҳисобланади

$$\tau_{xz}^{(i)}(x, y, z, t) \Big|_{z=\pm h_i^*} = \pm F_{xz}^{(i)}(x, y, t); \quad \tau_{yz}^{(i)}(x, y, z, t) \Big|_{z=h_i^*} = \pm F_{yz}^{(i)}(x, y, t);$$

$$\sigma_{zz}^{(i)}(x, y, z, t) \Big|_{z=\pm h_i^*} = \pm F_z^{(i)}(x, y, t), \quad (i = 1, 2). \quad (4)$$

Бошланғич шартлар нол, яъни  $t = 0$  пайтда

$$\varphi_m = \psi_{km} = \frac{\partial \varphi_m}{\partial t} = \frac{\partial \psi_{km}}{\partial t} = 0, \quad (m = 0, 1, 2). \quad (5)$$

Чегаравий (4) ва бошланғич (5) шартлардан ташқари, тўлдирувчи қатламнинг юк кўтарувчи қатламлар билан қуйи ва юқори контакт текисликларида динамик ва кинематик контакт шартлар қўйилган. Қўйилган масалани ечиш учун потенциал функцияларга интеграл алмаштиришлар қўлланилган ва потенциал функцияларнинг тасвирлари учун Бессел функциялари системаси олинган. Кўчиш векторлари, кучланиш ва

деформация тензорларининг барча компоненталари бу тенгламаларнинг умумий ечимлари орқали ифодаланган.

Биринчи бобнинг учинчи параграфида уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг кўндаланг (антисимметрик) тебранишлари ҳақидаги масала қўйилган ва унинг ечими берилган. Масаланинг умумий ечимдаги номаълумлар сонини камайтириш ва у билан боғлиқ математик муаммолар даражасини пасайтириш учун, ҳамда пластинка ўлчамларининг чегараланмаганлигидан фойдаланиб уни текис деформация ҳолатида деб ҳисоблаймиз. Текис деформацияда пластинка қатламлари нуқталарининг кўчиш векторларини қуйидагича тасвирлаймиз:

$$\vec{U}^m = U_m \vec{i} + W_m \vec{k}; \quad U_m = U_m(x, z, t); \quad W_m = W_m(x, z, t),$$

бу ерда  $\vec{i}$ ,  $\vec{k}$  – киритилган координат системасининг базис векторлари. Потенциал функцияларини

$$\varphi_m = \varphi_m(x, z, t), \quad \vec{\psi}_m = \psi_m(x, z, t) \vec{j}$$

каби киритамиз, бу ерда  $\vec{j}$  –  $Oz$  ўқининг бирлик вектори. У ҳолда (3) нинг иккинчи вектор тенгламаси  $\psi_m(x, z, t)$  ларга нисбатан учта скаляр тенгламаларга ўтади ва натижада  $\varphi_m$  ва  $\psi_m$  ларга нисбатан олти тўлқин тенгламаларига ўтади ва Лаплас оператори қуйидаги кўринишни олади  $\Delta = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial z^2$ . Кўчишлар векторларининг ҳамда деформациялар ва кучланишлар тензорларининг компоненталарини киритилган потенциал функциялар орқали ифодалаш қийин эмас. Масалан

$$U_m = \frac{\partial \varphi_m}{\partial x} - \frac{\partial \psi_m}{\partial z}; \quad W_m = \frac{\partial \varphi_m}{\partial z} + \frac{\partial \psi_m}{\partial x}, \quad (m = 0, 1, 2). \quad (6)$$

Қовушоқ-эластиклик назариясининг чизиқлилигидан ташқи таъсирларни умумий кўринишда тасвирлаш мумкин. У ҳолда, унга мос равишда кўчишларни ҳам бўйлама ва кўндаланг қисмларининг йиғиндиси сифатида тасвирлаш мумкин бўлади, яъни  $\vec{U}_m = \vec{U}_m^\sigma + \vec{U}_m^\kappa$ . Бу ерда  $\vec{U}_m^\sigma$ ,  $\vec{U}_m^\kappa$  - лар пластинка қатламлари нуқталари кўчишларининг, мос равишда бўйлама ва кўндаланг қисмлари. Бундай ҳолда  $\vec{U}_m$  - йиғинди майдонлар (4) чегаравий шартларни қаноатлантирадилар. Йиғинди майдонларнинг антисимметрик қисмлари эса қуйидаги шартларни қаноатлантиришлари лозим, яъни бу ҳолда (4) чегаравий шартлар қуйидаги шаклни олишлари керак

$$\begin{aligned} \tau_{xz}^{(i)}(x, z, t) \Big|_{z=(-1)^{i-1} h_i^*} &= f_x^i(x, t); & \sigma_{zz}^{(i)}(x, z, t) \Big|_{z=(-1)^{i-1} h_i^*} &= (-1)^{i-1} f_z^i(x, t); \\ \tau_{yz}^{(i)}(x, z, t) \Big|_{z=(-1)^{i-1} h_i^*} &= 0; & h_i^* &= h_0 + h_i, \quad (i = 1, 2), \end{aligned} \quad (7)$$

бу ерда

$$f_x^{(1)}(x, t) = f_x^{(2)}(x, t) = \frac{1}{2} (F_{xz}^{(1)} - F_{xz}^{(2)}), \quad f_z^{(1)}(x, t) = -f_z^{(2)}(x, t) = \frac{1}{2} (F_z^{(1)} - F_z^{(2)}).$$

Бундан ташқари ўрта қатламнинг четки қатламлар билан контакт сиртларида қатламлар орасида узилишлар йўқ ва қатламлар бир-бирига

нисбатан силжмайди деб фараз қилинади. У ҳолда  $z = \pm h_0$  текисликларда қуйидаги динамик ва кинематик контакт шартлар қаноатлантирилиши керак

$$\sigma_{zz}^{(0)}(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} \sigma_{zz}^{(1)}(x, z, t) \Big|_{z=h_0} + f_z^{(1)}, \\ \sigma_{zz}^{(2)}(x, z, t) \Big|_{z=-h_0} - f_z^{(2)}, \end{cases} \quad \tau_{xz}^{(0)}(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} \tau_{xz}^{(1)}(x, z, t) \Big|_{z=h_0} + f_x^{(1)}, \\ \tau_{xz}^{(2)}(x, z, t) \Big|_{z=-h_0} + f_x^{(2)}, \end{cases} \quad (8)$$

$$\tau_{yz}^{(0)}(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = 0,$$

$$\text{ва} \quad U_0(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} U_1(x, z, t) \Big|_{z=h_0}, \\ U_2(x, z, t) \Big|_{z=-h_0}, \end{cases} \quad W_0(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} W_1(x, z, t) \Big|_{z=h_0}, \\ W_2(x, z, t) \Big|_{z=-h_0}. \end{cases} \quad (9)$$

Вақтнинг  $t = 0$  пайтида (3) тенгламалардаги потенциал функциялар учун бошланғич шартлар қуйидаги кўринишга эга бўладилар

$$\varphi_m = \psi_m = 0, \quad \frac{\partial \varphi_m}{\partial t} = \frac{\partial \psi_m}{\partial t} = 0. \quad (10)$$

Қўйилган масалани ечиш учун пластинка сиртларига қўйилган ташқи таъсир функциялари қуйидаги кўринишида тасвирланган

$$f_x^{(1,2)}(x, t) = \int_0^\infty \frac{\cos kx}{\sin kx} \Big\} dk \int_{(t)} \tilde{f}_x^{(1,2)}(k, p) e^{pt} dp, \quad f_z^{(1,2)}(x, t) = \int_0^\infty \frac{\sin kx}{-\cos kx} \Big\} dk \int_{(t)} \tilde{f}_z^{(1,2)}(k, p) e^{pt} dp. \quad (11)$$

Ташқи таъсир функцияларининг қабул қилинган тасвирларига мос равишда юқорида шакллантирилган масаланинг ечимини ҳам (11) кўринишда изланади. Потенциал функцияларнинг ушбу тасвирларини (3) тенгламалар системасига қўйиш, Бесселнинг дифференциал тенгламаларига олиб келади

$$\frac{d^2 \tilde{\varphi}_m}{dz^2} - \alpha_m^2 \tilde{\varphi}_m = 0; \quad \frac{d^2 \tilde{\psi}_m}{dz^2} - \beta_m^2 \tilde{\psi}_m = 0; \quad (m = 0, 1, 2), \quad (12)$$

бу ерда

$$\alpha_m^2 = k^2 + \rho_m p^2 \tilde{R}_m^{-1}, \quad \beta_m^2 = k^2 + \rho_m p^2 \tilde{R}_{\mu m}^{-1}, \quad \tilde{R}_m = (\lambda_m + 2\mu_m) [1 - \tilde{K}_{\lambda m}(p)],$$

$$\tilde{R}_{\mu m} = \mu_m [1 - \tilde{K}_{\mu m}(p)], \quad \tilde{K}_{im}(p) = \int_0^\infty K_{im}(\tau) e^{-p\tau} dt, \quad \arg \alpha = \arg \beta = 0, \quad p > 0. \quad (13)$$

Олинган (12) тенгламаларнинг умумий ечимлари гиперболик функциялар комбинациялари кўринишида олинган

$$\tilde{\varphi}_m(z, k, p) = A_1^{(m)}(k, p) ch(\alpha_m z) + A_2^{(m)}(k, p) sh(\alpha_m z);$$

$$\tilde{\psi}_m(z, k, p) = B_1^{(m)}(k, p) sh(\beta_m z) + B_2^{(m)}(k, p) ch(\beta_m z), \quad (m = 0, 1, 2). \quad (14)$$

Антисимметрик тебранишларни ташқи антисимметрик таъсирлар пайдо қилади. Шунинг учун  $f_x^{(1)}(x, t) = f_x^{(2)}(x, t)$ ,  $f_z^{(1)}(x, t) = -f_z^{(2)}(x, t)$ . Ушбу муносабатлар (14) ечимнинг антисимметрик тебранишларни тавсиф этишлари учун  $A_1^{(m)} = 0$ ,  $B_1^{(m)} = 0$ , ( $m = 0, 1, 2$ ) тенгликлар бажарилишини тақозо қилади. У ҳолда пластинканинг кўндаланг (антисимметрик) тебранишлари ҳолида (14) умумий ечимлар қуйидаги кўринишда бўлишлари зарур

$$\tilde{\varphi}_m(z, k, p) = A_2^{(m)}(k, p) sh(\alpha_m z), \quad \tilde{\psi}_m(z, k, p) = B_2^{(m)}(k, p) ch(\beta_m z). \quad (15)$$

$U_m$  ва  $W_m$  кўчишларни (15) ечимлар орқали ифодалаш учун улар ҳам (11) кўринишида тасвирланган ва улар (6) формулаларига қўйилиб

кўчишларнинг  $\tilde{U}_m$  ва  $\tilde{W}_m$  тасвирлари  $\tilde{\varphi}_m$  ва  $\tilde{\psi}_m$  лар орқали ифодаланган ва (15) ечимлар ёрдамида қуйидаги қийматлар ҳосил қилинган

$$\begin{aligned}\tilde{U}_m &= kA_m^{(2)} sh(\alpha_m z) - \beta_m B_m^{(2)} sh(\beta_m z); \\ \tilde{W}_m &= \alpha_m A_m^{(2)} ch(\alpha_m z) - k B_m^{(2)} ch(\beta_m z). \quad (m = 0, 1, 2)\end{aligned}\quad (16)$$

Диссертациянинг «Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинка ностационар кўндаланг тебренишлари» деб номланган иккинчи боби доирасида, уч қатламли қовушоқ-эластик, носимметрик структурали пластинканинг кўндаланг (антисимметрик) тебренишлари тенгламалари келтириб чиқарилади. Бунда чегаравий шартлар тўғри (пластинка ташқи сиртлари нукталаридаги кучланишларга нисбатан) шакллантирилган ҳолда, эслатилган аниқ ечимлар методидан қовушоқ-эластиклик назарияси текис масаласи доирасида фойдаланилган.

Бобнинг *биринчи параграфи* интеграл алмаштиришларда ўрта қатлам нукталари кўчишларининг бош қисмларини интеграллаш ўзгармаслари орқали ифодалашга бағишланган. Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг тебрениш тенгламаларида изланувчи функциялар сифатида ўрта қатлам шундай сиртининг алмашган (тасвир)  $\tilde{U}_0$  ва  $\tilde{W}_0$  кўчишларининг бош қисмлари қабул қилинадикки, бу сирт пластинканинг  $z = 0$  текислигидан  $\xi = \chi \cdot h_0$ , ( $-1 \leq \chi \leq 1$ ) масофада ётади. Ушбу бош қисмларни ўрта қатлам нукталари учун киритиш учун (16) формулаларни  $m = 0$  бўлган ҳолда даражали қаторларга ёйилган ва уларда  $z = \xi$ ,  $n = 0$  қийматлар билан чегараланилган. Ушбулар  $\tilde{U}_0$  ва  $\tilde{W}_0$  ларнинг бош қисмларини ажратишга ҳамда интеграллаш алмаштиришларини улар орқали топаишга имкон берган

$$\alpha_0 A_0^{(2)} = \frac{k W_0^{(0)} - \frac{1}{\xi} \tilde{U}_0^{(0)}}{\beta_0^2 - k^2}, \quad B_0^{(2)} = \frac{\beta_0^2 \tilde{W}_0^{(0)} - \frac{k}{\xi} \tilde{U}_0^{(0)}}{\beta_0^2 - k^2}, \quad (17)$$

бу ерда  $W_0^{(0)}, \tilde{U}_0^{(0)}$  тасвир кўчишларнинг бош қисмлари.

Бобнинг *иккинчи параграфи* юк кўтарувчи қатламлар интеграллаш ўзгармасларини ташқи таъсир функциялари тасвирлари орқали ифодалашга бағишланган. Ҳамма  $A_1^{(2)}, B_1^{(2)}, A_2^{(2)}, B_2^{(2)}$  коэффициентлар ташқи таъсир функциялари орқали ифодаланган.

Бобнинг *учинчи параграфи* уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг кўндаланг тебренишлари тенгламаларини келтириб чиқаришга бағишланган. Олинган тенгламалар системаси ўрта қатлам нукталари кўчишларининг  $W_0^{(0)}(x, t), U_0^{(0)}(x, t)$  бош қисмлари орқали ифодаланган. Улар хусусий ҳосилали, гиперболик типдаги тенгламалардан иборат. Натижалардан кўринадики тенгламалар ўз таркибларида айланиш инерцияси ва кўндаланг силжиш деформациясини ҳисобга олувчи ҳадларга эга. Шу маънода, солиштирма таҳлил натижаларига кўра олинган натижалар С.П.Тимошенконинг аниқлаштирилган тебрениш тенгламаларига нисбатан умумийроқдир. Бу ерда яна шуни ҳам алоҳида таъкидлаш лозимки, охирги натижавий тенгламалар, классик Кирхгофф ҳамда аниқлаштирилган Тимошенко

типидаги тенгламалардан фарқли равишда, кўшимча гипотеза ва фаразлардан фойдаланилмасдан, ҳамда сунъий тўғрилаш коэффициентларини киритмасдан келтириб чиқарилган.

*Тўртинчи параграфда* Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинка тебраниш тенгламаларининг баъзи хусусий ҳоллари ва олинган натижаларнинг бошқа авторлар натижалари билан солиштириш таҳлили баён қилинган. Хусусан, келтириб чиқарилган қовушоқ-эластик пластинка тенгламасидан эластик пластинка учун антисимметрик тебранишлар тенгламалари, икки қатламли ва бир қатламли (бир жинсли) қовушоқ-эластик ва эластик пластинкалар тенгламалари олинган. Бир қатламли қовушоқ-эластик пластинка тенгламалари проф. И.Г.Филипповнинг шундай, лекин масалани фазовий кўйилишидан келиб чиққан тенгламалари билан солиштирилган. Таклиф этилаётган тенгламалар муҳандислик нуқтаи назаридан амалий масалаларни ечишда қулайроқ ва осонроқ эканлиги кўрсатилган. Бир қатламли эластик пластинка тенгламалари проф. Г.И.Петрашеннинг шундай тенгламалари билан солиштирилган. Бу тенгламаларнинг бир-биридан фақат баъзи коэффициентлари билан фарқ қилишлари кўрсатилган.

*Бешинчи параграфда* уч қатламли қовушоқ-эластик пластинка нуқталаридаги кучланган-деформацияланган ҳолатни аниқлаш алгоритми ишлаб чиқилган. Ушбу алгоритм ҳар бир қатламдаги кучланиш тензорининг  $\sigma_{xx}^{(m)}$ ,  $\sigma_{zz}^{(m)}$ ,  $\tau_{xz}^{(m)}$ , ( $m = 0,1,2$ ) компоненталарини, ҳамда кўчиш векторларининг  $U_m$ ,  $W_m$ , ( $m = 0,1,2$ ) тузувчиларини келтириб чиқарилган тебраниш тенгламаларнинг изланувчи функциялари бўлган  $U_0^{(0)}$  ва  $W_0^{(0)}$  лар орқали ифодалашдан иборатдир. Олинган натижалар исталган қатлам ихтиёрий нуқтасидаги кучланган-деформацияланган ҳолатини фазовий координата ва вақт бўйича олдиндан белгиланган аниқликда бир қийматли аниқлай олади.

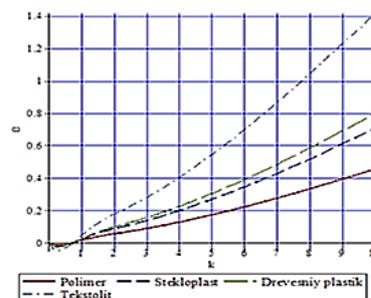
Диссертациянинг «**Уч қатламли қовушоқ-эластик ва эластик пластинкаларнинг антисимметрик тебранишлари амалий масалалари**» деб номланган учинчи боби доирасида уч қатламли пластинка кўндаланг тебранишлари амалий масалаларини шакллантиришда зарур бўладиган чегаравий ва туташлик шартлари, пластинкага қўйилган ташқи кучлар, қатламлар орасидаги контактларнинг характери ҳамда пластинка четларининг маҳкамланиш турларидан боғлиқ равишда баён қилинган. Уч қатламли пластинкада гармоник тебранишларнинг тарқалиш хусусиятлари ва четлари турлича маҳкамланган пластинкаларнинг ташқи кучлар таъсиридаги динамик деформацияланиши ҳақидаги масалалар қўйилган ва ечилган.

*Бобнинг биринчи параграфи* доирасида диссертация ишида қаралиши керак бўлган масалаларда чегаравий ва туташлик шартларни шакллантириш муаммоси тадқиқ этилган. Турли хил туташлик шартларининг қўйилишига қараб масаланинг характери ўзгаради. Хусусан қатламларнинг туташлик сиртлари бир-бири билан таъсирлашуви бикр, сирпанувчи ёки идеал бўлиши мумкин. Ана шулардан келиб чиққан ҳолда қуйидаги бошланғич-чегаравий

шартлар шакллантирилган: а) пластинка ташқи сиртларидаги чегаравий ва нолга тенг бошланғич шартлар берилганда; б) Қатламлар орасидаги туташлик (*бикр, сирпанувчи ва идеал*) нолга тенг бошланғич шартлар берилганда; в) пластинка четларидаги чегаравий шартлар (*пластинка учлари бикр маҳкамланган, шарнирли ва эркин таянган ҳоллар*) берилганда.

*Бобнинг иккинчи параграфида* уч қатламли эластик пластинканинг антисимметрик гармоник тебранишлари ҳақидаги масалани бундан олдинги бобда келтириб чиқарилган тебраниш тенгламалари асосида «Maple 17» амалий программалар пакети ёрдамида сонли ечилган. Қуйидаги 2-расмда қалинликлари  $h_1 = h_2 = 0,001$  бўлган пўдат юк кўтарувчи қатламлар ва қалинлиги  $h_0 = 0,03$  га тенг бўлган турли ўрта қатламлар (полимер, стеклопластик, ёғоч пластик, текстолит) учун частота ва тўлқин сони ўртасидаги боғлаишлар тақ-дим этилган. Натижалар асосида тегишли хулосалар чиқарилган. Масалан чизмадан текстолитнинг тебраниш частоталари бошқа материалларникига нисбатан 1,5 дан 3,5 мартагача катта эканлиги кўринади. Олинган сонли натижалар қуйидагича хулосалар чиқаришга имкон беради:

а) диссертация ишида ишлаб чиқилган тебраниш тенгламалари ва кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатни аниқлаш учун формулалар уч қатламли пластинка антисимметрик тебранишлари частоталарини аниқлаш имконини беради. Тақдим этилган модель асосида бажарилган частотавий таҳлил минимал ҳисоб ресурсларини талаб этади; б) ўрта қатлам қалинлиги қандай қийматга эга бўлишидан қатъий назар частотанинг тўлқин сонидан боғлиқлигини тўғри пропорционал деб ҳисоблаш мумкин; в) тўлқин сонининг фиксирланган қийматида, ўрта қатлам қалинлигининг ошиши тебранишлар частотасининг ўсишига олиб келади.



2-Расм.  $h_1 = h_2 = 0,001$  ва  $h_0 = 0,03$  ларда  $\omega \sim k$  боғланишлар. Юк кўтарувчи қатламлар-пўдат, ўрта қатлам-ҳар хил (полимер, стеклопластик, ёғоч пластик, текстолит).

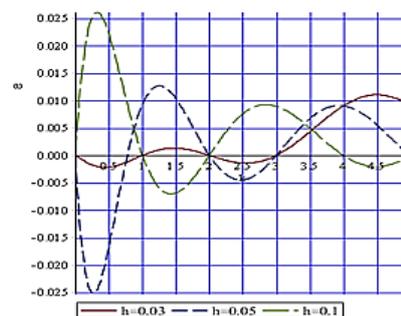
Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинка антисимметрик тебранишларининг частотавий таҳлили *бобнинг учинчи параграфида* қаралган. Пластинканинг юк кўтарувчи четки қатламлари эластик материалдан, ўрта қатлами эса қовушоқ-эластик материалдан бўлган ҳолатлар таҳлил қилинган. Бунда қовушоқлик ядроси регуляр ва у қуйидаги кўринишда берилган:

$$K_0(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_n}{\tau_n} e^{-\frac{t}{\tau_n}}, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n = 1,$$

$\alpha_n$  –қовушоқ-эластиклик параметрлари;  $\tau_n$  –релаксация вақтлари. Олинган частота тенгламалари «Maple 17» амалий программалар пакети ёрдамида сонли ечилган. Натижалар частота ва тўлқин сони орасидаги боғланишлар графиклари кўринишида тақдим этилган. Қуйидаги 3-расмда қалинликлари  $h_1 = h_2 = 0,001$  бўлган юк кўтарувчи қатламлар алюминий ва қалинликлари турлича бўлган ўрта қовушоқ-эластик қатламлар учун частота

ва тўлқин сони орасидаги боғланишлар графиклари тасвирланган. Ўтказилган сонли таҳлил асосида тегишли хулосалар чиқарилган:

а) қовушоқ-эластиклик ҳисобга олинган ҳолда ҳам таклиф этилган модель асосида бажарилган частотавий таҳлил катта ҳисоб ресурсларини талаб этмайди; б) қовушоқ-эластик ўрта қатлам қалинликларининг турли қийматларида  $\omega \sim k$  боғланиш турлича характерга эга. Хусусан, тўлқин сонининг фиксирланган қийматларида пластинка ўрта қатлами қалинлигининг ошиб бориши, ҳар учта қатлам ҳам эластик бўлган ҳолдан фарқли ўларок, тебранишлар частотасининг ўсишига олиб келмайди; в) ўрта қатлам қовушоқ-эластик бўлган ҳолда, тўлқин сони қийматларининг бутун спектри учун  $\omega \sim k$  боғланиш пропорционаллик характерига эга эмас.



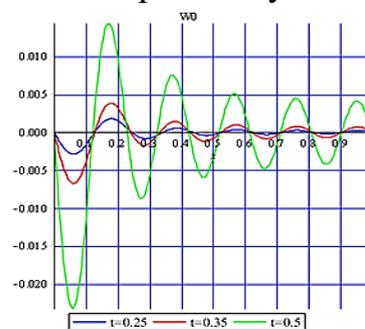
3-Расм.  $h_1 = h_2 = 0,001$  ва ҳар хил  $h_0$  ларда  $\omega \sim k$  боғланишлар. Юк кўтарувчи қатламлар-алюминий, ўрта қатлам қовушоқ-эластик жисм.

Ташқи динамик куч таъсири остидаги четлари шарнирли таянган уч қатламли пластинканинг антисимметрик деформацияланиши ҳақидаги масала *бобнинг тўртинчи параграфида* ечилган. Масаланинг ечими изланувчи функциялар ва ташқи таъсир функциялари учун қуйидаги алмаштиришлар воситасида изланган

$$W_0^{(0)} = \sum_{k=1}^{\infty} W_0^k(t) \sin \frac{k\pi x}{l}, \quad U_0^{(0)} = \sum_{k=1}^{\infty} U_0^k(t) \cos \frac{k\pi x}{l}, \quad f_z^{(1)} = \sum_{k=1}^{\infty} f_{zk}^{(1)}(t) \sin \frac{k\pi x}{l}.$$

Ҳисоблашлар пластинканинг юк ташувчи қатламларини пўлат ва алюминийдан, ўрта қатлам эса полимер материалдан иборат бўлган ҳол учун амалга оширилган. Пластинкага таъсир этувчи ташқи кучлар қийматлари  $f_{zk}^{(1)}(t) = -f_{zk}^{(2)}(t) = 5 \cdot 10^6$  Па.

Қуйида келтирилган 4-расмда вақтнинг турли қийматлари учун ташқи қатламлари текстолит, ўрта қатлами эса полимер моддадан иборат бўлган уч қатламли пластинка ўрта қатлами нуталарининг кўндаланг кўчишлари нинг бўйлама координатадан боғланишлари графиклари тасвирланган. Тақдим этилган сонли натижалар кўрсатадики, қатламлар материаллари эластик бўлишига қарамасдан кўндаланг кўчишлар бўйлама координата ўсиб бориши билан сўнувчи характерга эга яъни, четки қатламлар ўрта қатлам нуқталарининг кўчишлари учун сўндирувчи вазифасини ўтайдилар.



4-Расм. Вақтнинг  $t=0,25; 0,35; 0,5$  пайтлари учун ташқи қатламлари текстолит, ўрта қатлами полимер бўлган уч қатламли пластинка ўрта қатлами нуқталарининг кўндаланг  $W_0$  кўчишлари графиклари

Шунингдек, ушбу параграф доирасида антисимметрик тебранишларда қатламлар кесимларида вужудга келадиган ҳамма кучланишларнинг вақтнинг фиксирланган қийматларида координатадан боғланишлари таҳлил қилинган.

## ХУЛОСА

«Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинканинг антисимметрик тебранишлари» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича ўтказилган тадқиқотлар натижалари қуйидагича асосий хулосалар қилишга имкон беради:

1. Ташқи динамик юклар таъсиридаги уч қатламли қовушоқ-эластик пластинка антисимметрик тебранишлари ҳақидаги амалий масалаларни ечиш учун яроқли, масаланинг қўйилиши, тебранишлар тенгламаларини ишлаб чиқиш ва КДХнинг ҳисоб алгоритмини яратишни ўз ичига олган самарали математик модель ва ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилди;

2. Уч қатламли қовушоқ-эластик носимметрик структурали пластинканинг, соддалаштирувчи фараз ва гипотезалардан фойдаланмасдан келтириб чиқарилган антисимметрик тебранишлари умумий тенгламаларидан, хусусий ҳолда, муҳандислик амалиёти учун яроқли, С.П.Тимошенко типидagi аниқлаштирилган ҳамда тартиби иккидан катта бўлмаган классик типдаги тебраниш тенгламалари, шунингдек уч, икки ва бир қатламли эластик пластинкаларнинг, ҳамда икки ва бир қатламли қовушоқ-эластик пластинкаларнинг антисимметрик тебранишлари тенгламалари олинган;

3. Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинка антисимметрик тебранишлари тенгламалари ҳамда КДХ ҳисоби алгоритми асосида, умумий ҳолда турли табиатли ташқи динамик юклар таъсиридаги пластинкалар тебранишлари учун янги, бошланғич-чегаравий масалалар шакллантирилган;

4. Пластинка нуқталарининг кўндаланг кўчишлари билан бир қаторда бўйлама кўчишлари ҳам пайдо бўлади ва улар кўндаланг кўчишларга нисбатан деярли 10 барабар кам қийматга эгалар. Шунинг учун, уч қатламли пластинканинг антисимметрик тебранишларида бу кўчишларни ҳисобга олмаслик мумкин;

5. Пластинканинг ҳар уччала қатламлари материаллари эластик бўлган ҳолда тебранишлар частотасининг тўлқин сонидан боғлиқлигини тўғри пропорционал деб ҳисоблаш мумкин. Бунда тўлқин сонининг фиксирланган қийматида, ўрта қатлам қалинлигининг ошиши тебранишлар частотасининг ўсишига олиб келади.

6. Пластинканинг юк кўтарувчи қатламлари эластик ва ўрта қатлами қовушоқ-эластик бўлган ҳолда ўрта қатлам қалинликларининг турли қийматларида  $\omega \sim k$  боғланиш турлича характерга эга. Хусусан, тўлқин сонининг фиксирланган қийматларида пластинка ўрта қатлами қалинлигининг ошиб бориши, ҳар учта қатлам ҳам эластик бўлган ҳолдан фарқли ўлароқ, тебранишлар частотасининг ўсишига олиб келмайди ва тўлқин сони қийматларининг бутун спектри учун  $\omega \sim k$  (частота-тўлқин сони) боғланиш нозизиқли бўлиб, пропорционаллик характерига эга эмас;

7. Уч қатламли пластинканинг ўрта қатлами материали учун унинг қовушоқ-эластиклик хусусияти ҳисобга олинган ҳолда ҳам таклиф этилган модель асосида бажарилган частотавий таҳлил катта ҳисоб ресурсларини талаб этмайди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 ПРИ САМАРКАНДСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

**ЯХШИБОВ ШЕРЗОД РУСТАМКУЛОВИЧ**

**АНТИСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ВЯЗКО-  
УПРУГОЙ ПЛАСТИНКИ**

**01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**Диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам**

**Самарканд – 2021**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2019.4.PhD/FM444.**

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном архитектурно-строительном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.samdu.uz](http://www.samdu.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** **Худойназаров Хайрулла**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Абиров Рустам Абдуллаевич**  
доктор физика-математических наук, профессор

**Худаяров Бахтиёр Алимович**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** **Национальный Университет Узбекистана**

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании научного совета DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 при Самаркандском государственном университете по адресу: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел: (99866) 239-11-40;. Факс: (99866) 239-11-40; E-mail: [sasu\\_info@edu.uz](mailto:sasu_info@edu.uz).

С диссертацией (PhD) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета (регистрационный номер №\_\_). (Адрес: 140104, г.Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел: (99866) 239-11-40;. Факс: (99866) 239-11-40.)

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 года.  
(реестр протокола рассылки №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 года.)

**Р.И.Халмурадов**  
Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

**Х.М.Буранов**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
кандидат физика-математических наук, доцент

**К.Исмайилов**  
Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире большое внимание уделяется исследованию динамики многослойных элементов инженерных конструкций, используемых в различных областях строительства и техники, в том числе при создании новых моделей их динамического деформирования, близких к экспериментальным применение высокоэффективных математических моделей и современных численных методов занимает одно из ведущих мест. В мировом масштабе ряд развитых стран мира, таких как Япония, Великобритания, Франция, Израиль, США, Китайская Народная Республика и Российская Федерация, используют многослойные конструктивные элементы для повышения прочности инженерных сооружений за счет уменьшения их веса и эффективных методов расчета их динамических характеристик. Поэтому, созданные новые инженерные конструкции, отвечающие условиям долговечности и устойчивости за счет снижения веса конструкций, в соответствии с современными требованиями для инженеров и исследователей предусматривает внедрение их в производство. С этой точки зрения для совершенствования методов проектирования инженерного оборудования и развития с помощью компьютерных технологий в авиастроении, судостроении, машиностроении и строительстве, изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов, обеспечение прочности конструкций и использование методов систематизации считается.

В мире на сегодняшний день, по вышеперечисленным проблемам ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку новых научно-технических решений. Соответственно, проводятся многочисленные исследовательские работы по изучению нестационарных колебаний элементов слоистых конструкций, в том числе динамики трехслойных пластин под действием различных внешних нестационарных динамических нагрузок. Особое внимание уделяется совершенствованию существующих и созданию новых математических моделей и методик расчета задач по обеспечению надежности инженерных конструкций, в частности расчета трехслойных плит и элементов оболочки под действием динамических нагрузок. Созданию математических моделей различных колебательных процессов, более точное определение, а также численные исследования НДС конструктивных элементов аэрокосмических, надводных, подземных и других инженерных сооружений уделяется особое внимание.

В нашей Республике в различных областях техники и строительства по разработке и реализации мероприятий по созданию математической модели расчета деформации несущих элементов инженерных конструкций под действием динамических нагрузок разной природы осуществлены широкомасштабные работы и достигается некоторые результаты. В стратегиях действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы, поставлены важные задачи, включающие «... модернизацию производства, техническое и технологическое обновление, производство ....., ... постепенное

внедрение экономичных и эффективных современных технологий. . . ». При решении поставленных задач, в частности, для повышения несущей способности конструкций, в том числе с использованием трехслойных вязкоупругих пластин, одной из важных проблем разработана усовершенствованная математическая модель, описывающая процессы деформации элементов конструкций приобретает важное значение.

В некоторой степени данное диссертационное исследование служит для выполнения задач, поставленных в нормативных актах, относящихся к данной сфере деятельности, таких как Указ УП-4947 Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года , «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», от 9 августа 2017 года под номером ПП-3190, «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» от 27 апреля 2018 г. Под номером ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», указ президента от 2 февраля 2018 года под номером ПП -3502 «О мерах по обеспечению в 2018-2022 годах генеральными планами населенных пунктов, улучшению деятельности проектных организаций, а также повышению качества подготовки специалистов в сфере градостроительства» и в других нормативных актах в этой области.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Работа выполнена в рамках ПФИ-4 «Математика, механика и информатика» приоритетного направления развития науки и технологий республики.

**Степень изученности проблемы.** Многослойный композит, в том числе трехслойные пластины, широко используется в различных сферах нашей страны и за рубежом, таких как авиастроение, судостроение, военные работы, гражданское строительство. В большинстве случаев динамический расчет пластин выполняется на основе классической теории, основанной на гипотезах Кирхгофа. Однако классическая теория не позволяет полностью рассчитать компоненты НДС пластины. Поэтому многие ученые работали над усовершенствованием этой теории, которая продолжается и сегодня. Развитие классической теории слоистых конструкций производится известными учеными и исследователями, такими как, С.Г.Лехницкий, Е.Reysner, С.А.Амбарцумян, И.Г.Филиппов, Х.Алтенбах, Э.И.Григолюк, В.П.Шевченко, М.В.Фоменко, С.Г.Мирсаидов, Р.И.Халмурадов, Х.Х.Худойназаров, М.К.Усаров, А.Б.Ахмедов, Р.Абдукаримова и другие. Исследования по созданию динамических расчетов пластин и оболочек, или, другими словами, по разработке уточненных теорий колебания, относятся к двум основным направлениям. Первое- это разработка асимптотической теории и теорий типа Тимошенко и Рейсснера, а второе- это разработка теорий колебаний пластин, основанных на использовании точных решений трехмерной задачи теории упругости. Различные варианты последнего метода, пригодные для однородных и многослойных упругих и вязкоупругих пластин, были разрабо-

таны профессором И.Г.Филипповым и его учениками. С помощью указанного метода профессора Г.И.Петрашень и И.Г.Филиппов, а также ряд их учеников предложили теории колебаний однородных (однослойных) и слоистых упругих и вязкоупругих пластин. При разработке теорий, по мнению ряда экспертов, допущены несколько недостатков, в частности:

граничные условия сформулируются относительно главных частей перемещений срединных точек поверхности одного из внутренних слоев пластины. Такой подход не правилен, так как внешние нагрузки будут приложены к внешним поверхностям пластины;

в качестве неизвестных искомым принимаются главные части перемещений точек средней поверхности одного из внутренних слоев пластины (в случае трехслойной пластины за срединную поверхность принимается срединная поверхность слоя заполнителя). Количество этих главных частей должно быть пропорционально количеству перемещений и в общем случае не должно превышать шести. Но если граничные условия сформированы корректно, то есть если они записаны относительно главных частей перемещений внешних поверхностей пластины, то количество неизвестных равно двенадцати. Это, в свою очередь, приводит к увеличению количества дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений, используемых для их определения, и к ряду математических проблем, связанных с их решением. Этот факт признают и сами авторы.

применяемые подходы позволяют исследовать слоистые пластины симметричной структуры, относительно принятой срединной поверхности;

наконец, представленные факторы вынудили авторов использовать различные важные упрощения, в результате которых полученные уравнения колебаний сводились к уравнениям, мало отличающимся от уравнений колебаний однородной пластины.

Исходя из вышеизложенных соображений, можно отметить, что на сегодняшний день недостаточно изучены проблемы разработки методов и алгоритмов решения задач нестационарных колебаний и устойчивости слоистых элементов, в частности, трехслойных вязкоупругих пластин под действием различных внешних динамических нагрузок.

**Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Самаркандского государственного архитектурно-строительного института «Теоретическое и практическое изучение неоднородных, нелинейных, вязкоупругих свойств динамики, сейсмостойкости и устойчивости строительных конструкций с учетом влияния окружающей среды» (2000-2020 гг.).

**Целью исследования** является разработка математической модели динамического расчета нестационарных поперечных колебаний трехслойной вязкоупругой пластины с учетом влияния внешних динамических нагрузок; создание алгоритма определения напряженно-деформированного состояния в точках произвольного сечения пластины; применение разработанной методики для расчета трехслойных пластин при воздействии внешних нагрузок.

### **Задачи исследования:**

разработка математической модели динамического расчета нестационарных поперечных колебаний трехслойной вязкоупругой пластины с учетом воздействия внешних динамических нагрузок;

разработка алгоритма определения напряженно-деформированного состояния точек произвольного сечения трехслойной вязкоупругой пластины;

постановка новых практических задач колебаний трехслойной пластины под действием динамических нагрузок и разработка соответствующей методики расчета; разработка методов решения задач гармонических колебаниях трехслойной пластины и вынужденных колебаниях под действием динамических нагрузок;

изучение влияния геометрических и физико-механических характеристик слоев вязкоупругой пластины на законы зависимости от координат и времени компонент тензора напряжений и вектора перемещений в любой точке поперечного сечения.

**Объект исследования** вязкоупругая трехслойная пластинка.

**Предмет исследования** исследование динамики вязкоупругой трехслойной пластины под действием различных переменных во времени нагрузок.

**Методы исследования.** В процессе исследования в качестве основного метода исследования использовался метод, основанный на точных решениях трехмерной задачи теории упругости без использования вспомогательных гипотез и предположений, методы интегрального преобразования Фурье и Лапласа, а также другие аналитические и численные методы.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

создана математическая модель нестационарных поперечных колебаний трехслойной вязкоупругой пластины с учетом действия внешних динамических нагрузок;

разработан эффективный алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния точек произвольного сечения трехслойной вязкоупругой пластины с требуемой точностью по пространственным координатам и времени;

поставлены новые прикладные задачи колебаний трехслойной пластины под действием динамических нагрузок, а также созданы методы решения конкретных задач о гармонических колебаниях и вынужденных колебаниях под действием динамических нагрузок трехслойной пластины при заданных граничных условиях;

на примере решения прикладной задачи изучено влияние геометрических и физико-механических характеристик слоев вязкоупругой пластины на законы координатной и временной зависимости компонент тензора напряжений и вектора перемещений в точках поперечного сечения.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

предложена прикладная математическая модель для исследования поперечных колебаний трехслойных вязкоупругих пластин под действием динамических нагрузок. Модель включает в себе вывод уравнений колебаний и алгоритм однозначного определения НДС пластинки;

предложены результаты определения закономерностей зависимости частоты свободных колебаний пластинки от волнового числа, а также решение прикладной задачи о нестационарных поперечных колебаниях трехслойной пластины;

получены закономерности изменения параметров, характеризующих напряженно-деформированное состояние произвольных точек слоев трехслойной пластины при нестационарных поперечных ее колебаниях под действием динамической, в частности импульсной, нагрузки в зависимости от пространственных координат и времени;

применен численный вычислительный алгоритм, позволяющий с использованием прикладных математических пакетов, рассчитывать динамику трехслойных пластин, под воздействием сил внешнего воздействия динамического характера, в частности, под воздействием переменного внешнего импульса, изменяющихся на основе гармонических законов.

**Достоверность результатов исследования.** Полученные в работе решения задач, сформированных на основе практических потребностей современного строительства и техники, являются результатом использования математических и численных, точных методов. Достоверность предложенных уравнений колебаний и их аналитических и численных решений подтверждаются систематическими проверками, сравнениями с результатами других аналогичных исследований, и, в частности, для однородной пластины, с результатами, полученными на основе теорий Кирхгоффа и R.D. Mindlina.

**Научная и практическая значимости результатов исследования.**

*Научная значимость результатов исследования объясняется разработкой и развитием метода вывода уточненных уравнений поперечных (антисимметричных) колебаний трехслойных вязкоупругих пластин, решения новых практических задач антисимметричных колебаний трехслойных упругих и вязкоупругих пластин под действием импульсных нагрузок и возможностью обобщения разработанных методов для пластин с различными условиями закрепления краев, в частности для двухслойных и однородных пластин.*

*Практическая значимость результатов исследований объясняется разработкой аналитико-численных алгоритмов решения практических задач определения параметров НДС при антисимметричных колебаниях трехслойных упругих и вязкоупругих пластин под действием внешних динамических нагрузок; обобщением полученных результатов, носящих общий характер на аналогичные задачи математической физики; применением к частным случаям расчета слоистых пластин, например, с учетом реологических, анизотропных и других свойств двухслойных и однородных пластин.*

**Реализация результатов.** На основе полученных результатов по прикладным задачам об антисимметричных колебаниях вязкоупругой трехслойной пластинки:

в ООО «Мунис Строй Сервис» в процессе усиления пластинки-плиты дополнительным армированием, внедрена методика определения точек действия максимального напряжения, перпендикулярного плоскости трехслойной пластины, состоящей из двух бетонных несущих и легкого заполняющего слоев (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» Республики

Узбекистан от 16 ноября 2020 г. № 05/15-3593). В результате объем расходуемого бетона для приготовления бетонных слоев пластины была сэкономлена на 15-17%;

расчет максимальных изгибов в точках воздействия максимальных напряжений внедрен в процесс оценки деформированного состояния трехслойной пластинки в ООО «Мунис Строй Сервис» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» Республики Узбекистан от 16 ноября 2020 г. № 05/15-3593). В результате за счет уменьшения изгиба в таких точках несущая способность пластины-плиты увеличилась на 10-12% в таких точках;

оценка устойчивости трехслойной плиты по определенным критериям при сохранении условий устойчивости была внедрена в процесс определения области нормальных напряжений  $\sigma_{zz}$  в сечениях плиты в ООО «Univer Pro Stile» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» Республики Узбекистан от 16 ноября 2020 г. № № 05/15-3593). В результате расходные материалы сэкономлены на 7-9%;

уточненная расчетная модель, учитывающая принцип работы несущего и заполняющего слоев трехслойной упругой пластинки, была внедрена в процесс определения напряжений и моментов в слоях пластинки в проектных работах в ООО «Univer Pro Stile» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» Республики Узбекистан от 16 ноября 2020 г. № 05/15-3593). В результате было установлено, что наслоение обеспечивает более высокую стойкость пластинки изгибу, и ее учет привел к увеличению несущей способности конструкции на 10-12%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты этого исследования были представлены и обсуждены на 1 международном и 5 национальных научных конференциях. Результаты диссертационной работы в полном объеме были обсуждены на научных семинарах: «Механика муаммолари» (акад. М.Мирсаидов) при Ташкентском институте инженеров ирригации и сельского хозяйства; «Механика муаммолари» (проф. Исмаилов К.) при Самаркандском государственном архитектурно-строительном институте, а также на научном семинаре (проф.Х.Худойназаров) кафедры “Теоретическая и прикладная механика” Самаркандского государственного университета.

**Публикация результатов исследования.** Всего по теме исследования опубликовано 11 научных работ, в том числе 5 научных статей в научных изданиях, рекомендованных к публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD) ВАК РУз, в том числе 3 национальных и 2 зарубежное издание.

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

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** диссертации приведена краткая информация об актуальности и необходимости темы исследования, цели работы, описаны и перечислены основные проблемы, которые необходимо решить, основные научные

нововведения, которые необходимо защитить. Описаны научная и практическая значимость результатов, полученных в работе, конференции и семинары, на которых были представлены результаты диссертации, описаны структура и объем работы.

Первая глава диссертации, озаглавленная «**Нестационарные колебания слоистых вязкоупругих пластин. Современное состояние проблемы**», посвящена общему обзору литературы по изучению колебаний и равновесия элементов инженерных конструкций, в частности слоистых стержней, пластин и оболочек, а также тонкостенных упругих тел, разработке общей программы дальнейших исследований в рамках диссертации, и выбору основных уравнений движения вязкоупругого тела.

В параграфе 1.1 в результате изучения научных статей по теме диссертации представлен общий обзор исследований динамики многослойных пластин, оболочек и стержней. Здесь основное внимание уделяется многослойным элементам инженерных конструкций, в частности колебаниям двух- и трехслойных пластин. Кроме того, наряду со статьями, имеющими непосредственное отношение к диссертации, были изучены и проанализированы труды узбекских ученых, в частности, академиков Т.Р.Рашидова, Т.Ш.Ширинкулова, М.Мирсаидова и профессоров К.С.Султанова, Т. Мавлонова, А.Б.Ахмедова, Б.Мардонова, М.К.Усарова, Р.Абдукаримова и др.

Проанализировано большое количество литературных источников по колебаниям многослойных элементов инженерных сооружений. В результате

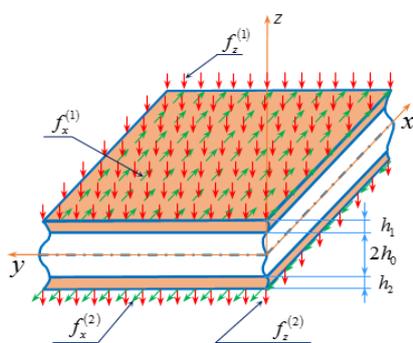


Рис.1. Элемент трехслойной пластинки и действующие внешние силы

было отмечено, что многие проблемы теории многослойных инженерных элементов, в частности теории трехслойных и многослойных пластин и оболочек, остаются недостаточно развитыми. Параграф 1.2 посвящен основным соотношениям трехмерной задачи колебаний трехслойной вязкоупругой пластины, изучаемой в диссертационной работе. Рассмотрена трехслойная вязкоупругая пластинка бесконечных размеров, в общем случае в трехмерном пространстве. Помещаем пластину в прямоугольную декартову систему координат  $Oxyz$  (рис.1). При этом направим оси  $Ox$  и  $Oy$  по средним линиям взаимно перпендикулярных поперечных сечений, а ось  $Oz$  – вверх, перпендикулярно плоскости пластины. Пронумеруем слои плиты так же, как на рис. 1, т.е. обозначим верхний несущий слой первым слоем, нижний несущий слой – вторым, а средний слой или наполнитель – нулевым слоем.

Обозначим толщины слоев соответственно через  $h_1$ ,  $2h_0$  и  $h_2$ ; коэффициентов Ламе материалов слоев –  $\lambda_m, \mu_m$ ; плотности материалов слоев –  $\rho_m$ . Обозначим также через  $U_m(x, y, z, t)$ ,  $V_m(x, y, z, t)$ ,  $W_m(x, y, z, t)$  перемещений точек слоев ( $m = 0, 1, 2$ ) по осям координат. Для компонент тензора напряжений и деформаций точек слоев используются общепринятые обозначения:  $\sigma_{ii}^{(m)}$  –

нормальные напряжения;  $\tau_{ij}^{(m)}$  – касательные напряжения;  $\varepsilon_{ii}^{(m)}$  – деформации удлинения;  $\gamma_{ij}^{(m)}$  – угловые деформации;  $\varepsilon^{(m)} = \varepsilon_{xx}^{(m)} + \varepsilon_{yy}^{(m)} + \varepsilon_{zz}^{(m)}$  – объемные деформации;  $i, j = x, y, z$ . Вязкоупругие свойства материалов слоёв учитываются следующими интегральными операторами:

$$R_{(\lambda, \mu)_m}(\xi) = (\lambda_m, \mu_m) \left[ \xi(t) - \int_0^t K_{(\lambda, \mu)_m}(t-\tau) \xi(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где  $K_{\lambda_m}(\tau)$ ,  $K_{\mu_m}(\tau)$  –  $R_{\lambda_m}$  и  $R_{\mu_m}$  ядра операторов вязкоупругости, зависящих от свойств материалов слоёв ( $m = 0, 1, 2$ ). Здесь  $R_{\lambda_m}$  и  $R_{\mu_m}$  ( $m = 0, 1, 2$ ) – обратимые операторы,  $K_{\lambda_m}(\xi)$  и  $K_{\mu_m}(\xi)$  произвольные ядра. Зависимости напряжений в точках слоев пластинки от деформаций представляется линейными операторами в виде следующих интегральных отношений Больцмана:

$$\begin{aligned} \sigma_{ii}^{(m)} &= R_{\lambda_m}(\varepsilon_{ii}^{(m)}) + 2R_{\mu_m}(\varepsilon_{ii}^{(m)}); \quad \tau_{ij}^{(m)} = R_{\mu_m}(\gamma_{ij}^{(m)}); \quad (i, j = 1, 2, 3; i \neq j), \\ \varepsilon^{(m)} &= \varepsilon_{11}^{(m)} + \varepsilon_{22}^{(m)} + \varepsilon_{33}^{(m)}; \quad (m = 0, 1, 2). \end{aligned} \quad (2)$$

Представляя векторы перемещений  $\vec{u}^{(m)}$  слоёв через скалярный  $\varphi_m$  и векторный  $\vec{\psi}_m$  потенциалами, уравнения движения точек пластины приведены к следующим интегро-дифференциальным уравнениям

$$\begin{aligned} R_m(\Delta \varphi_m) &= \rho_m \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial t^2}, \quad R_{\mu_m}(\Delta \vec{\psi}_m) = \rho_m \frac{\partial^2 \vec{\psi}_m}{\partial t^2}, \\ R_m &= R_{\lambda_m} + 2R_{\mu_m}, \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (m = 0, 1, 2). \end{aligned} \quad (3)$$

Получены формулы для всех компонент векторов перемещений и тензоров напряжений и деформаций через введенные скалярные и векторные потенциалы.

Предполагается, что при значениях времени  $t < 0$  пластина находится в состоянии покоя (равновесия) и в момент времени  $t = 0$  на внешние плоскости несущих слоёв начинают действовать динамические силы. Другими словами, предполагается, что граничные условия заданы в следующем виде

$$\begin{aligned} \tau_{xz}^{(i)}(x, y, z, t) \Big|_{z=\pm h_i^*} &= \pm F_{xz}^{(i)}(x, y, t); \quad \tau_{yz}^{(i)}(x, y, z, t) \Big|_{z=h_i^*} = \pm F_{yz}^{(i)}(x, y, t); \\ \sigma_{zz}^{(i)}(x, y, z, t) \Big|_{z=\pm h_i^*} &= \pm F_z^{(i)}(x, y, t), \quad (i = 1, 2). \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{при } t = 0 \quad \varphi_m = \psi_{km} = 0, \quad \frac{\partial \varphi_m}{\partial t} = \frac{\partial \psi_{1m}}{\partial t} = 0, \quad (m = 0, 1, 2). \quad (5)$$

Помимо граничных (4) и начальных (5) условий, задаются динамические и кинематические контактные условия в нижней и верхней плоскостях контакта слоя заполнителя с несущими слоями. Для решения задачи были использованы интегральные представления потенциальных функций и получена система уравнений Бесселя для представлений потенциальных функций. Все компоненты векторов перемещений, тензоров напряжений и деформаций представлены через общие решения этих уравнений.

В параграфе 1.3 ставится задача о поперечных (антисимметричных) колебаниях трехслойной вязкоупругой пластинки и дается ее решение. Для

уменьшения количества неизвестных в общем решении задачи и снизить уровень связанных с этим математических проблем, а также используя тот факт, что размеры пластинки не ограничены предполагается, что она находится в состоянии плоской деформации. Представим векторы перемещений точек слоев пластины при плоской деформации следующим образом

$$\vec{U}^m = U_m \vec{i} + W_m \vec{k}; \quad U_m = U_m(x, z, t); \quad W_m = W_m(x, z, t),$$

где  $\vec{i}$ ,  $\vec{k}$  – базисные векторы введенной системы координат.

Введем потенциальные функции в виде  $\varphi_m = \varphi_m(x, z, t)$ ,  $\vec{\psi}_m = \psi_m(x, z, t) \vec{j}$ , где  $\vec{j}$  – единичный вектор оси  $Oy$ . В этом случае второе векторное уравнение (3) преобразуется в три скалярных уравнения относительно  $\psi_m(x, z, t)$  и, в результате сама система переходит в шесть волновых уравнений относительно функций  $\varphi_m$  и  $\psi_m$ . Компоненты векторов перемещений, а также тензоров деформаций и напряжений несложно выразить через введенные потенциальные функции. Например,

$$U_m = \frac{\partial \varphi_m}{\partial x} - \frac{\partial \psi_m}{\partial z}; \quad W_m = \frac{\partial \varphi_m}{\partial z} + \frac{\partial \psi_m}{\partial x}, \quad (m = 0, 1, 2). \quad (6)$$

Исходя из линейности применяемой теории вязкоупругости, внешние воздействия можно описать в общем виде. В этом случае, перемещения можно описать как сумму продольной, и поперечной частей, соответственно, то есть  $\vec{U}_m = \vec{U}_m^{\delta} + \vec{U}_m^{\kappa}$ . Где  $\vec{U}_m^{\delta}$ ,  $\vec{U}_m^{\kappa}$  – продольная и поперечная части перемещений точек слоёв пластин, соответственно. В этом случае суммарное поле  $\vec{U}_m$  удовлетворяет граничным условиям (4). Антисимметричные части суммарных полей должны удовлетворять следующим условиям, т.е. в этом случае граничные условия (4) должны иметь следующие виды

$$\begin{aligned} \tau_{xz}^{(i)}(x, z, t) \Big|_{z=(-1)^{i-1} h_i^*} &= f_x^i(x, t); & \sigma_{zz}^{(i)}(x, z, t) \Big|_{z=(-1)^{i-1} h_i^*} &= (-1)^{i-1} f_z^i(x, t), \\ \tau_{yz}^{(i)}(x, z, t) \Big|_{z=(-1)^{i-1} h_i^*} &= 0; & h_i^* &= h_0 + h_i, \quad (i = 1, 2), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $f_x^{(1)}(x, t) = f_x^{(2)}(x, t) = \frac{1}{2}(F_{xz}^{(1)} - F_{xz}^{(2)})$ ,  $f_z^{(1)}(x, t) = -f_z^{(2)}(x, t) = \frac{1}{2}(F_z^{(1)} - F_z^{(2)})$ .

Также предполагается, что нет зазоров в контактных слоях между внешними слоями и средним слоем и что у слоев нет сдвига относительно друг друга. В этом случае должны выполняться следующие динамические и кинематические условия контакта на плоскостях  $z = \pm h_0$ :

$$\sigma_{zz}^{(0)}(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} \sigma_{zz}^{(1)}(x, z, t) \Big|_{z=h_0} + f_z^{(1)}, \\ \sigma_{zz}^{(2)}(x, z, t) \Big|_{z=-h_0} - f_z^{(2)}, \end{cases} \quad \tau_{xz}^{(0)}(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} \tau_{xz}^{(1)}(x, z, t) \Big|_{z=h_0} + f_x^{(1)}, \\ \tau_{xz}^{(2)}(x, z, t) \Big|_{z=-h_0} + f_x^{(2)}, \end{cases} \quad (8)$$

$$\tau_{yz}^{(0)}(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = 0, \quad U_0(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} U_1(x, z, t) \Big|_{z=h_0}, \\ U_2(x, z, t) \Big|_{z=-h_0}, \end{cases} \quad W_0(x, z, t) \Big|_{z=\pm h_0} = \begin{cases} W_1(x, z, t) \Big|_{z=h_0}, \\ W_2(x, z, t) \Big|_{z=-h_0}. \end{cases} \quad (9)$$

Начальные условия задачи предполагаются нулевыми, т.е. начальные условия для потенциальных функций в уравнениях (3) при  $t = 0$  имеют вид

$$\varphi_m = \psi_m = 0, \quad \frac{\partial \varphi_m}{\partial t} = \frac{\partial \psi_m}{\partial t} = 0. \quad (10)$$

Для решения поставленной задачи функции внешних воздействий на поверхностях пластины представлены в следующем виде:

$$f_x^{(1,2)}(x,t) = \int_0^{\infty} \frac{\cos kx}{\sin kx} \left. \right\} dk \int_{(i)} \tilde{f}_x^{(1,2)}(k,p) e^{pt} dp, \quad f_z^{(1,2)}(x,t) = \int_0^{\infty} \frac{\sin kx}{-\cos kx} \left. \right\} dk \int_{(i)} \tilde{f}_z^{(1,2)}(k,p) e^{pt} dp. \quad (11)$$

В соответствии с принятыми видами функций внешних воздействий решение сформулированной выше задачи также ищется в виде (11). Подстановка потенциальных функций в систему уравнений (3) приводит к дифференциальным уравнениям Бесселя

$$\frac{d^2 \tilde{\varphi}_m}{dz^2} - \alpha_m^2 \tilde{\varphi}_m = 0; \quad \frac{d^2 \tilde{\psi}_m}{dz^2} - \beta_m^2 \tilde{\psi}_m = 0; \quad (m = 0,1,2), \quad (12)$$

где

$$\alpha_m^2 = k^2 + \rho_m p^2 \tilde{R}_m^{-1}, \quad \beta_m^2 = k^2 + \rho_m p^2 \tilde{R}_{\mu m}^{-1}, \quad \tilde{R}_m = (\lambda_m + 2\mu_m) [1 - \tilde{K}_{\lambda m}(p)], \\ \tilde{R}_{\mu m} = \mu_m [1 - \tilde{K}_{\mu m}(p)], \quad \tilde{K}_{im}(p) = \int_0^{\infty} K_{im}(\tau) e^{-p\tau} d\tau, \quad \arg \alpha = \arg \beta = 0, \quad p > 0. \quad (13)$$

Общие решения полученных уравнений (12) получены в виде комбинаций гиперболических функций

$$\tilde{\varphi}_m(z,k,p) = A_1^{(m)}(k,p) ch(\alpha_m z) + A_2^{(m)}(k,p) sh(\alpha_m z); \\ \tilde{\psi}_m(z,k,p) = B_1^{(m)}(k,p) sh(\beta_m z) + B_2^{(m)}(k,p) ch(\beta_m z), \quad (m = 0,1,2). \quad (14)$$

Антисимметричные колебания вызываются внешними антисимметричными воздействиями. Поэтому  $f_x^{(1)}(x,t) = f_x^{(2)}(x,t)$ ,  $f_z^{(1)}(x,t) = -f_z^{(2)}(x,t)$ . Для того, чтобы решения (14) описывали антисимметричные колебания, требуется выполнения условий  $A_1^{(m)} = 0$ ,  $B_1^{(m)} = 0$ , ( $m = 0,1,2$ ). В этом случае при поперечных (антисимметричных) колебаниях пластины общие решения (14) должны быть в следующем виде:

$$\tilde{\varphi}_m(z,k,p) = A_2^{(m)}(k,p) sh(\alpha_m z), \quad \tilde{\psi}_m(z,k,p) = B_2^{(m)}(k,p) ch(\beta_m z). \quad (15)$$

Чтобы выразить перемещения  $U_m$  и  $W_m$  через решения (15), они также описываются в форме (11) и подставляются в формулы (6), изображения  $\tilde{U}_m$  и  $\tilde{W}_m$  перемещений выражаются посредством  $\tilde{\varphi}_m$  и  $\tilde{\psi}_m$  и с помощью решений (15) получены следующие значения:

$$\tilde{U}_m = k A_m^{(2)} sh(\alpha_m z) - \beta_m B_m^{(2)} sh(\beta_m z); \\ \tilde{W}_m = \alpha_m A_m^{(2)} ch(\alpha_m z) - k B_m^{(2)} ch(\beta_m z). \quad (m = 0,1,2) \quad (16)$$

Во второй главе диссертации «**Нестационарные поперечные колебания трехслойных вязкоупругой и упругой пластин**» приведены уравнения поперечных (антисимметричных) колебаний трехслойной вязкоупругой пластинки несимметричной пластинки. Здесь при правильной формулировке граничных условий (относительно напряжений в точках внешних поверхностей пластины), используется выше упомянутый метод точных решений в рамках плоской задачи теории вязкоупругости.

*Параграф 2.1* посвящен преобразованию главных частей перемещений точек срединного слоя в преобразованиях через постоянные интегрирования.

В уравнениях колебаний трехслойной вязкоупругой пластины за искомые функции принимаются главные части преобразованных перемещений (изображения)  $\tilde{U}_0$  и  $\tilde{W}_0$  такой поверхности срединного слоя, которая лежит на расстоянии  $\xi = \chi \cdot h_0$ , ( $-1 \leq \chi \leq 1$ ) от плоскости  $z = 0$  пластинки. Для введения указанных главных частей для точек срединного слоя, выражения (16) разложены в степенные ряды при  $m=0$  и ограничены в них значениями  $z = \xi$  и  $n=0$ . Это позволило выделить главные части  $\tilde{U}_0^{(0)}$  и  $W_0^{(0)}$  преобразованных перемещений  $\tilde{U}_0$  и  $\tilde{W}_0$ , и выразить через них постоянные интегрирования

$$\alpha_0 A_0^{(2)} = \left( kW_0^{(0)} - \frac{1}{\xi} \tilde{U}_0^{(0)} \right) / (\beta_0^2 - k^2), \quad B_0^{(2)} = \left( \beta_0^2 \tilde{W}_0^{(0)} - \frac{k}{\xi} \tilde{U}_0^{(0)} \right) / (\beta_0^2 - k^2), \quad (17)$$

*Параграф 2.2* посвящен представлению переменных интегрирования несущих слоев через изображения функций внешних воздействий. Все коэффициенты  $A_1^{(2)}, B_1^{(2)}, A_2^{(2)}, B_2^{(2)}$  выражены через функции внешних воздействий.

*Параграф 2.3* посвящен выводу уравнений поперечных колебаний трехслойной вязкоупругой пластины. Полученная система уравнений выражены через главные части  $W_0^{(0)}(x,t), U_0^{(0)}(x,t)$  перемещений точек срединного слоя и являются уравнениями в частных производных гиперболического типа. Как следует из полученных результатов, уравнения имеют членов, учитывающие инерцию вращения и деформацию поперечного сдвига. В этом смысле результаты, по результатам сравнительного анализа являются более общими, чем аналогичные уточненные уравнения колебаний С.П. Тимошенко. Также следует отметить, что полученные уравнения, в отличие от классических уравнений Кирхгофа и уточненных уравнений типа Тимошенко, выводятся без использования дополнительных гипотез и предположений, а также без введения искусственных поправочных коэффициентов.

В *параграфе 2.4* описаны некоторые частные случаи уравнений колебаний трехслойной вязкоупругой пластинки и проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами других авторов. В частности, из полученных уравнений трехслойной вязкоупругой пластинки выведены уравнения антисимметричных колебаний трехслойной упругой пластинки, уравнения колебания двухслойной и однослойной (однородной) вязкоупругой и упругой пластин. Уравнения однослойной вязкоупругой пластинки сравниваются с уравнениями проф. И.Г.Филиппова, которые являются такими же, но выведены исходя из пространственной постановки задачи.

Показано, что с инженерной точки зрения удобнее и проще решать практические задачи с помощью предложенных уравнений. Уравнения однослойной упругой пластинки сравнены с аналогичными уравнениями проф. Г.И.Петрашени. Показано, что эти уравнения отличаются друг от друга только некоторыми коэффициентами.

В *параграфе 2.5* разработан алгоритм определения напряженно-деформированного состояния точек трехслойной вязкоупругой пластинки. Этот алгоритм состоит из выражения компонент  $\sigma_{xx}^{(m)}, \sigma_{zz}^{(m)}, \tau_{xz}^{(m)}$ , ( $m = 0,1,2$ ) тензора напряжений, а также компонент  $U_m, W_m$ , ( $m = 0,1,2$ ) векторов перемещений

всех слоев через функции  $U_0^{(0)}$  и  $W_0^{(0)}$ , которые являются искомыми функциями для полученных уравнений колебания.

В третьей главе диссертации «**Прикладные задачи антисимметричных колебаний трехслойных вязкоупругих и упругих пластин**» описаны граничные и контактные условия, необходимые для формирования прикладных задач о поперечных колебаниях трехслойной пластинки, в зависимости от внешних сил, приложенных к пластине, характера контактов между слоями и типа крепления краев пластины. Ставятся и решаются свойства распределения гармонических колебаний в трехслойной пластине и задачи динамического деформирования пластин с разными краями под действием внешних сил. Поставлены и решены задачи о распространении гармонических колебаний в трехслойной пластинке и динамическом деформировании пластин под действием внешних сил с разными условиями крепления краев.

В параграфе 3.1 рассматривается проблема формирования граничных и контактных условий в задачах, рассматриваемых в диссертации. Характер проблемы будет меняться в зависимости от вида различных контактных условий. В частности, взаимодействие контактных поверхностей слоев может быть жестким, скользким или идеальным. Исходя из этого, формируются следующие начально-граничные условия: а) когда заданы граничные на внешних поверхностях пластины и нулевые начальные условия; б) заданы разные контактные условия между слоями (*жесткий, скользящий и идеальный*) при нулевых начальных условиях; в) когда заданы граничные условия на краях пластинки (*жесткое защемление, шарнирное и свободное оперения*).

В параграфе 3.2 численно решена задача об антисимметричных гармонических колебаниях трехслойной упругой пластинки, с помощью пакета прикладных программ Maple 17 и на основе уравнений колебаний, приведенных в предыдущей главе. На рис.2 показаны зависимости между частотой и волновым числом для стальных несущих слоев толщиной  $h_1 = h_2 = 0,001$  и для различных срединных слоев (полимер, стекловолокно, древесный пластик, текстолит) толщиной  $h_0 = 0,03$ .

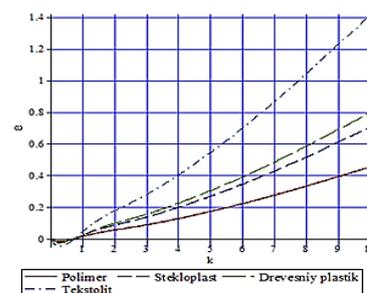


Рис.2. Зависимости  $\omega \sim k$  при  $h_1 = h_2 = 0,001$  и  $h_0 = 0,03$ . Материалы несущих слоев-сталь, срединного слоя -разные (полимер, стекло-пластик, древесный пластик, текстолит).

На основе результатов сделаны соответствующие выводы. Например, на чертеже видно, что частоты колебаний текстолита в 1,5–3,5 раза выше, чем у других материалов. Полученные числовые данные позволяют сделать выводы: а) разработанные в диссертации уравнения колебания позволяют определять частоты антисимметричных колебаний трехслойной пластины. Частотный анализ, выполняемый на основе представленной модели, требует минимальных вычислительных ресурсов; б) зависимость частоты от волнового числа можно считать прямо пропорциональной, независимо от значения толщины срединного слоя; в) при фиксированном значении волнового числа увеличение толщины срединного слоя приводит к увеличению частоты колебаний.

В параграфе 3.3 представлен частотный анализ антисимметричных колебаний трехслойной вязкоупругой пластинки. Несущие внешние слои пла-

стинки сделаны из упругого материала, срединный слой - из вязкоупругого материала. В этом случае ядро вязкости принято регулярным и имеет следующий вид:

$$K_0(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_n}{\tau_n} e^{-\frac{t}{\tau_n}}, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n = 1,$$

$\alpha_n$  – параметры вязкоупругости;  $\tau_n$  – времена релаксаций. Полученные частотные уравнения решены численно с использованием пакета прикладных программ Maple 17. Результаты представлены в виде графиков зависимостей между частотой и волновым числом. На рис.3 показаны графики зависимости между частотой и волновым числом для срединных вязкоупругих слоев разной толщины и, несущих слоев из алюминия толщиной  $h_1 = h_2 = 0,001$ . На основании численного анализа были сделаны следующие выводы: а) частотный анализ, выполненный на основе предложенной модели, даже с учетом вязкоупругости, не требует громоздких вычислительных ресурсов; б) соотношение  $\omega \sim k$  имеет разнообразный характер при различных значениях толщины вязкоупругого среднего слоя. В частности, увеличение толщины срединного слоя пластинки при фиксированных значениях числа волн не приводит к увеличению частоты колебаний, в отличие от того, что все три слоя являются упругими; в) если срединный слой вязкоупругий, соотношение  $\omega \sim k$  не носит пропорциональный характер для всего спектра значений волнового числа.

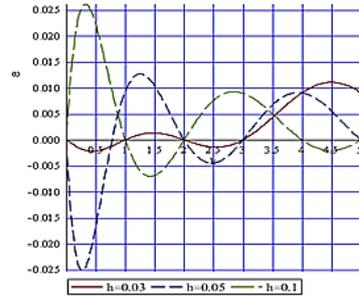


Рис.3. Зависимости  $\omega \sim k$  при  $h_1 = h_2 = 0,001$  и разные  $h_0$ . Материалы несущих слоев-алюминий, среднего слоя-вязкоупругих тел.

В параграфе 3.4 решается задача об антисимметричном деформировании трехслойной шарнирно опертой пластины под действием внешней динамической силы. Решение задачи ищется посредством следующих замен искоемых функций и функций внешних воздействий

$$W_0^{(0)} = \sum_{k=1}^{\infty} W_0^k(t) \sin \frac{k\pi x}{l}, \quad U_0^{(0)} = \sum_{k=1}^{\infty} U_0^k(t) \cos \frac{k\pi x}{l},$$

$$f_z^{(1)} = \sum_{k=1}^{\infty} f_{zk}^{(1)}(t) \sin \frac{k\pi x}{l}.$$

Расчеты выполнены для случая, когда несущие слой пластинки из стали и алюминия, а срединный слой - из полимерного материала. Значения внешних сил, действующих на пластину, составляют  $f_{zk}^{(1)}(t) = -f_{zk}^{(2)}(t) = 5 \cdot 10^6$  Па.

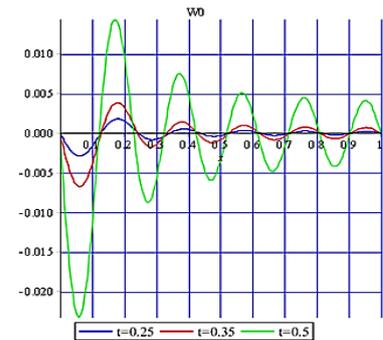


Рис.4. Зависимости поперечного перемещения срединного слоя  $W_0$  при  $t=0.25; 0.35; 0.5$ . Материалы несущих слоев-текстолит, среднего слоя-полимер.

На рисунке 4 для различных значений времени представлены графики зависимости поперечных перемещений от продольной координаты точек срединного слоя трехслойной пластинки, внешние слои которой представляют собой текстолит, а срединный слой из полимерного материала. Представленные численные результаты показывают, что, несмотря на упругость материалов слоев, поперечные смещения имеют характер затухания при увеличении продольных координат, т.е. внешние слои действуют как гасители перемещений точек срединного слоя.

В этом разделе также анализированы координатные зависимости всех компонент тензора напряжений и вектора перемещений, возникающих в точках произвольных сечений несущих слоев при антисимметричных колебаниях трехслойной упругой пластинки для фиксированных значений текущего времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований, проведенных в диссертационной работе «Антисимметричные колебания трехслойной вязкоупругой пластинки» позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Разработана эффективная математическая модель и методика расчета для решения прикладных задач антисимметричных колебаний трехслойной вязкоупругой пластинки под действием внешних нагрузок, включая постановку задачи, построение уравнений колебания и создание алгоритма расчета НДС;

2. Из общих уравнений антисимметричных колебаний трехслойной вязкоупругой пластинки несимметричной структуры, сформированных без использования упрощающих предположений и гипотез, получены уточненные уравнения колебаний типа С.П. Тимошенко и пригодные для инженерной практики классические уравнения колебаний не выше второго порядка, а также уравнения антисимметричных колебаний трех-, двух- и однослойных упругих пластин, а также двух- и однослойных вязкоупругих пластин;

3. На основе уравнений антисимметричных колебаний трехслойной вязкоупругой пластинки и алгоритма расчета НДС в целом, сформулированы новые начально-краевые задачи для колебаний слоистых пластин, находящихся под воздействием внешних динамических нагрузок различной природы;

4. Наряду с поперечными перемещениями точек пластины появляются и продольные перемещения, которые почти на порядок меньше, чем поперечные перемещения. Поэтому, при антисимметричных колебаниях трехслойной пластинки этими перемещениями можно пренебречь;

5. Если материалы всех трех слоев пластинки упругие, то зависимость частоты колебаний от числа волн можно считать прямо пропорциональной. В этом случае при фиксированном значении волнового числа увеличение толщины срединного слоя приводит к увеличению частоты колебаний.

6. При упругих несущих и вязкоупругом срединном слоях пластинки соотношение  $\omega \sim k$  имеет различный характер для разных значений толщины срединного слоя. В частности, при фиксированных значениях волнового числа увеличение толщины среднего слоя пластинки, в отличие от случая, когда все три слоя пластинки упругие не приводит к увеличению частоты колебаний и для всего спектра значений волнового числа соотношение  $\omega \sim k$  нелинейный и не имеет характер пропорциональности;

7. Для материала срединного слоя трехслойной пластинки частотный анализ, выполненный на основе предложенной модели, не требует больших вычислительных ресурсов даже с учетом свойства вязкоупругости.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
SCIENCES DSc03/30.12.2019.FM/T.02.09 UNDER  
SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

---

**SAMARKAND STATE ARCHITECTURAL AND CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE**

**YAKHSHIBOYEV SHERZOD RUSTAMKULOVICH**

**ANTISYMMETRIC VIBRATIONS OF THREE LAYERED VISCOELASTIC  
PLATE**

**01.02.04 – Solid Mechanics**

**ABSTRACT**

**of dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences**

**Samarkand – 2021**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number №B2019.4.PhD/FM444.**

The dissertation has been prepared at the Samarkand State Architectural And Civil Engineering Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website [www.samdu.uz](http://www.samdu.uz) and on the website of "ZiyoNet" Information and educational portal [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific adviser:** **Khudoynazarov Khayrulla**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** **Abirov Rustam Abdullayevich**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**Khudayarov Bakhtiyor Alimovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:** **National University of Uzbekistan**

The defense will take place «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 at \_\_\_\_ at the meeting of scientific council DSc03/30.12.2019.FM/T.02.09 at Samarkand State University (Address: 140104, Samarkand, University street, 15, Tel.: (99866) 239-11-40. Fax: (99866) 239-11-40. E-mail: [sasu\\_info@edu.uz](mailto:sasu_info@edu.uz).)

The thesis is available in the Information and Resource Center of Samarkand State University (registration number \_\_\_\_). (Address: 140104, Samarkand, University street, 15, Tel.: (99866) 239-11-40. Fax: (99866) 239-11-40.)

Abstract of dissertation sent out on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 y.  
(mailing report №\_\_ on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 y.).

**R.I.Khalmuradov**

Chairman of scientific council for awarding degree,  
Doctor of Technical sciences, Professor

**Kh.M.Buranov**

Scientific secretary of scientific council for awarding degree,  
Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Dotsent

**K.Ismayilov**

Chairman of scientific council seminar at the scientific  
council for the awarding academic degree,  
Doctor of Technical sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research is:** The goal is to develop a mathematical model for the dynamic calculation of non-stationary transverse vibrations of a three-layer viscoelastic plate, taking into account the influence of external dynamic loads; to create an algorithm for determining the stress-strain state at the points of the plate's free cross-section; to apply the developed methodology for calculating three-layer plates under the influence of external loads.

**The object of research is** a viscoelastic three-layer plate.

**The scientific novelty of the dissertation research is as follows**

a mathematical model of non-stationary transverse vibrations of a three-layer viscoelastic plate is created, taking into account the action of external dynamic loads;

an effective algorithm for calculating the stress-strain state of points of arbitrary cross - section of a three-layer viscoelastic plate with the required accuracy in spatial coordinates and time is developed;

new applied problems of vibrations of a three-layer plate under the action of dynamic loads are presented, and methods for solving specific problems of harmonic vibrations and forced oscillations under the action of dynamic loads of a three-layer plate under given boundary conditions are created;

the influence of the geometrical and physical-mechanical characteristics of the layers of a viscoelastic plate on the laws of the coordinate and time dependence of the components of the stress tensor and the displacement vector at the points of the cross-section is studied by the example of solving an applied problem.

**Implementation of research results.**

Based on the results obtained on applied problems of antisymmetric oscillations of a viscoelastic three-layer plate:

in LLC "Munis Stroy Service" in the process of strengthening the plate-slab with additional reinforcement, a method was introduced for determining the points of action of the maximum stress perpendicular to the plane of a three-layer plate, consisting of two concrete load-bearing and light filling layers (Reference of the Association "Uzpromstroyaterialy" from 16 November 2020 No. 05 / 15-3593). As a result, the volume of consumed concrete for the preparation of concrete layers of the plate was saved by 15-17%;

calculation of maximum bends at the points of exposure to maximum stresses has been introduced into the process of assessing the deformed state of a three-layer plate at Munis Stroy Service LLC (Reference of the Association "Uzpromstroyaterialy" dated November 16, 2020 No. 05 / 15-3593). As a result, due to a decrease in bending at such points, the bearing capacity of the plate-slab increased by 10-12% at such points;

the assessment of the stability of a three-layer slab according to certain criteria while maintaining stability conditions was introduced into the process of determining the area of normal stresses in the sections of the slab at "Univer Pro Stile" LLC (Reference of the Association "Uzpromstroyaterialy" dated November 16, 2020 No. 05 / 15-3593). As a result, consumables are saved by 7-9%;

The refined computational model, taking into account the principle of operation of the bearing and filling layers of a three-layer elastic plate, was introduced into the process of determining stresses and moments in the layers of the plate in design work at LLC "Univer Pro Stile" (Reference of the Association "Uzpromstroymaterialy" dated November 16, 2020 No. 05 / 15-3593). As a result, it was found that layering provides a higher bending resistance of the plate, and taking it into account led to an increase in the bearing capacity of the structure by 10-12%.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Худойназаров Х., Скрипняк В.А., Яхшибоев Ш. Нестационарные поперечные колебания трехслойной вязкоупругой пластинки// Узбекский журнал Проблемы механики. 2018, №2,–С.27-32. (01.00.00, №4).

2. Yaxshiboyev Sh. R. Chetlari sharnirli mahkamlangan elastik plastinkaning antisimmetrik tebranishlari// Me'morchilik va qurilish muammolari. 2020. №1.2-qism – С.106-109. (05.00.00, №14.).

3. Худойназаров Х., Яхшибоев Ш.Р. Поперечные гармонические колебания трехслойной пластинки// Проб. Архит. и строит. 2020. №2.– С. 151-156. (05.00.00, №14.).

4. Kh Khudoynazarov and Sh.R Yaxshiboyev 2020 The Mathematical Model of Transverse Vibrations of the Three-Layer Plate. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 614 012062. DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012062.

5. Худойбердиев З.Б., Яхшибоев Ш.Р. Симметричные колебания шарнирно-опертой упругой двухслойной пластинки International Scientific Journal ISJ Theoretical & Applied Science Philadelphia, USA issue 05, volume 85 published May 30, 2020. - С. 619-625. SOI: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-05-85-113>, DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.05.85.113>.

**II бўлим (II часть; II part)**

1. Худойбердиев З.Б., Яхшибоев Ш.Р. Уравнения антисимметричные колебаний упругой трехслойной пластины// Результаты современных научных исследований и разработок. Мат. IV междун. науч.-прак. конф. – Пенза: МЦМС «Наука и просвещение».2020. - С. 70-76.

2. Yaxshiboyev Sh.R., Turdaliyev Z. Uch qatlamli plastinkaning antisimmetrik tebranishlari differensial tenglamalari// Новые результаты математики и их приложения. Мат.Респуб. науч. конф. 2018. - С. 125-127.

3. Yaxshiboyev Sh.R., Xoliqov D.Sh., Otaqulov A. Uch qatlamli elastik plastinka o'rta sirtidagi izlanuvchi funksiyalar// Таълим, фан ва ишлаб чиқариш интеграциясида инновацион технологияларни қўллаш-мамлакат тараққиётининг муҳим омили. XV Респуб. Илм.-амал. конф. Матер. 2-3 июнь 2018. –99-104 бб.

4. Yaxshiboyev Sh.R., Xoliqov D.Sh., Abdurazzoqov J.N. Uch qatlamli kompozit plastinkaning antisimmetrik tebranishlari// Прикладные и фундаментальные проблемы естественных наук. Республиканской научно-практической конференции 23-октябрь 2019 г. Т. – 86-89 б.

5. Yaxshiboyev Sh.R. Qovushoq-elastik plastinka erkin tebranishlarini tadqiq etishda zamonaviy axborot texnologiyalarini qo'llash// Миллий юксалиш ва

ёшларнинг ижтимоий сиёсий фаоллигини оширишнинг долзарб масалалари. Респуб. илм.-наз. масофавий конф. матер.25-апрел 2020 йил. - 456-459 бб.

6. Yaxshiboyev Sh.R. Ikki qatlamli kompozit plastinkaning tebranishlari// Raqamli iqtisodiyatni shakllantirishda ilim-fan va innovatsion yutuqlarni amaliyotga joriy etishning dolzarb muammolari. XVII Rеспуб. Илмий-амалий online конференцияси материаллари. II-қисм. 2-3 июнь 2020. - 96-98 бб.

Автореферат Самарқанд давлат университетининг  
“СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси” журнали таҳририятида  
таҳрирдан ўтказилди (08.06.2021 йил).

2021 йил 22 июнда босишга рухсат этилди:  
Офсет босма қоғози. Қоғоз бичими 60×84<sub>1/16</sub>.  
“Times” гарнитураси. Офсет босма усули.  
Ҳисоб-нашриёт т.: 3,06. Шартли б.т. 2,0.  
Адади 100 нусха. Буюртма № 22/06.

---

СамДЧТИ нашр-матбаа марказида чоп этилди.  
Манзил: Самарқанд ш, Бўстонсарой кўчаси, 93.