

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ 14.07.2016 FM/T 02.02
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

АХМЕДОВ АКРОМ БУРХАНОВИЧ

**ПЛАСТИНА ВА ЯССИ ҚОБИҚЛАРНИНГ НОКЛАССИК
МАСАЛАЛАРИНИ СОНЛИ ЕЧИШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**01.02.04 – Деформацияланувчи қаттиқ жисм механикаси
(физика-математика фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

ТОШКЕНТ–2016

УДК: 539.3

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской диссертации
Content of the abstract of doctoral dissertation

Ахмедов А.Б. Пластина ва ясси қобикларнинг ноанъанавий масалаларини сонли ечиш усулларини ишлаб чиқиш	3
Ахмедов А.Б. Неклассические задачи пластин и пологих оболочек и разработка численных методов их решения	29
Akhmedov A.B. Nonclassical problems of plates and flat covers and development of numerical methods of their decision	55
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works	79

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ 14.07.2016 FM/T 02.02
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

АХМЕДОВ АКРОМ БУРХАНОВИЧ

**ПЛАСТИНА ВА ЯССИ ҚОБИҚЛАРНИНГ НОКЛАССИК
МАСАЛАЛАРИНИ СОНЛИ ЕЧИШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**01.02.04 – Деформацияланувчи қаттиқ жисм механикаси
(физика-математика фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

ТОШКЕНТ–2016

3 3

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2014/В2014.5.FM 136 рақам билан рўйхатга

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) веб-саҳифанинг www.tdtu.uz ҳамда
«ZiyoNet» ахборот-таълим портали www.ziyo.net манзилларига жойлаштирилган.

Расмий оппонентлар: Хусанов Бахтиёр Эргашбоевич физика–математика фанлари
доктори, профессор

Сафаров Исмоил Иброхимович
физика–математика фанлари доктори, профессор

Индиаминов Равшан
физика–математика фанлари доктори

Етакчи ташкилот: Самарқанд давлат архитектура–қурилиш институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон миллий
университети ҳузуридаги 16.07.2013Т/ФМ.02.02 рақамли фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгашнинг “_____” _____ 2016 йил соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади.
Тел./факс: (99871) 227–10–32 e-mail: nich_tdtu@rambler.ru.

Докторлик диссертацияси билан Тошкент давлат техника университети Ахборот–ресурс
марказида танишиш мумкин. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси-2. Тел./факс: (99871)
227–10–32

Диссертация автореферати 2016 йил “_____” _____ куни тарқатилди
(2016 йил “_____” _____ даги № рақамли реестр баённомаси)

К.А.Каримов
фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Н.Д.Тураходжаев
фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н., доцент

М.Мирсаидов
фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

инфраструктураларнинг ривожланиши курилатган иншоотларнинг хавфсизлиги ва барқарорлигига бўлган талаблар конструкцияларнинг юк кўтарувчи элементлари мустаҳкамлигини ва бардошлилигини ошириш борасида янги вазифалар қўймоқда. Конструкцияларни лойиҳалашда уларнинг мустаҳкамлиги ва барқарорлигини башорат қила олиш учун такомиллаштирилган сонли ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш механиканинг долзарб фундаментал масалаларидан бири ҳисобланади.

Иншоот ва конструкциялардан фойдаланиш хавфсизлигини таъминлашга қаратилган фундаментал илмий–тадқиқот ишларига илм ва фан учун ажратилган умумий харажатнинг 4–5 фоизини, жумладан Европа ва МДХ давлатларида 3–4 фоизни, саноати юқори даражада ривожланган мамлакатларда 7–8 фоизни ташкил этади.

Мамлакатимизда амалга оширилатган иқтисодий ислохотлар шароитида барпо этилатган конструкция ва иншоотлардан фойдаланиш хавфсизлиги ва мустаҳкамлигини таъминлашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Жумладан учиш аппаратларининг хавфсиз парвозини, ер усти ва ер ости иншоотларининг турғунлиги ва сейсмик бардошлилигини ҳамда геология қидирув ишларида қўлланиладиган бурғилаш асбоб-ускуналарининг асосий юк кўтарувчи конструкциялари барқарорлигини таъминлаш учун уларни ташкил этувчи пластина ва ясси қобикларнинг мустаҳкамлиги масалаларини ечиш муҳим аҳамият касб этади.

Ноёб физик ва механик хусусиятли конструкцион материаллар учун замонавий технологиялар кенг қўлланилатганлиги муносабати билан ташқи таъсир остидаги пластина ва ясси қобикларнинг мустаҳкамлиги ва устуворлигини ҳисоблашда ноанъанавий назариялари ва такомиллаштирилган усулларни яратиш долзарб масалалардан биридир. Юк кўтарувчи мураккаб шаклли конструкциялар эгилишининг назарияларини такомиллаштириш ва мустаҳкамлигини оширишда вужудга келадиган ноклассик масалаларни ахборот коммуникацион технологиялари ёрдамида сонли ечиш усуллари ишлаб чиқиш муҳим илмий-аҳамият касб этади. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2002 йил 30 майдаги ПФ-3080-сон «Компьютерлаштиришни янада ривожлантириш ва ахборот коммуникация технологияларини жорий этиш тўғрисида» ги Фармони ва Ўзбекистон республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2002 йил 6 июндаги 200-сон «Компьютерлаштиришни янада ривожлантириш ва ахборот коммуникация технологияларини жорий этиш чора тadbирлари тўғрисида» ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи¹. Пластина ва қобикларнинг назариялари ва уларнинг мустаҳкамлиги, барқарорлиги ва биқирлиги муаммоларига йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Lawrence Livermore Laboratory (USA), Гамбург технологиялар университети (Германия), Варшава университети (Польша), Москва давлат университети, Санкт-петербург университети (Россия), Механика институти (Украина), Полимерлар механикаси институти (Латвия), Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон) томонидан олиб борилмоқда.

Пластина ва ясси қобиклар мустаҳкамлигини ошириш ва барқарорлигини аниқлашга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан қуйидаги илмий натижалар олинган: композит материалларни саноатда қўллашда ясси қобикдаги зўриқиш кучларнинг тақсимотини аниқлаш усули ишлаб чиқилган (Lawrence Livermore Laboratory, USA); пластиналарнинг ички кучланишларни қалинлик бўйича махсус тақсимланиши асосида ноклассик назарияси яратилган (Гамбург технологиялар университети, Германия); пластина ва ясси қобиклар назариясининг термодинamik асоси ишлаб чиқилган (Варшава университети, Польша); даврий структурали композицион пластиналар мустаҳкамлигини ҳисоблашга доир усуллар такомиллаштирилган (Москва давлат университети, Россия); пластиналарнинг барқарорлигини ҳисоблашда ноклассик назариялар ишлаб чиқилган (Санкт-Петербург университети, Россия); диэлектрик материалларнинг механик хоссаларини аниқлаш учун сонли ечиш усуллари ишлаб чиқилган (Полимерлар механикаси институти, Латвия).

Дунёда пластина ва ясси қобиклар ноанъанавий масалари бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: пластина ва қобикларнинг ноёб физик-механик хусусиятларини эътиборга олиш асосида конструкцион материалларнинг мустаҳкамлигини янада ошириш усулини ишлаб чиқиш; ташқи кучлар таъсиридаги пластинанинг ҳаракатини изоҳловчи тенгламаларнинг аниқлик даражасини ошириш; юпка деворли иншоот ва конструкцияларининг ишончлилиги ва барқарорлигини ошириш учун юк кўтариш даражасини аниқлашнинг сонли ечиш усулини ишлаб чиқиш.

¹ Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи Lawrence Berkeley National Laboratory www.lbl.gov; Кафедра механики композитов МГУ www.math.msu.su/departament/composite/index.htm; Товстик П.Е. Некл. модели балок, пластин и оболочек // Изв. Саратовского университета, 2008. Т.8, серия Мат.мех.инф., вып. 3, с.74-85; Институт механики полимеров: www.citariga.lv/rus/teika/zinatne/polimeru-mehankas-instituts/Скопцов К.А.; Шешенин С.В. Асимптотический анализ теории пластин Рейснера-Миндлина. М. Изд. во МГУ, Упругость и неупругость, 2011 г., стр. 236-240; Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости.— М.: Наука, 1979.— 560 с.; Kristensen R. Mechanics of Composite Materials – Courier Corporation, 2005, USA – 348 p; А й н о л а Л.Я. Интегр. вариацион. принц. и их прим. В динамике упругих обол. и пл.. Диссерт.—Таллин, 1967.—253 с; Малмейстер А. К. и др. Сопрот. полим. и композитных материалов.—Рига: Зинатие, 1980.—572 с; Reissner E, Wan FYM Further considerations of stress concentrations problems for twisted or sheared shallow spherical shells. Int. J. Solids Structures 31(No. 16): 1994; A m b a r t s u m i a n S. A. On the problem of oscillations of the electroconductive Plates in the transverse magnetic field: Theory of, Eds: North –Holland Publishing Company, 1980; В л а с о в В. ва бошка манбалар асосида ишлаб чиқилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Юк остидаги юпка деворли иншоотлар техника амалиётида кенг тарқалган бўлиб, аввалдан тадқиқотчи ларнинг диққат марказида илмий изланишларининг асосини ташкил қилиб

келмоқда.

Хорижлик олимлардан Я.Бернулли (Франция), И. Кирхгофф ва Ф.Ляв (Германия), С. П. Тимошенко ва Р. Кристенсен (АҚШ), Л.Я.Айнолла (Эстония), А.К. Малмейстер (Латвия) пластина ва қобикларнинг юк таъсирида кучланиши ва деформацияланиши назариялари бўйича илмий изланишлар олиб боришган. Пластина ва қобикларнинг ноанъанавий назариялари бўйича Е. Рейсснер, С.А. Амбарцумян, В.З. Власов, Х.М. Муштари, И.Г. Трегуловлар илмий тадқиқотлар олиб боришган.

Мамлакатимизда В.Кабулов, Т.Рашидов, Т.Буриев, Ф.Б.Бадалов, М.Мирсаидов, Х. Худойназаров, М.Усаров каби олимлар пластина ва қобикларнинг устуворлиги ва бикирлигига оид татбиқий масалалар ва уларни ечиш устида илмий изланишлар олиб боришган.

Пластина ва қобикларнинг маълум назариялари, одатда, эластиклик назариясининг уч ўлчовли масаласини икки ўлчовли кўринишга келтиришга асосланган. Шу сабабли илгари сурилаётган ноанъанавий назариялар аниқлашда мезон сифатида ечимни нуктада берилган эластиклик назариясининг уч ўлчовли ҳаракат тенгламасини қаноатлантириши қабул қилинган.

Масала шундаки, ҳозиргача маълум назариялар фаразларга асосланганлиги сабабли кучланишлар тензорининг баъзи ташкил этувчилари эътиборга олинмайди ёки маълум қонуниятга бўйсундирилади, натижада уч ўлчовли тенглама қаноатлантирилмайди. Бундан ташқари маълум назарияларнинг барчасида пластина текислиги чўзилмайди деб фараз қилиниши натижасида кўндаланг кучлар таъсирида пластиналарда тўлқин тарқалишининг характери ўрганилмайди. Юқоридаги мулоҳазалар, пластина ва қобикларнинг барча фаразлардан ҳоли мукаммал ноанъанавий назари ясини яратиш илмий-амалий аҳамиятга молик эканлигини таъкидлайди.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий–тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режаси ОТ Ф1–123 «Тасодифий кучлар таъсиридаги қайишқоқ деформацияланувчи тизимларни математик моделлаштиришнинг назарий асослари ва спектрал масалаларнинг дифференциал муаммосини сонли ечиш» (2007–2011) ҳамда А–14–15 «Мураккаб шаклли композицион пластиналар мустахкамлигининг ночизикли масалалари ҳисоби» (2015–2017) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади пластина ва ясси қобикларнинг ноклассик масалаларини сонли ечиш усуллари ишлаб чиқишдан иборат. **Тадқиқот вазифалари:** пластина ва ясси қобикларнинг сиртларидаги барча чегаравий шартларни қаноатлантириб, ночизикли эластиклик назариясининг уч ўлчовли масаласини икки ўлчовли масалага келтириш;

амалий механиканинг чегаравий ва спектрал масалаларини сонли ечиш учун дифференциал кўчириш усулини мукаммаллаштириш; ўта баланд иншоотларнинг оғирликлари ва заминда ўрнатилиш хусусиятларини

эътиборга олиб, ҳосил бўлиши мумкин бўлган резонанс ҳолатларни динамик сўндириш усулларини белгилаш;

ўзаро кўшма бўлмаган операторлар учун спектрал масалаларнинг дифференциал муаммосини ҳал қилишни илмий асослаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ўта баланд иншоотлар, юк таъсиридаги мураккаб шаклли юпқа деворли конструкциялар, қалин плиталар, ўта эластик пластина ва ясси қобиклар олинган.

Тадқиқотнинг предмети ташқи кўндаланг динамик кучлар таъсиридаги ўта баланд иншоотларнинг тебраниши, юк таъсиридаги мураккаб шаклли юпқа деворли конструкциялар деформацияланиши ва қалин плиталар учун амалий механиканинг масалалари ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Диссертацияда ўзаро кўшма бўлмаган операторлар учун спектрал масалаларда хос сонлар ва базис функцияларни аниқлашнинг дифференциал муаммосини ҳал қилиш усуллари; дифференциал кўчириш ва вариацион яқинлашиш усуллари қўлланган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

дифференциал операторлари кўшма ва кўшма бўлмаган спектрал масалаларни сонли ечиш усуллари ишлаб чиқилган;

такомиллаштирилган вариацион яқинлашиш ва дифференциал кўчириш усуллари ишлаб чиқилган;

мураккаб шаклли юк кўтарувчи конструкциялардаги ўта хавфли ички кучланиш соҳалари аниқланган ва ушбу ҳолатларни бартараф этиш усуллари ишлаб чиқилган;

ўта баланд иншоотларда динамик сўндиргичлар ёрдамида резонанс амплитудаларини икки баробар камайтириш усули ишлаб чиқилган; пластинанинг маҳкамланиш усулига мос аэродинамик флаттер ҳодиса сида критик тезликлар бир неча ўн баробарга фарқланиши аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси. Қалин плитанинг бир нуктасида жамланган кўндаланг кучлар таъсирида ҳосил бўлувчи ички кучланиш тақсимооти аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги деформацияланувчи қаттиқ жисм механикаси асосий принципларининг қўлланилиши, математик физика ва функционал анализнинг фундаментал асосларидан фойдаланилганлиги ва амалий механиканинг татбиқий масалаларини ечишга мўлжалланган алгоритмик дастурларнинг тест масалаларида тасдиқланиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қаралаётган ноанъанавий масалалар деформацияланувчи қаттиқ жисм механикаси ихтисослигида янги йўналишга асос бўлиши, ташқи динамик кучлар таъсирида пластина ва ясси қобикларда тўлқин тарқалиши қонуниятини ўрганиш имкониятининг пайдо бўлиши,

спектрал масалаларда дифференциал муаммонинг ҳал қилиниши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ўта баланд иншоотларда

резонанс ҳолатларни динамик сўндириш механизми, мураккаб шаклли юк кўтарувчи иншоотлардаги ўта хавфли ички кучланиш соҳаларини аниқлаш ва ушбу ҳолатларни бартараф этиш усуллари спектрал масалаларни ечишга мўлжалланган амалий дастурлар комплексини ишлаб чиқишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Мураккаб шаклли ясси қобиклар ва мураккаб шаклли пластиналар учун спектрал масалаларни сонли ечиш бўйича олинган натижалар 15-026 «Юк таъсиридаги авиация иншоотларини чекли элементлар усулида автоматлаштирилган лойиҳалаштиришни ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш» грант лойиҳасида қишлоқ хўжалиги учун мўлжалланган самолётларнинг юк кўтарувчи элементлари мустаҳкамлигини аниқлашда қўлланилган (Фан ва технологияларни ривожлантиришни мувофиқлаштириш қўмитасининг 2016 йил 2 июндаги 0313/348 сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши мураккаб шаклли соҳаларни изопериметрик координата системаси ёрдамида анъанавий соҳаларга акслантириш орқали самолётларнинг қанотлари, химикат учун мўлжалланган баклари ва шпангоутларининг устуворлиги ва мустаҳкамлигини ҳисоблаш аниқлигини 30–35% га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 12 та илмий–амалий анжуманларда, жумладан: «Механика и технология композитов» (Болгария, Варна, 1987); «Полимерные композиты» (Германия, Дрезден, 1987); «Интегральные уравнения в прикладном моделировании» (Одесса, 1989); «По вопросам рассеяния энергии» (Киев, 1989); «Ученые и специалисты в решении социально экономических проблем страны» (Ташкент, 1991); «Механика муаммолари» (Чимкент, 2007); «Амалий математика ва инфорамацион технологияларнинг долзарб муаммолари–Ал–Хоразмий 2012» (Тошкент, 2012); «Современные проблемы алгоритмизации» (Ташкент, 1991); «Математическое моделирование и численные методы решения задач прикладной математики» (Ташкент, 1992); «Вычислительный эксперимент, математическое моделирование и их применение» (Ташкент, 1993); «Проблемы и вопросы механики» (Ташкент, 1993); «Мониторинг летательных аппаратов» (Ташкент, 2000) мавзуларидаги республика ва халқаро илмий-амалий конференцияларда маъруза кўринишида баён этилган ҳамда апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларнинг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 40 та илмий иш, жумладан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 14 та мақола, жумладан, 10 таси республика ва 4 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 198 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Мураккаб шаклли пластина ва қобикларнинг ноанъанавий масалалари**» деб номланган биринчи бобида фазовий эластиклик нозичиқли назариясининг тенгламалари асосида кўчиш вектори ва кучланиш тензори компоненталари тақсимотига фаразлар киритмасдан пластина ва ясси қобикларнинг ноанъанавий назарияси яратилган. Таклиф этилаётган назария мураккаб шаклли соҳалар учун ривожлантирилган ва маълум назариялар қиёсий таҳлили келтирилган. Ўта баланд ва ўта эгилувчан иншоотларнинг нозичиқли масалалари ишлаб чиқилган.

Геометрик нозичиқли назарияси асосида, бошланғич (деформациягача)

$Ox_1x_2x_3$ декарт координата системасида U_i вектор кўчишнинг компоненталарига нисбатан ҳаракат тенгламаси

$$[(\delta_{ik} + U_{i,k})\sigma_{kj}]_{,j} + X_i - \rho U_i = 0. \quad (1)$$

Анизотроп материалларда ички кучланиш σ_{ij} ва чекли деформация e_{ij} ларнинг тензор компоненталари ўртасида физик чизикли

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} e_{kl} \quad (2)$$

ҳамда нозичиқли Коши-Грин муносабатлари

$$e_{ij} = \frac{1}{2} (U_{i,j} + U_{j,i}) + \frac{1}{2} (U_{i,j}U_{k,i} + U_{k,i}U_{j,i}) + \dots \quad (3)$$

2

бошланғич

$$U_i = 0 \quad (4)$$

0

0

$$U_i = U_i = V_{0i}$$

t ва чегаравий шартлар $t=0$

i, j

$()$

$$\delta_{ik} + U_{ik} \sigma_{kj} n_j = S_i U_i = U_i \quad (5)$$

$$\Sigma_1 \Sigma_2$$

ўринли бўлганда ҳажмий ва сирт кучлари таъсирида бўлган ихтиёрий фазовий жисмларнинг ички кучланиш–деформацияланишини аниқлаш учун муносабатлар тизимини ҳосил қиламиз. Бунда: $U_i^{\Sigma} - \Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2$ чегаранинг бир қисмида берилган ташқи кўчиш компонентлари, U_i^0, V_i^0 – жисмнинг бошланғич ҳолатини тавсифловчи функциялар, δ_{ij} - Кронеккер символлари, n_j –

$$10 \quad 10$$

ташқи нормал, ρ – зичлик, C_{ijkl} – анизотроп материалларнинг тензор константалари.

Пластиналар эгилишида, кўндаланг кўчишнинг бўйлама кўчишларга нисбатан юқори эканлигини эътиборга олиб (1)-(5) ночизиқли эластикликнинг умумий уч ўлчовли масаласида бўйлама кўчишларнинг ночизиқли ташкил этувчиларидан воз кечиб, изланаётган ечимни z нормал координатаси бўйича тўртинчи даражагача бўлган кўпхад кўринишида ёзиб оламиз: $= + +$

$$+ \quad - \quad +$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad Y_i \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad h Y_i \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$U u z \Phi z \Phi z V$$

$$\begin{pmatrix} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \end{pmatrix}, \quad \begin{matrix} + & + & - \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} i & i & i & i \\ \Phi & z & w \end{matrix}$$

$$\theta,$$

$$U w z V \Phi z \quad \begin{matrix} 2 & 1 & 2 \end{matrix} \quad \mu \quad \begin{matrix} i & i \end{matrix} \quad \mu \quad (6)$$

$$\begin{matrix} z \\ = + - \end{matrix} \quad \begin{pmatrix} \end{pmatrix}, \theta$$

2_2

$$\text{Бунда } \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} 2 \\ \Phi z \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} h z \\ 1 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad 20 \quad 1 \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad z$$

$$\Phi z, z_1 1 12$$

$$\begin{pmatrix} \end{pmatrix}_h$$

$$= - 12$$

$$= -$$

$$\begin{pmatrix} \end{pmatrix} \text{бўлиб, ушбу формула}$$

2_3

$$4$$

$$h$$

ва бундан кейинги ифодаларда ўзгарувчи индекслар фақат 1,2 ни қабул қилади. У ҳолда тангенциал ички кучланишлар σ_{iz} учун

$$\left\{ \left(\frac{h}{2} \right) \right\} \left\{ \Delta - \theta \right\} \left\{ \frac{v}{v} \right\} \left\{ \frac{G}{5} \right\} \left\{ \frac{w}{\psi} \right\} \left\{ \frac{w}{\theta} \right\} \left\{ \frac{V}{\theta} \right\} \left\{ \frac{Z}{12} \right\} \quad (10)$$

$$\left\{ \frac{\theta}{6} \right\} \left\{ \frac{+}{3} \right\} \left\{ \frac{=}{0} \right\} \left\{ \frac{0}{\mu} \right\} \left\{ \frac{v}{v} \right\}$$

тенгламалар системасига эга бўламиз. Бунда: D —плита бикирлиги, G —сил жиш модули, Δ — Лаплас оператори, Z —

z —пластинага таъсир этувчи

ташқи кучлар, v — Пуассон коэффиценти.

Кўчиш вектори (6) ҳамда симметрик кучланишлар тензори ком понентлари ўз навбатида x_1 , x_2 ва t ўзгарувчиларнинг номаълум функциялари бўлган u_i , ψ_i , w , V , θ интеграл катталикларга боғлиқ бўлганлигидан номаълумлар сонига тенг бўлган ҳаракат тенгламаларини ҳосил қилиш учун (1) тенгламаларни $[-0,5h; 0,5h]$ интервалида z ўзгарувчи бўйича интеграллаш процедурасини амалга ошириб, бўйлама — N_{ij} ва кесувчи — Q_i ички зўриқиш лар, эгувчи момент — M_{ij} ларни муомалага киритиб, чегаравий шартлар (5) ни

$$\frac{11}{11}$$

эътиборга олган ҳолда қуйидаги хусусий ҳосилали дифференциал тенгламалар системасини ҳосил қиламиз:

$$\left\{ \frac{N}{0} \right\} \left\{ \frac{p}{0} \right\} \left\{ \frac{m}{0} \right\} \left\{ \frac{u}{0} \right\} \left\{ \frac{+}{0} \right\} \left\{ \frac{ij}{0} \right\} \left\{ \frac{ii}{0} \right\} \left\{ \frac{=}{0} \right\} \left\{ \frac{M}{m} \right\} \left\{ \frac{Q}{h} \right\} \left\{ \frac{2}{0} \right\} \left\{ \frac{0}{0} \right\} \left\{ \frac{-}{0} \right\} \left\{ \frac{+}{0} \right\} \left\{ \frac{-}{0} \right\} \left\{ \frac{=}{m} \right\}$$

$$0$$

$$\frac{ij}{12}$$

$$\left\{ \frac{\Psi}{+} \right\} \left\{ \frac{(11)}{-} \right\} \left\{ \frac{Q}{+} \right\} \left\{ \frac{N}{+} \right\} \left\{ \frac{w}{+} \right\} \left\{ \frac{M}{+} \right\} \left\{ \frac{V}{+} \right\} \left\{ \frac{S}{+} \right\} \left\{ \frac{S}{-} \right\} \left\{ \frac{mw}{-} \right\} \left\{ \frac{=}{-} \right\}$$

$$(\ ,\), (\ ,\), 0, \\ iiijjiijjizz$$

Бунда: , $p\ m_{ii}$ ташки бўйлама куч ва моментлар, m – кўндаланг кесим массаси. Плитага тегишли асосий чегаравий шартлар интеграл катталиклар учун қуйидаги кўринишда ёзиб олиниши мумкин:

I. Шарнирли боғланиш

$$0, 0, 0, 0, 0\ N\ n\ M\ n\ w\ V_{ijjiij\S\S\S\S\S} = = = = \theta$$

II. Қотириб маҳкамлаш

$$0, 0, 0, 0, 0\ ii\ u\ w\ V\ \psi\ \theta_{\Sigma\S\S\S\S} = = = = (12)\ \text{III. Эркин чегара}$$

$$N\ n\ M\ n\ Q\ n\ V\ n\ n_{ijjiijiiii\S\S\S\S\S} = = = = 0, 0, 0, \ ,\ 0\ \theta$$

Шундай қилиб, соддалаштириш ва фаразлардан ҳоли бўлган плита ларнинг ноанъанавий назарияси яратилди. Ушбу назариядан қалин плита, ўрта қалинликдаги ва эгилувчан пластиналарнинг чизиқли ва ночизиқли ҳаракат тенгламалари хусусий ҳолда олиниши мумкин. Масалан, $0, 0, p\ m_{ii}$

$=$ бўлганида (10), (11)-тенгламаларда ночизиқли ҳадлардан воз кечиб, ҳамда бўйлама кўчишлар ва силжиш бурчаклари учун потенциаллар киритиб, ўрта қалинликдаги пластиналар учун соддалаштирилган ҳаракат тенгламаларини ҳосил қилиш мумкин.

$$\begin{matrix} v\ v \\ 1 \\ - \\ \textcircled{0} \end{matrix} \quad \begin{matrix} G\ u \\ qh\ mu \\ \Delta + - \end{matrix} =$$

$$\begin{matrix} 4 \\ 2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 2 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} | \\ | \rangle \\ | \langle \Delta | \\ | \langle \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} h \\ 2 \\ D \\ v\ v\ 2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} | \langle - \\ | \langle \end{matrix}$$

$$\Delta + - + - \psi\ v$$

$$\begin{matrix} 1 \\ 12 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 1 \\ 5(1\ 2) \end{matrix} \quad \begin{matrix} v \\ q \\ + \end{matrix} \quad (13)$$

$$2\ 2$$

$$\begin{matrix} h \\ v \end{matrix} \quad \begin{matrix} | \langle - \\ | \langle \end{matrix} \quad \begin{matrix} | \rangle \\ | \langle \Delta | \\ | \langle \end{matrix} \quad \begin{matrix} \textcircled{0} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} m \\ 1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} +\ -\ -\ + \\ v \end{matrix}$$

$$\frac{5}{1} \quad 12(1 \quad 2) \vee \Psi \quad 0$$

$$=$$

Ўрта қалинликдаги пластиналар учун, (13) тенгламалар системаси биринчи марта ҳосил қилинди. Чунки, пластиналарнинг ўрта текислиги чўзилмайди деган фараз кўндаланг кучлар таъсирида пластиналарда бўйлама тўлқин тарқалишини инкор этади. (13) ҳаракат тенгламаларининг биринчиси эса пластиналарда бўйлама тўлқин тарқалишини таҳлил қилиш имконини яратади. Ушбу системанинг иккинчи тенгламаси эластиклик назариясининг аниқ уч ўлчовли муносабатларига $o(h^3)$ аниқликдаги учинчи даражали яқин лашувчи машҳур Рейсснер-Миндлин тенгламаларидан фақат ҳадлардаги ўз гармас кўпайтувчилар билан фарқланади. Ўта юпқа пластиналар учун (13) иккинчи ҳаракат тенгламаларида h^2 кўпайтувчи қатнашган ҳадлардан воз кечилса, аввалдан маълум Кирхгоффнинг анъанавий тенгламаси ҳосил бўла-

$$12 \quad 12$$

ди. Ушбу тенглама эластиклик назариясининг аниқ уч ўлчовли муносабат ларига $o(h)$ аниқликдаги биринчи яқинлашишни таъминлайди. В.З. Власовнинг ясси қобикларга тегишли умумий назариясини қўл лаган ҳолда бўйлама кучланишларни қуйидаги кўринишда ёзиб олишимиз мумкин

$$(e \ w) \ 2 \ (e \ w) \ \sigma_{ij} = \lambda_{kk} - \zeta_{kkl} X_l$$

$$\delta_{ij} + \mu_{ij} - \zeta_{ijl} X_l. \quad (14)$$

Бунда: ζ_{ijl} – учинчи рангли тензор компоненталари фақат $\zeta_{111} = \zeta_{222} =$ бўлиб, қолганларининг барчаси нолга X_k – ясси қобикнинг ко тенг бўлади.

ордината ўқлари бўйича эгрилигини аниқлайди, $= 0$ X_k бўлганда ясси қобик пластинага айланади. Коши–Гриннинг e_{ij} – бўйлама деформацияларининг ком поненталари (3) формулага мувофиқ аниқланади. Ясси қобикларнинг эгрили гидан пайдо бўлувчи $N_{ij} \zeta_{ijl} X_l$

Бўйлама зўриқишлар «кўшимча» кўндаланг куч сифатида эътиборга олиниб, (11) каби ҳаракат тенгламаси ҳосил қили нади.

Юқорида пластина ва ясси қобикларнинг ноанъанавий назарияси тўғри тўртбурчакли анъанавий соҳалар учун ишлаб чиқилди. Лекин ташқи юк таъ сиридаги кўпгина иншоотлар мураккаб шаклли ноанъанавий соҳаларда дефор мацияланиши маълум. Мураккаб шаклли пластина ва ясси қобикларга так лиф этилаётган ноанъанвай назарияни татбиқ этиш учун Оху декарт коорди ната системасида эгри чизиқли трапеция шаклидаги деформацияланувчи со ҳани $O\xi\eta$ изопериметрик координата системасини муомалага киритиб,

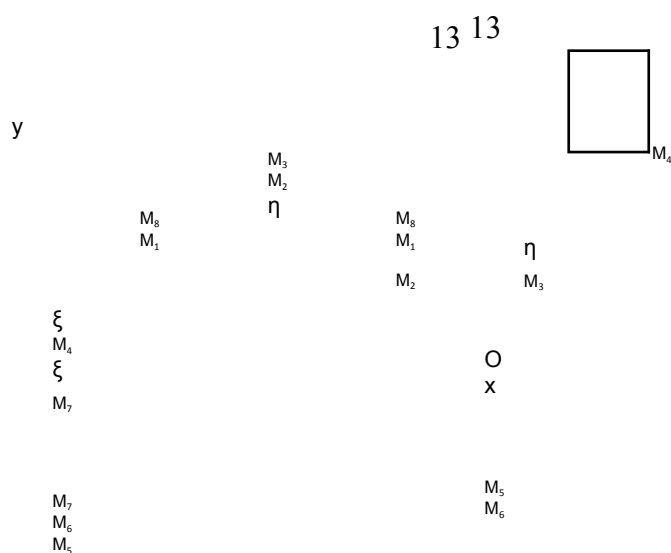
$$= =^8$$

$$8$$

$$\begin{array}{ccc} x N \xi \eta x y N \xi \eta y & & \\ & (,), (,) & \\ & k k & \\ k & 1 & \end{array}$$

(1-расм). Бунда: $\binom{m}{k}$

Таклиф этилаётган ноанъанавий назария пластина ва ясси қобик ларнинг маълум барча анъанавий ва такомиллаштирилган назарияларнинг умумлашмаси сифатида ишлаб чиқилди. Бизга маълум мос фаразлар ва соддалаштиришларни қўллаш орқали назариялардан ҳар бирини таклиф



этилатган назариянинг хусусий ҳоли сифатида ҳосил қилиш мумкин. Масалан, Кирхгофнинг анъанавий назарияси ташқи уринма кучлар бўлмаган ҳолда (6) ифодалардан $\psi_k = -w_{,k}$ алмаштириш ва пластиналарнинг қалинлиги бўйича эзилишини эътиборга олмасдан ($e_{zz} = 0$ ёки $V = \theta = 0$) ҳосил қилинади.

Пластина ва ясси қобиклар назарияларини мукаммаллаштириш бир томондан янги татбиқий муаммоларни ҳал қилиш имкониятини яратиб, иккинчи томондан, ҳисоблаш алгоритмларини мураккаблаштиришга олиб келиб тадқиқотчилар олдига самарали ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишни тақозо қилади.

Аниқлик даражаси бўйича энг мақбул йўналишлардан бири – қаралаётган мувозанат масалаларини чегаравий шартларни бирор нуктага кўчириш орқали Кошининг тенг кучли масалаларига айлантиришдир, чунки Коши масаласи замонавий ахборот технологиялари воситасида талаб этилган аниқликда ечилиши мумкин. Ушбу йўналишлар ичида энг самаралиси сифатида дифференциал кўчириш усули тан олинган. Бу усулнинг асосини яратишда А.А.Абрамов, И. Бабушка, Н.Мухитдинов, Ф. Б. Бадалов ва бошқаларнинг изланишларини таъкидлашимиз мумкин. Бунда асосий камчилик: ҳисоблаш алгоритмининг ҳар бир чегаравий шартнинг турига бевосита боғлиқ равишда ишлаб чиқилишидир.

Диссертациянинг «Чегаравий ва спектрал масалаларни сонли ечиш усули» деб номланган иккинчи бобида умумлаштирилган дифференциал кўчириш усули асосида бир ва икки ўлчовли чегаравий масалаларни ечиш учун сонли усуллар ишлаб чиқилган. Ихтиёрий чегаравий шартда спектрал масалаларнинг дифференциал муаммосини сонли ҳал этиш усули таклиф этилган. Сонли усуллар ишончилиги ва асослилиги маълум статик ва динамик масалалар мисолида таҳлил қилинган.

Амалий механиканинг татбиқий статика масалалари у ёки бу усулда оддий дифференциал тенгламалар системасига келтирилади. Ушбу чегаравий масалалар умумлаштирилган матрица-вектор кўринишида ёзиб олиниши мумкин:

$$(C(x)V' + Q(x)V) + A(x)V' + B(x)V = F \quad (15)$$

$$a V' + b V = f \quad (16)$$

$$x = 0, l \text{ бўлганда } x \times x$$

$$14 \quad 14$$

Бунда: $C(x)$, $Q(x)$, $A(x)$, $B(x)$, $F(x)$ – қаралаётган татбиқий масаланинг физик механик хоссаларини аниқловчи олдин берилган матрица ва вектор функциялардир. a , b , f – ихтиёрий чизикли чегаравий шартни характерловчи матрица ёки вектор ўзгармаслар.

Умумий ҳолда ёзилган (16) чегаравий шартни бир томонга кўчириш учун (15) тенгламанинг структурасидан келиб чиқиб, қуйидаги ёрдамчи матрица-вектор кўринишидаги оддий дифференциал тенгламалар системасини муомалага киритамиз:

$$\alpha (C(x)V' + Q(x)V) + \beta V = f, \quad (17)$$

Бунда: α , β , f – аниқланиши лозим бўлган номаълум матрица ва вектор функциялар. Охирги тенгламалар системасини x бўйича дифференциаллаб: $'$

$$\alpha(C(x)V' + Q(x)V) + \alpha'(C(x)V' + Q(x)V) + \beta V' + \beta'V = f' \text{ ҳосил бўлган} \quad (18)$$

тенгламани тескари матрицага кўпайтириб, сўнг қайта гуруҳ лаб, қуйидагига эга бўламиз:

$$(C(x) \vee Q(x) \vee) \alpha (\alpha C(x) \beta) \vee \alpha (\beta Q(x)) \vee \alpha f$$

$$+ ' + ' + ' + ' = ' \quad (19)$$

Юқорида келтирилган (19) ва (15) тенгламалар системаси, ҳамда (17) ва (16) $x=0$ бўлганда солиштириб, номаълум α, β, f матрица ва вектор функцияларни аниқлаш учун қуйидаги Коши масаласига келамиз: --

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} (x) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} A(x) \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}, \quad \alpha(0) = a, \quad \beta(0) = b, \\ & C(x) \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = 0, \\ & \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} f(x) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} f(x) \end{aligned}$$

Номаълум коэффициентлар учунҳосил бўлган (20) матрицавий дифференциал тенгламалар системаси кўринишли Коши масаласини кесмада чапдан ўнгга қараб ечгач, $\alpha(x), \beta(x), f(x)$ номаълумларнинг қийматлари аниқланади, жумладан $x=l$ нуқтада $\alpha(l), \beta(l), f(l)$ қийматлар маълум бўлади. У ҳолда (16) ва (17) ни эътиборга олсак $V(l), V'(l)$ вектор номаълумлар компоненталарига нисбатан $2n$ алгебраик тенгламалар системасига эга бўламиз:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} (l) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} (0) + \int_0^l \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} (x) dx \\ & \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} (l) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} (0) + \int_0^l \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} (x) dx \end{aligned} \quad (21)$$

V

$$(\)(\)(\)(\)(\)_0$$

$$| \left(+_{\alpha} C_1 \beta_1 \alpha_1 Q \neq | \right) |$$

бажарилиб, (16) тенгламалар системаси коэффициентларининг нормаларига қўйилган баъзи чеклашлар бажарилганда ягона ечими мавжуд эканлиги исботланди.

15 15

Эластикликнинг ихтиёрий бир ўлчовли чизиқли динамик масаласи Фурьенинг ўзгарувчиларнинг бўлаклаш усулига мувофиқ ҳамма вақт қуйи дақи умумлаштирилган спектрал масалани ечишга олиб келинади: '

$$[C(x)U \ Q(x)U] + A(x)U' - [pM(x) - B(x)]U = 0 \quad (23)$$

Бунда: p – хос сон. Ҳосил бўлган бир жинсли чегаравий масала ҳам мукамаллаштирилган дифференциал кўчириш усули билан ечилади. Бунда изланаётган хос сон p – бир жинсли (23)–(24) чегаравий масаланинг нолдан фарқли ечими мавжудлик шарти –

$$(\)(\)(\)(\)(\)_0$$

$$\left| \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{pmatrix} \right| = \left| \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{pmatrix} \right|$$

дан аниқланади.

Таклиф қилинаётган мукаммаллаштирилган дифференциал кўчириш усули ёрдамида (23)–(24) спектрал масаласининг хос сонлар ва базис функциялар учун дифференциал муаммоси ҳал қилингандан сўнг, умумий ечим $U(x)$ базис функциялар бўйича қаторга ёйилади:

$$\sum_{r=0}^{\infty} T_r(t) U(x), \quad (26)$$

бунда $T_r(t)$ вақт бўйича дифференциал тенгламанинг ечимидир. Эластиклик назариясининг бир ўлчамли динамик масаласининг тўла ечимини юқори аниқликда ҳисоблаш усули яратилди. Шу билан бир қаторда, пластина ва ясси қобикларнинг асосий татбиқий масалалари координата бўйича икки ўлчовлидир ва уларни координата ўқлари бўйича номаълум функцияни бўлаклаб $v(x, y)$ $(x, y) \in \Omega$

ни қўлласак, ҳар бир координата бўйича мос равишда бир ўлчовли масалага келамиз. Икки ўлчовли масалаларни бир ўлчовли масалага келтириш усули вариацион яқинлашиш усули деб аталади ва эластиклик назариясининг но чизиқли статик масалаларини ечиш учун ҳам чекловларсиз қўлланилиши мумкин.

Юқоридагига ўхшаш пластина ва ясси қобикларнинг динамик масалалари ҳам вариацион яқинлашиш ва мукамаллаштирилган дифференциал кўчиш усули биргаликда қўллаш орқали ечилади, яъни мос координата ўқлари бўйича бир ўлчовли масала ечилиб базис функциялар аниқлангандан сўнг, қаралаётган икки ўлчовли спектрал масаланинг хос сони Релейнинг энергетик формуласи орқали аниқланади.

Замонавий ахборот–коммуникацион технологиясининг Турбо–Паскал алгоритмик тили асосида пластина ва ясси қобикларнинг ташқи кучлар таъсиридаги статик ва динамик масалаларига доир аниқ ечими мавжуд масалалари орқали ишлаб чиқилган сонли ҳисоблаш алгоритмлари учун яратилган комплекс дастурларининг ишончлилиги ва самарадорлиги аниқланган. Масалан, спектрал масалаларда турли чегаравий шартлар учун камида 7–8 хос сонлар ва базис функциялар аниқланди.

16 16

Диссертациянинг «**Қалин плита мувозанати ва ҳаракатига доир баъзи масалалар**» деб номланган учинчи бобда ноанъанавий назарияни масалаларда қўлланилиши, ишончлилиги, асосланганлиги ва олинган натижаларнинг аниқлик даражаси таҳлил қилинган. Нуқтада жамланган куч таъсирида қалин плиталарда ҳосил бўлувчи кучланиш ва деформациялар аниқланган. Абсолют қаттиқ ва ўта текис асосдаги, текис тарқалган ёйилма куч таъсиридаги қалин плитанинг бўйлама деформацияланиши ҳамда тоза эгилиши масалаларида ноанъанавий назария доирасида аниқ ечим олишга эришилди. Текис ёйилма куч таъсиридаги шарнирли маҳкамланган қалин плиталар эгилишида ноанъанавий назария бўйлама зўриқишларни ҳисоблаш имкониятини яратди ва плитанинг қалинлигига мутаносиб, маълум назариялар натижаларини 40 фоизгача яхшилади.

Ҳар қандай яратилган назариянинг ишончлилиги ва самарадорлиги

эластиклик назариясида аниқ ечими мавжуд бўлган амалий масалани ечиш орқали таҳлил қилинади. Шундай масала сифатида асосан Б. Ф. Власовнинг синусоидал ёйилма юк таъсиридаги уч ўлчовли шарнирли боғланган қалин плитанинг эгилиши қаралади. 1-жадвалда плитанинг (0,5; 0,5; 0,0) нуқтасида wE – эгилиш учун таҳлил қилинаётган назарияларнинг қиёсий натижалари

$$hq^0$$

берилган. 1-жадвалдаги Δ даги индекслар назариялар номланишига мос келади. Анъанавий назария $h/l < 0,1$ бўлган пластиналар учун, Рейсснер назарияси эса $h/l < 0,2$ ўрта қалинликдаги пластиналар, мукаммаллаш тирилган Тимошенко назарияси фақат $h/l < 0,3$ бўлган плиталар учун қониқарли натижаларни бериши мумкин. Лекин таклиф этилаётган ноанъанавий назария ўта қалин $h/l = 0,4$ бўлган плиталарда ҳам таҳлил қилиш учун қўлланилиши мумкин.

Ҳозиргача маълум назариялар плиталар эгилишидаги кўндаланг деформацияси, яъни уларнинг эзилишини эътиборга олмайди. Лекин уч ўлчовли масаланинг аниқ ечимидан плиталарда эгилиш пайтидаги эзилиш кўзга яққол ташланмоқда. Олинган натижалар (2-расм), Рейсснер назарияси плитанинг нормал координатаси бўйича ўзгармас ўртача, Тимошенконинг мукаммаллаштирилган назарияси ўзгармас юқори натижа беради. Ноанъанавий назария плитанинг эзилишини эътиборга олган ҳолда аниқ ечимга жуда яқин натижаларни беради.

Бирор $M(x_0, y_0)$ нуқтада жамланган куч:

$$(\delta x, \delta y) = P(\delta x - x_0, \delta y - y_0)$$

$$(27)$$

таъсирида плиталарнинг эгилиши махсусликка эга бўлган муҳим амалий масалалардан бири сифатида қаралади. Бунда: P – таъсир этаётган куч интенсивлиги; $\delta(x)$ – Диракнинг дельта функцияси. Куч таъсир этаётган нуқтада сиртга нормал кучланишлар чексиз миқдорга эришади.

Ушбу масала плита томонлари ва қалинлигининг турли нисбатларида таҳлил қилинди. Жамланган куч қўйилган нуқтада таҳлил этилаётган миқдорларнинг барчаси ўзининг максимумига эришади ва уларнинг тақсимланиши юқори градиентга эга (3-расм). $P/E=0,00005$ нисбат учун

17 17

1-жадвал

Б. Ф. Власов масаласининг турли назариялар учун қиёсий таҳлили

h/l	Анъанавий назария	Такомиллаштирилган ва ноанъанавий назариялар			Аниқ ечим	Нисбий хатолик, %			
		Рейсснер	Тимошенко	Ноанъанавий		Δ_k	Δ_p	Δ_T	Δ_n
0,1	280,26	296,06	292,03	294,38	294,24	4,8	0,8	0,6	0,0

0,2	17,51	21,47	20,26	21,07	20,98	16,5	3,4	2,3	0,4
0,3	3,46	5,22	4,55	5,05	4,97	30,5	8,5	4,8	1,5
0,4	1,09	2,08	1,63	1,99	1,97	43,3	15,4	7,9	3,3
0,5	0,45	1,08	0,75	1,02	0,96	53,6	22,3	11,7	5,8

эгилиш ўқи плита қалинлигининг 8% ни, ички момент максимуми эса плита биқир-лигининг 35% ни ташкил этади ($h = 0,02a$, $a = b = 1$, a, b – плита бўйи ва энининг узунлиги).

Жамланган куч қўйилган нуқтанинг марказдан чегара томон силжиши изланаётган миқдорлар қийматини ўн баробар камайтирди (4-расм).

$U_z E / h q$
3,7
3,5
3,3
3,1

-0.167 0 0.167 z

Аниқ ечим Ноанъан. назария

Рейсснер назарияси Тимошенко назарияси

2-расм. Турли назариялар бўйича z^1

h учун U_z эгилишнинг z бўйича

$l =$

тақсимланиши.

Плитага таъсир этувчи нуқтада жамланган динамик куч қуйидаги кўринишларга эга бўлсин:

1. Нуқтада жамланган кучнинг оний таъсири:

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(t - t_0)$$

2. Нуқтада жамланган кучнинг гармоник таъсири:

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \sin \omega t$$

0 0

3. Текисликда ҳаракатланувчи нуқтада жамланган куч:

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0 - c t) \delta(y - y_0 - c t)$$

Нуқтада жамланган кучнинг оний зарбли таъсири остида платада куч қўйилган ондан бошлаб тебранма ҳаракат юзага келади ва куч қўйилган нуқтада ҳосил бўлувчи ички кучланишлар юқори градиенти сақланиб қолади. Нуқтада жамланган кучнинг гармоник таъсири остида куч қўйилган ондан бошлаб тебранма ҳаракат юзага келиб, ушбу жараён платада титраш ҳолати билан биргаликда давом этади. Титраш амплитудаси ташқи гармоник таъсир частотаси кичрайишига пропорционал камаяди. Текисликда ҳаракатланувчи нуқтада жамланган куч таъсирида платада вақт ўтиши билан сиқилиш ва чўзилиш соҳалари пайдо бўлади (5-расм). '

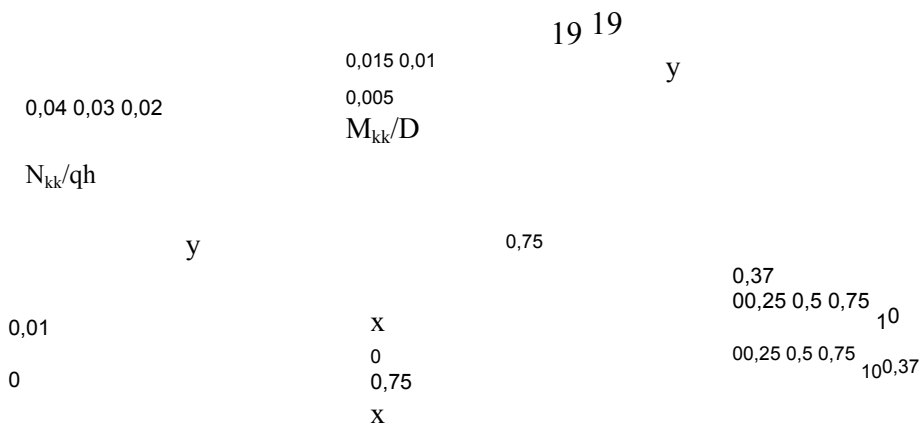
$$\begin{aligned}
 & \begin{array}{c} | \\ | \end{array} (\begin{array}{c} | \\ | \end{array}) \begin{array}{c} | \\ | \end{array} \begin{array}{c} | \\ | \end{array} \\
 & \begin{array}{c} | \\ | \end{array} \begin{array}{c} | \\ | \end{array} , \\
 & \begin{array}{c} - \\ + \end{array} \int \\
 & M P g m z dz W q m W () 0 \\
 & \begin{array}{c} + \\ - \\ = \end{array} \\
 & \begin{array}{c} \text{о} \\ \text{о} \end{array} \\
 & \begin{array}{c} x \\ M \end{array} \\
 & - " + = (1) \\
 & R W D x () 0,
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

Диссертациянинг «Ўта баланд иншоотларда резонанс ҳолатларини таҳлил қилиш ва сўндириш» деб номланган тўртинчи бобда вақт бўйича даврий ташқи таъ-сирлар остида қаралаётган иншоотлар маҳкамланиш усулини, ўз оғирлигини ва геометрик шаклини эътиборга олиб резонанс ҳолатлар таҳлилқилинган. Динамик сўндиргичлар ёрдамида резонанс амплитудаларни кескин камайтириш ёки бартараф қилиш механизми ишлаб чиқилди.

Ўзгарувчан биқирлик ва кўндаланг кесим массасига эга ўта баланд иншоотларнинг ўз оғирлиги эътиборга олинган ҳолда ички момент ва эгилишга нисбатан текис тебранма ҳаракати қуйидаги хусусий ҳосилалари

W/h		k _k /D	
0,06		0,1	
0,08 0,04		0,05	
0,02	у	0	
0	у		
х	0,75	х	у
х	00,25 0,5 0,75		0,75
	10 ^{0,375}		00,25 0,5 0,75
	0,15		10 ^{0,37}

жамланган куч таъсирида платада ҳосил бўлувчи эгилиш ва ички моментларнинг эпюраси.



а) бўйлама зўриқиш тақсимооти б) момент тақсимооти

4-расм. Чегарага яқин жойлашган нуктада жамланган куч таъсирида платада ҳосил бўлувчи бўйлама зўриқиш ва ички моментлар эпюраси.

дифференциал тенгламалар системаси билан берилади: Бунда;

$$= - = - \int \int - \text{иншоот материалининг вақт ўтиши} \quad R R t d R t d \varphi \tau \varphi \tau \tau \tau \varphi$$

т т

$$(-\infty) (0) (0) (0)$$

билан тиниққан қайишқоқ эластиклик ҳоссаларини характерлайди. Ўта баланд иншоотлар асосининг силжишга ва эгилишга мойиллигини эътиборга олган ҳолда қотирилиш нуктасида кинематик қўзғалувчи ташқи тебранувчи таъсирлар учун қуйидаги чегаравий шартларни ёзиб олиши мумкин:

$$W k M W t$$

$$[+ = ']$$

$$0 \text{ да } , = \{ , + = \} \quad \theta \quad o()$$

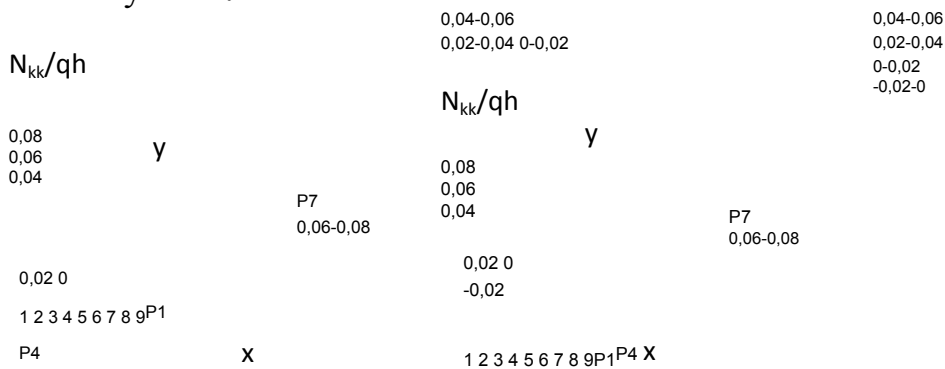
$$x W k M 0$$

(29)

$$x l M M = = ' \quad \varphi \text{ да } 0,$$

Бунда: $W_0(t)$ – иншоот асосининг тебранма ҳаракати қонуни. Қаралаётган иншоотларнинг кўндаланг кесими доира бўлсин. У ҳолда телеминора шаклидаги (6-расм) иншоотларнинг диаметри қуйидаги кўри нишда ёзиб

олиниши мумкин:



5-расм. Текисликда ҳаракатланувчи нуқтада жамланган куч таъсирида плитада вақтнинг ҳар хил қийматларида ички зўриқишлар тақсимооти.

20 20

$$I \text{ mun } d x d d d$$

$$- = + - -$$

$$() () 1 () () , H l x H l x d H x l$$

$$l l$$

$$1 0 1$$

$$l$$

$$| - + -$$

$$1 2 0 2 1$$

$$] p p p$$

$$() () () , x H l x H l x = - + - \quad (30)$$

$$0 2 1 2$$

$$-$$

$$x$$

$$[]$$

$$II \text{ mun } d x d e H l x H x l$$

$$- = + - -$$

$$() () (,$$

$$0 2 1$$

$$y$$

$$p p p$$

$$() () ()$$

$$x H l x H x l$$

$$= + - -$$

$$0 1 2 1$$

Бунда: $H(x)$ – Хэвисайд функцияси.

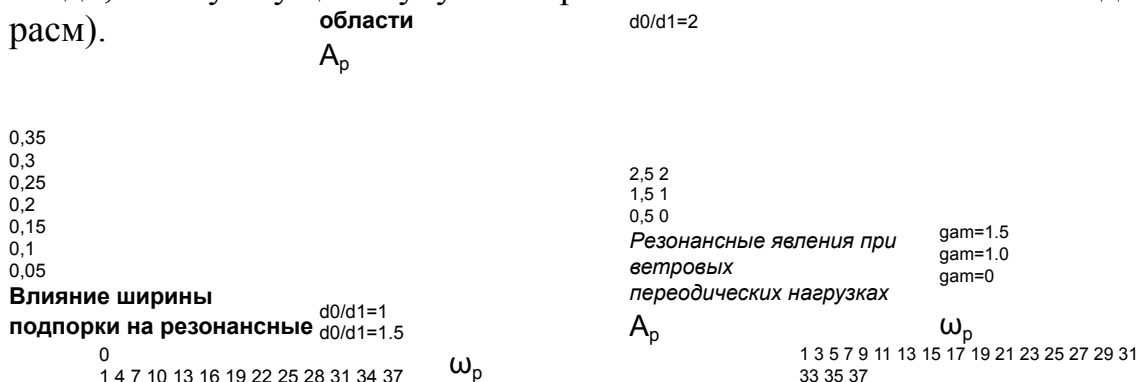
Одатда иссиқлик электростанциялари тутун миноралари асосида тиргович маҳкамланган ҳолда ишлатилади. Ушбу иншоотлар учун кўндаланг кесим диаметри қонунияти (30) ифодадан $l_2 = l$ қиймат танлаб олиниб ҳосил қилиниши мумкин. Тиргович асосининг кенгайиши иншоотларнинг кинематик қўзғалишида резонанс частоталарнинг тезкор ошишига, яъни иншоот устуворлигининг мустаҳкамланишига олиб келади (7-расм).

$p_1 p_1$

$l l_2 l_1 l_2 l$

6-расм. Телевизион минора шаклидаги ўта баланд иншоотларнинг схематик тасвири.

Ўта баланд иншоотларга шомол кучининг кўндаланг таъсири ($q_0 = 0,1$; $q_i = 0$) натижасида амплитуда–частота боғлиқлиги тамомила бошқача тус олади, яъни ушбу ҳолат учун бош резонанс частота асосийга айланади. (8-расм).



7-расм. Тутун чиқариш минораси асосидаги тиргович энининг кинематик қўзғолиш ҳодисасида резонанс частоталарга таъсири.

8-расм. Тутун чиқариш минорасига шомол кучининг кўндаланг таъсирида резонанс ҳодисалар характери.

21 21

Телеминора шаклидаги ўта баланд иншоотлар юза бирлигидаги таъсири жиҳатидан массаси оғир иншоотлар жумласига киради. Ушбу иншоотларда ернинг геологик сифатларини эътиборга олган ҳолда асоснинг қотирилиш усуллари ҳам муҳим аҳамият касб этади.

Бу маънода резонанс ҳолатлар учун иншоот оғирлиги ва асосининг қотирилиш усули таъсирини тадқиқ қилиш, ўрганилаётган объектнинг эгилишдаги тебранишларга қаршилиқ даражасини аниқроқ баҳолаш имкониятини яратади.

Натижалар шуни кўрсатмоқдаки, иншоот оғирлиги резонанс амплитудани беш баробарга қадар ошишига олиб келади, лекин резонанс частоталари ўзгармайди. Бундан оғирлик кучи иншоотнинг эгилишдаги биқирлигига таъсир қилмаган ҳолатда фақат тебраниш амплитудасини ўзгартиришга олиб келади (9-расм).

Асоснинг эгилишга ва силжишга бўлган мойиллиги зилзила тўлқинлари тарқалишида юқори частотали ташқи таъсирларда, иншоотнинг эгилишдаги биқирлигининг камайишига олиб келади, бинобарин ушбу частоталарда резонанс амплитудаларнинг ошиши кузатилмоқда (10-расм). Бундан ўта баланд иншоотлар асосининг ўрнатилишида ер майдонининг геологик ҳолатини эътиборга олиш муҳим омил эканлиги келиб чиқади.

Ўта баланд иншоотларда резонанс амплитудаларининг ошиши нохуш ҳодисаларга олиб келади. Шу сабабли резонанс амплитудаларни талаб даражасида камайтириш динамик сўндиргичлар ёрдамида амалга оши

рилиши мумкин. Динамик сўндиргичларни ўта баланд иншоотларнинг ўртасида жойлаштириш энг яхши самара бериши аниқланди. Бунда динамик сўндиргичнинг массаси иншоот кўндаланг кесими массасидан ўн баробар оғир бўлиши зарур.

Ўта баланд иншоотларга кўндаланг йўналишда шамол кучининг ва унинг асосида кинематик қўзғалиш шароитида даврий қонуниятларга бўйсунувчи ер сиртида тарқалувчи зилзиласимон тўлқинларнинг таъсирини амплитуда-частотали боғланишларда олинган натижалар кўринишида берилган (11–12-расмлар). Олинган натижалар шуни кўрсатмоқдаки, сўндиргичларда бикирлик/масса муносабатнинг ўсиши резонанс амплитудаларнинг икки баробаргача камайишига олиб келади. Бундан турли массали динамик сўндиргичларни ўта баланд иншоотларни танлаб олинган баландликларида энг мақбул кетма-кетликда жойлаштириш орқали резонанс ҳолатларни тўла бартараф этиш мумкинлиги келиб чиқади. Амалий механиканинг динамик масалалари у ёки бу усул ёрдамида математик физиканинг спектрал масалаларини ечишга олиб келинади. Спектрал масалаларда хос сон ва базис функцияларни аниқлаш фундаментал муаммолардан ҳисобланди.

Диссертациянинг **“Юк кўтарувчи иншоотлар қисмлари учун спектрал масалалар»** деб номланган бешинчи бобида ўзаро қўшма ва қўшма бўлмаган дифференциал операторлар учун хос ва базис функциялар аниқланган.

22 22

Спектрал масалаларни ечиш алгоритмларининг ишончлилиги ва самардорлиги Ново–Ангрен иссиқлик электростанцияси тутун минорасининг эркин тебраниши тажрибаси натижалари орқали таҳлил қилинди, назарий ва экспериментал натижалар фарқи 10–15 фоиздан ошмади.

Аэроэластикадаги флаттер ҳодисасида товушдан тез учувчи ҳаво аппаратлари юк кўтарувчи қисмларида маълум критик – v тезликка эришиш арафасида тўсатдан синиш ёки ёрилиш натижасида фалокат рўй бериши кузатилади. Ушбу ҳодисанинг олдини олиш ва критик тезликни янада ошириш долзарб муаммолардан бўлиб келмоқда.

Қаралаётган муаммонинг мазмунига монанд, бир ўлчовли спектрал масала ечилади ёки ечимнинг симметриклик хусусиятидан фойдаланилади. Масалан, ҳаво оқимида мос йўналиш бўйича пластиналардаги критик тезликни аниқлаш энг кўп учрайдиган уч чегаравий шартда бир ўлчовли масала сифатида қаралди (13-расм). Олинган натижалардан пластиналар чегарасини маҳкамлаш усули критик тезлик учун ҳал қилувчи омил сифатида қараш зарурлиги келиб чиқмоқда:

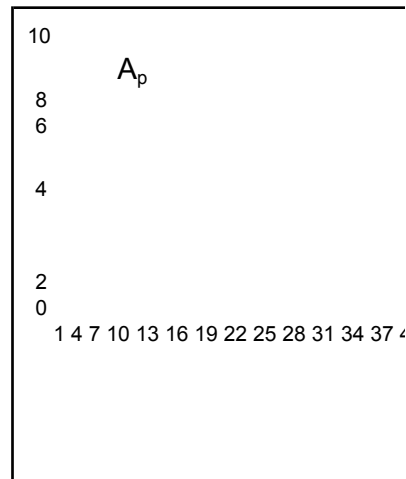
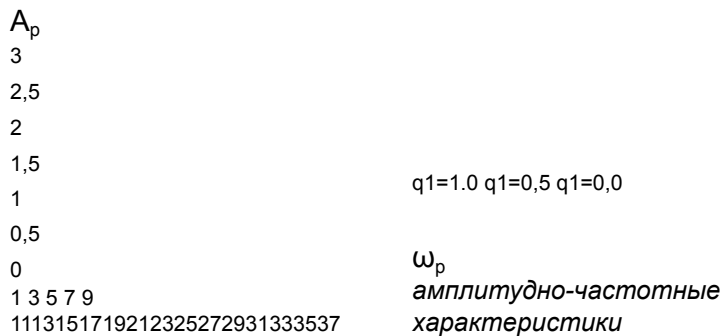
1. Қотириб маҳкамлаш: $V=218.932$;
2. Шарнир боғланиш: $V=50.637$;
3. Консол маҳкамланиш: $V=6.323$

Агар пластинанинг чегаралари турли усулда маҳкамланган ёки ҳаво

*Влияние податливости основания к изгибу
на*

оқими бирор бурчак остида таъсир қилаётган бўлса, икки ўлчовли спектрал

масалага келамиз.

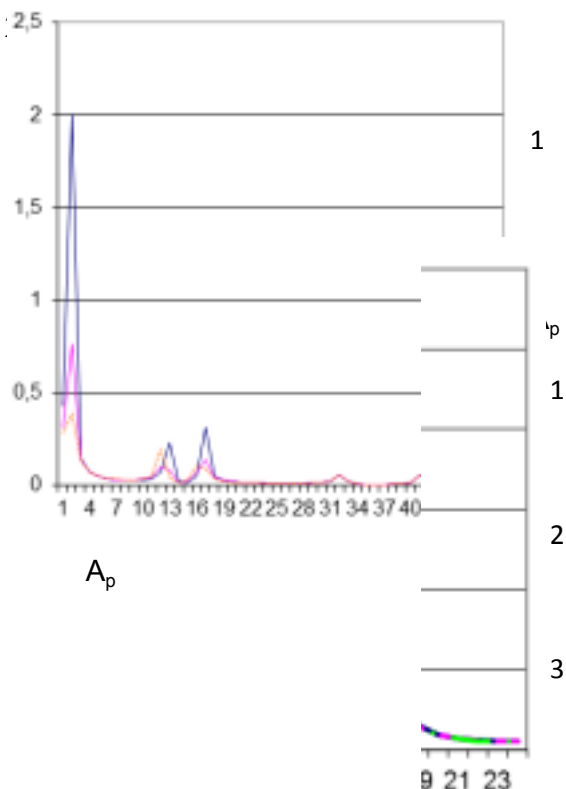


нинг резонанс ҳолатларга таъсири.

10-расм. Ўта баланд иншоот асоси нинг эгилишга мойил-лигининг резонанс ҳолатларга таъсири.

9-расм. Ўта баланд иншоот оғирлиги

2-жадвалда пластиналар маҳкамланиш усули ва ҳаво оқими йўналиш бурчагининг ўзгариши бўйича ҳисобланган критик тезлик қийматлари келтирилган. Олинган натижалардан кўриниб турибдики, симметрик боғланиш ли пластиналарда, ҳаво оқими бурчагининг $\alpha \in (0^\circ, 90^\circ)$ оралиқда ўзгаришида, критик тезлик $\alpha = 45^\circ$ бўлганда минимум қийматидан ўтади.



1: $k_i/m_i=0$, 2: $k_i/m_i=0.5$, 3: $k_i/m_i=1$,

$\omega_p \omega_p$ 1: $k_i/m_i=0$, 2: $k_i/m_i=0,5$, 3: $k_i/m_i=1$

ҳолат ларнинг динамик
сўндирилиши.

12-расм. Ўта баланд иншоотларда асос
даги сейсмик қўзғалиш таъсиридаги
ре зонанс ҳолатларнинг динамик
сўндирилиши.

11-расм. Ўта баланд иншоотларда ша
мол кучи таъсиридаги резонанс

Лекин симметрик бўлмаган шарнирли-эркин боғланишлар ва консол
маҳкамланишларда оқим бурчагининг ошиши билан критик тезликнинг ҳам
ошиши кузатиш мумкин. Ушбу натижа оқим эркин чегарага параллел йўналиш
га эга бўлганда пластинанинг эгилишга қаршилиги пасайиши билан та
сарруф этилади. Пластинанинг ҳамма томони қотирилиб маҳкамланганда
критик тезлик миқдори ҳам юқори бўлади.



13-расм. Пластинага товушдан тез ҳаво оқимининг таъсир қилиш схемаси.

14-расмда пластинанинг чорак қисмида ички момент базис
функциясининг ҳаво оқими йўналишига мос равишда тақсимоли келти
рилган. Олинган натижалар, фақат $\alpha = 45^\circ$ бўлганда базис функциянинг тақ
симоли симметрик бўлиши, қолган ҳолларда оқим йўналишига мос равишда
ўзгаришини кўрсатмоқда. Демак, ўзаро қўшма бўлмаган дифференциал
операторли спектрал масалаларни ечиш жараёнида симметрик чегаравий
шартлар учун ҳам ҳамма вақт симметрик базис функцияларни танлаб олиш,
қаралаётган татбиқий масаланинг моҳиятини тубдан ўзгартириб, критик
тезлик учун ноаниқ натижага олиб келади.

24 24

2-жадвал

Пластиналар маҳкамланиш усули ва ҳаво оқими йўналиш
бурчагининг критик тезликка таъсири

Йўналиш бурчаги		0°	30°	45°	60°	80°
Қотириб маҳкамлаш		805.2	484.4	462.4	484.4	624.8
Шарнир боғланиш		276.6	184.1	177.2	184.1	231.4
Шарнирли эркин		50.6	58.5	71.6	101.3	163.9

боғланиш						
Консол маҳкамланиш		6.3	7.3	9.0	12.7	21.5

Одатда, спектрал масалаларни ечишда Фурье усули тўғри тўртбурчак, доира каби тури ниҳоятда чегараланган анъанавий пластиналарда қўлланилади. Лекин иншоотнинг кўпгина юк кўтарувчи элементлари анъанавий шакллардан фарқланади ва ушбу соҳаларда Фурье усулини қўллаш мумкин эмас. Муаммо шундаки, декарт координата системасида эгри чизиқли трапецияда чегара бир вақтда иккала координатага боғлиқ бўлади, демак номаълумларни координата ўқлари бўйича бўлаклаш имконияти йўқолади. Ушбу муаммони самарали ҳал этиш учун изопериметрик координаталар системасини киритиб, мураккаб шаклли пластиналарни анъанавий квадрат шаклга акслантириш усулидан фойдаланамиз. Ушбу усулни ёрқинроқ кўрсатиш учун мураккаб шаклли пластиналарда кўндаланг куч таъсирида тарқалаётган бўйлама стационар тўлқинлар тарқалишига доир спектрал масалани кўриб чиқамиз.

Бунинг учун ўрта қалинликдаги пластиналарнинг (13) ҳаракат тенгламалари системасининг биринчисига Фурьенинг номаълумларни бўлаклаш усулини қўллаб, қуйидаги икки ўлчовли спектрал масалага келамиз:

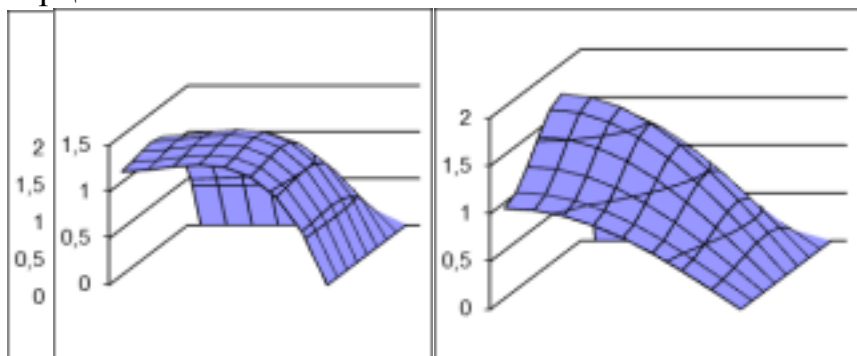
Мураккаб шаклли пластиналарга мисол сифатида тўғри тўртбурчак, эллипс, трапеция ва турли кўринишдаги эгри чизиқли трапециялар қаралди. Тўғри тўртбурчакли пластина учун (31) спектрал масала аниқ ечимга эга: ²²

$$\int_0^1 \int_0^1 \left| \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \right| dx dy$$

λ. 15-расмдаги шакллар ичида ушбу соҳага тегишли хос сон λ_{ab}

$$\int_0^1 \int_0^1$$

нинг тасдиқловчи қийматлари келтирилган. Мураккаб шаклли пластиналарда ҳам деформацияланиш соҳаси юзасининг камайиши бўйлама тўлқин тарқалиши асосий частотаси λ нинг ошишига олиб келади.



x
x

ууу

$$a) \alpha = 0; \quad б) \alpha = 45; \quad в) \alpha = 90$$

14-расм. Шарнирли боғланган пластинада ички эгувчи моментнинг эпюрасига ҳаво оқими йўналишининг таъсири.

$$D^2 U_{xx} + U_{yy} + \lambda U = 0 \quad (31)$$

, , 0

пластина квадратга акслантирилгандан

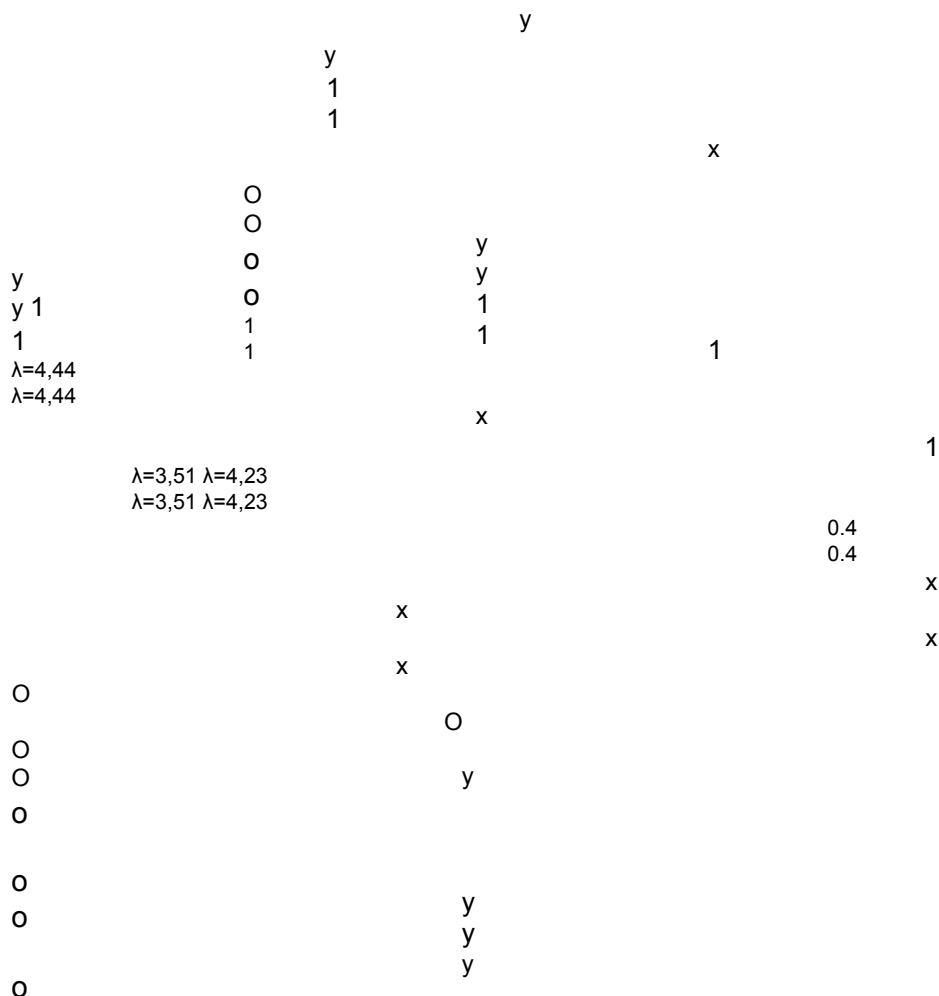
Бунда:

λ – хос сон. Мураккаб шаклли

сўнг, (31) тенглама ўзгарувчи коэффициентли хусусий ҳосилали дифференциал тенгламага келади:

$$a_{\xi\xi} U_{\xi\xi} + a_{\xi\eta} U_{\xi\eta} + a_{\eta\eta} U_{\eta\eta} + a_{\xi} U_{\xi} + a_{\eta} U_{\eta} + \lambda U = 0 \quad (32)$$

Бунда: $a_{\xi\xi}$, $a_{\xi\eta}$, $a_{\eta\eta}$, a_{ξ} , a_{η} – изопериметрик координата системасида аниқланган ўзгарувчи коэффициентлар. Асосий частота қийматига таъсир этувчи ҳал қилувчи фактордан бири пластинанинг мураккаб шаклли чегарасидир. «Юлдуз» шаклидаги ноанъанавий пластиналарда қирраларининг ўткирлашуви (c миқдорининг ошиши), яъни деформация ланувчи соҳанинг мураккаблашуви натижасида асосий частотанинг ошиши



$\lambda=4,83 \quad \lambda=4,83$

0

1
1

0

0.5
0.5

1
1

x
x

$\lambda=7,28$
 $\lambda=7,28$

0

1
1

x
x

0
0

1
1

0
0

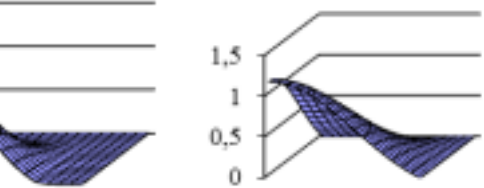
0

2 2

1

15-расм.Мураккаб шаклли пластиналарда кўндаланг куч таъсирида тарқалаётган бўйлама стационар тўлқинларнинг хос сони миқдорлари.

~ 26



U/h
 U/h

x x

y y

y

$c_1 c_2 c_3 = 0,02$ да $4,45$, $0,08$ да $5,08$, $0,14$ да $7,48$ λ λ λ 16-расм.Юлдуз шаклидаги ноанъанавий

ва шу билан биргаликда мос базис функциялар эпюраси ноанъанавий пластина марказига сиқилиб торайиб бориши ҳам кузатилади (16-расм). Эпюранинг ушбу кўринишдаги ўзгариши пластина-нинг маҳкам-ланиш усули билан изоҳланади.

ХУЛОСА

«Пластина ва ясси қобикларнинг ноклассик масалаларини сонли ечиш усуллари ишлаб чиқиш» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Эластиклик назариясининг уч ўлчовли ҳаракат тенгламалари асосида пластина ва ясси қобикларнинг фаразларсиз ноклассик назариясининг яратилиши, маълум назариялар билан қиёсий таҳлили орқали олинган натижаларнинг самарадорлиги кўрсатилиши ҳамда мураккаб шаклли соҳалар учун ривожлантирилиши амалий механика масалаларни ечишда муҳим аҳамият касб этади.

2. Дифференциал кўчириш усулининг такомиллаштирилиши, дифференциал операторлари қўшма ва қўшма бўлмаган спектрал масалаларни сонли ечиш усуллари ишлаб чиқилиши, ҳамда ушбу усулларнинг асосланганлиги ва ишончлилигининг таъминланиши механиканинг татбиқий масалаларини ечишда илмий тадқиқотларнинг самарадорлигини оширади.

3. Ташқи синусоидал тақсимланган юк таъсирида шарнирли боғланган қалин плита эгилиши масаласида олинган натижаларнинг юқори даражали аниқлиги ноанъанавий назариянинг қўлланилиш чегарасини кенгайтиради.

4. Нуқтада жамланган ташқи куч таъсирида ҳосил бўлувчи кўчиш ва кучланишларни плиталарнинг ихтиёрий нуқталаридаги тақсимотининг қонуниятларини ва бўйлама зўриқишларнинг микдорларини аниқланиши амалий механиканинг махсус масалаларни ечишда кенг имконият яратади.

5. Қалин плитага тўсатдан таъсир этувчи ва ҳаракатланувчи бир нуқтада жамланган кучлар таъсирида ҳосил бўлувчи сиқилиш ва чўзилиш соҳаларидаги ички кучланишлар тақсимотининг вақт бўйича ўзгариши, ҳамда юпқа пластинада бўйлама тўлқин тарқалишининг қонуниятларини

27 27

таҳлил қилиниши амалий механиканинг динамик масалаларида муҳим аҳамиятга эгадир.

6. Ўта баланд иншоотларнинг оғирлиги, асосининг эгилишга ва силжишга мойиллигини эътиборга олиниши натижасида резонанс тебраниш амплитудасини икки марта ошиши ва амплитуда–частотали муносабатларда янги резонанс соҳаларини ҳосил бўлишини аниқланиши, телеминора шаклидаги ўта баланд иншоотларда динамик сўндиргичлар ёрдамида ушбу резонанс амплитудаларини икки баробар камайтиришга эришилиши, замонавий ахборот технологияларини қўллаш орқали ўта баланд иншоотлар эксплуатацияси учун кундалик объектив назорат воситасини ишлаб чиқиш

имкониятини яратади.

7. Турли усулда маҳкамланган пластинадаги флаттер ҳодисасининг таҳлил қилиниши натижасида критик тезликлар маҳкамланиш усулига мувофиқ тезликларнинг бир неча баробар фарқланиши ҳисоблаб топилди. Ҳаво оқими йўналиши фарқланувчи ҳолатларда критик тезликлар миқдори уч баробарга ўзгариши аниқланди.

8. Мураккаб шаклли пластиналарда изопериметрик координаталар системасида кўндаланг таъсир этувчи динамик таъсирлар натижасида тарқалаётган бўйлама тўлқинлар хос частотасининг ҳисобланиши ва базис функ-циялар тақсимооти эпюрасининг аниқланиши деформацияланувчи қаттиқ жисм механикасининг янги динамик масалаларини ечишда муҳим омил бўлади.

АХМЕДОВ АКРОМ БУРХАНОВИЧ

**НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПЛАСТИН И ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК
И РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ИХ РЕШЕНИЯ**

**01.02.04 –Механика деформируемого твердого тела
(физико-математические науки)**

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

ТАШКЕНТ–2016

29 29

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № 30.09.2014/В 2014.5.FM136

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещён на веб–странице Информационно–образовательном портале “ZIYONET” по адресу www.ziyonet.uz

Официальные оппоненты: Хусанов Бахтиёр Эргашбоевич доктор
физико-математических наук, профессор

Сафаров Исмоил Иброхимович
доктор физико-математических наук, профессор

Индиаминов Равшан
доктор физико-математических наук

**Ведущая организация: Самаркандский государственный
архитектурно-строительный
институт**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2016 года в _____ часов на заседании научного совета 16.07.2013 Т/FM.02.02 по адресу: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227–10–32, e-mail: nich_tdtu@rambler.ru.

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета. Адрес: (100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 227–10–32

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.
(протокол рассылки №___ от _____ 2016 г.)

К.А.Каримов
Председатель научного совета
по присуждению ученой степени доктора наук, д.т.н., профессор

Н.Д.Тураходжаев
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученой степени доктора наук, к.т.н., доцент

М.Мирсаидов
Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученой степени доктора наук, д.т.н., профессор

30 30

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Развитие инфраструктур в мире и требования по безопасности и устойчивости к возводимым сооружениям ставят новые задачи повышения прочности и надежности несущих элементов конструкций. Одной из актуальных и фундаментальных задач механики является разработка усовершенствованного численного метода расчета для прогнозирования прочности и устойчивости

конструкций при их проектировании.

На фундаментальные научно-исследовательские работы по обеспечению безопасной эксплуатации сооружений и конструкций выделяется 4-5%, из общих затрат на науку и образование, в том числе в странах Европы и СНГ 3-4%, в промышленно развитых странах 7-8% .

В условиях экономических реформ, проводимых в нашей стране, особое внимание уделяется безопасной эксплуатации и прочности возводимых конструкций и сооружений. В частности, для обеспечения безопасного полета летательных аппаратов, устойчивости и сейсмо стойкости надземных и подземных сооружений, а также долговечности несущих элементов приспособлений бурения в геолого-разведочных работах, решение задач расчета прочности составляющих их элементов типа пластин и пологих оболочек приобретает особое значение.

С развитием современных технологий, созданием конструкционных материалов с уникальными физико-механическими свойствами становятся актуальными вопросы разработки неклассических теорий и методов расчета жесткости, прочности и устойчивости пластин и оболочек. Важное научно практическое значение имеет усовершенствование теорий изгиба и разработка численных методов расчета прочности сложных несущих элементов конструкций с применением современных информационных технологий.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № ПФ 3080 от 30 мая 2002 года «О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно–коммуникационных технологий» и постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № 200 от 6 июня 2002 года «О мерах дальнейшего развития компьютеризации и внедрения информационно–коммуникационных технологий».

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Информатизация и развитие информационно–коммуникационных технологий».

31 31

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации¹. Научные исследования, направленные на создание теории пластин и оболочек, а также на решение проблем их прочности, жесткости и устойчивости осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в научных центрах Lawrence Livermore Laboratory (USA), Технологическом университете Гамбурга (Германия), Варшавском университете (Польша), Московском государственном университете (Россия), Санкт –Петербургском государственном университете

(Россия), Институте механики полимеров (Латвия), Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире по повышению прочности и определению устойчивости пластин и пологих оболочек, получен ряд научных результатов, в том числе: разработан метод определения напряженного состояния пологих оболочек с использованием промышленных композиционных материалов (Lawrence Livermore Laboratory, USA); построена неклассическая теория пластин на основе специального распределения внутренних напряжений (Технологический университет Гамбурга, Германия); построены термодинамические основы теории пластин и пологих оболочек (Варшавский университет, Польша); разработаны методы расчета прочности композиционных пластин с периодической структурой (Московский государственный университет, Россия); разработаны неклассические теории расчета устойчивости пластин (Санкт-Петербургский университет, Россия); разработаны методы численного расчета механических свойств диэлектрических материалов (Институт механики полимеров, Латвия).

В различных странах по неклассическим задачам пластин и пологих оболочек в приоритетных направлениях проводятся ряд исследований, в том числе: разработка методов повышения прочности пластин и пологих оболочек с учётом уникальных физико-механических свойств конструктивных материалов; повышение степени точности уравнений движения пластин под воздействием внешних сил; разработка численных методов определения несущей способности и надежности тонкостенных сооружений и конструкций.

Степень изученности проблемы. Исследования тонкостенных элементов несущих конструкций, имеющих широкое применение в технике, с давних времен находится в центре внимания ученых всего мира.

¹В обзоре международных научных исследований по теме диссертации использовались Lawrence Berkeley National Laboratory www.lbl.gov; Кафедра механики композитов МГУ www.math.msu.su/departments/composite/index.htm; Товстик П.Е. Некл. модели балок, пластин и оболочек // Изв. Саратовского университета, 2008. Т.8, серия Мат.мех.инф., вып. 3, с.74-85; Институт механики полимеров www.citariga.lv/rus/teika/zinatne/polimeru-mehanika-instituts/Скопцов К.А.; Шешенин С.В. Асимптотический анализ теории пластин Рейснера-Миндлина. М. Изд. во МГУ, Упругость и неупругость, 2011 г., стр. 236-240; Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости.— М.: Наука, 1979.— 560 с.; Kristensen R. Mechanics of Composite Materials – Courier Corporation, 2005, USA – 348 p; Айнолла Л.Я. Интегр. вариацион. принц. и их прим. в динамике упругих обол. и пл.. Диссерт. —Таллин, 1967. —253 с; Малмейстер А. К., и др. сопот. полим. и композитных материалов.—Рига: Зинатне, 1980.—572 с; Reissner E, Wan FYM Further considerations of stress concentrations problems for twisted or sheared shallow spherical shells. Int. J. Solids Structures 31(No. 16): 1994; Ambartsoumian S. A. On the problem of oscillations of the electroconductive Plates in the transverse magnetic field: Theory of, Eds: North-Holland Publishing Company, 1980; Власов В. и др. источники.

Зарубежные ученые, Я.Бернулли (Франция), И. Кирхгофф и Ф.Ляв (Германия), С.П.Тимошенко, Р.Кристенсен (США), Л.Я.Айнолла (Эстония), А.К.Малмейстер (Латвия) проводили научные исследования по теориям напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек. Неклассическим теориям посвящены работы Е.Рейснера, С.А.Амбарцумяна, В. З. Власова, Х. М. Муштари, И.Г. Трегулова.

В нашей стране В.Кабулов, Т.Рашидов, Т.Буриев, Ф.Б.Бадалов, М.Мирсаидов, Х.Худойназаров, Х. Эшматов, М.Усаров проводили научные

исследования над решением прикладных задач устойчивости и жесткости пластин и оболочек.

Неклассические теории пластин и пологих оболочек основаны на сведениях исходной трехмерной задачи теории упругости к двумерной. Поэтому объективным критерием достоверности предложенных неклассических теорий принята степень удовлетворения полученных решений трехмерным уравнением движения в механике деформируемого твердого тела.

Вместе с тем все известные неклассические теории несущих и тонкостенных конструкций используют те или иные гипотезы, заменяют или вводят новые. Например, во всех теориях без исключения используется гипотеза о нерастяжимости срединной плоскости пластин. Вследствие этого, в частности, не представляется возможным исследование переходных процессов в тонкостенных конструкциях под действием поперечных нагрузок. Другим существенным недостатком известных теорий, в силу вводимой силовой гипотезы, является недостижение выполнения всех граничных условий и уравнений движения трехмерной теории упругости. Выше приведенные факты убедительно указывают на актуальность создания теории пластин и пологих оболочек без предварительных гипотез.

Связь темы диссертации с научно–исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно исследовательских работ фундаментальных и прикладных проектов Ташкентского государственного технического университета ОТ Ф1–123 «Теоретические основы математического моделирования наследственно деформируемых систем при воздействии случайных возмущений и численное решение дифференциальной проблемы в спектральных задачах» (2007-2011 гг.), А–14–45 «Нелинейные задачи расчета прочности композиционных пластин сложной конфигурации» (2015-2017 гг.)

Целью исследования является разработка численных методов решения неклассических задач пластин и пологих оболочек. **Задачи исследования:**

сведение трехмерной задачи нелинейной теории упругости к двумерным уравнениям движения пластин и пологих оболочек без применения гипотез;

33 33

модификация метода дифференциальной прогонки для численного решения краевых и спектральных задач прикладной механики; разработка подхода для динамического гашения резонансных явлений в особо высотных сооружениях с учетом их собственного веса и кинематических условий закрепления оснований;

научное обоснование подхода численного разрешения дифференциальной проблемы в спектральных задачах для несамосопряженных операторов разрешающих уравнений.

Объектом исследования являются особо высотные сооружения, элементы тонкостенных несущих конструкций сложной конфигурации, толстые плиты, гибкие пластины и пологие оболочки.

Предмет исследования. Колебания особо высотных сооружений под воздействием внешних поперечных динамических сил, деформирование тонкостенных несущих конструкций со сложной конфигурацией прикладные задачи для толстых плит.

Методы исследований. В диссертации применены численные методы определения собственных чисел и базисных функций в спектральных задачах прикладной механики для самосопряженных и несамосопряженных операторов; методы дифференциальной прогонки и вариационных итераций.

Научная новизна исследования заключается в следующем: разработан численный подход разрешения дифференциальной проб лемы в спектральных задачах для несамосопряженных операторов; разработан усовершенствованный метод дифференциальной прогонки и вариационных итераций для решения статических и динамических задач механики;

разработаны методы устранения возникающих опасных зон для внутренних напряжений в сложных областях деформирования несущих элементов конструкций;

разработаны методы двукратного уменьшения резонансных амплитуд с использованием динамических гасителей в особо высотных сооружениях; определены критические скорости для флаттера в аэродинамике, которые могут отличаться на порядок в соответствии с условиями закреп ления пластин.

Практические результаты исследования. Определены зоны опасных внутренних напряжений при воздействии сосредоточенных сил в толстых плитах.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается применением основных принципов прикладной механики; использованием фундаментальных основ математической физики и функционального анализа; проверкой полученных результатов прикладных программ на примерах решения тестовых задач механики.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость проведенных исследований состоит в следующем:

34 34

создание нового научного направления в механике деформируемого твердого тела, основанного на предложенной неклассической теории деформирования несущих элементов конструкций. Возможность изучения распространения продольных волн под воздействием динамических нагрузок и разрешения дифференциальной проблемы в спектральных задачах.

Практическая значимость заключается в том, что разработанные механизмы динамического гашения резонансных явлений в особо высотных сооружениях, методы определения зон опасных внутренних напряжений в неканонических несущих элементах конструкций служат основой для

создания комплекса прикладных программ в спектральных задачах.

Внедрение результатов исследования. Результаты по «Неканоническим пологим оболочкам» и «Численному решению спектральных задач для неканонических пластин» применены при выполнении проекта 15-026 «Разработка и исследование автоматизации проектирования несущих авиационных конструкций методом конечных элементов» для расчета прочности несущих элементов сельскохозяйственных самолетов (Справка 0313/348 от 2 июня 2016 года. Комитета по координации науки и технологии). Предложенный метод отображения с помощью изопериметрической системы координат неканонических пластин в классическую позволил повысить точность расчетов прочностей шпангоутов, крыльев и химических баков сельскохозяйственных самолетов на 30–35%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования изложены в виде лекции и прошли апробацию на 12 международных и республиканских научно-практических конференциях, в том числе, «Механика и технология композиционных материалов» (Болгария, г. Варна, 1987 г.); «Полимерные композиты» (Германия, г. Дрезден, 1987 г.); «Интегральные уравнения в прикладном моделировании» (Украина, Одесса, 1989 г.); «По вопросам рассеяния энергии» (Украина, Киев, 1989 г.); «Проблемы механики» (Чимкент, 2007); «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий –Аль-Хорезми, 2012» (Ташкент, 2012); «Современные проблемы алгоритмизации» (Ташкент, 1991); «Математическое моделирование и численные методы решения задач прикладной математики» (Ташкент, 1992); «Вычислительный эксперимент, математическое моделирование и их применение» (Ташкент, 1993), конференция по механике сплошных сред (Ташкент, 1989); научно техническая конференция ТГТУ (Ташкент, 1993) «Проблемы и вопросы механики» (Ташкент, 1993); «Мониторинг летательных аппаратов» (Ташкент, 2000).

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы всего 40 научных работ, в том числе 1 монография, 14 научных статей, в том числе 10 в республиканских и 4 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

35 35

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 198 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы её цель и задачи, а также объект, предмет и методы исследования. Приводится соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан,

излагаются научная новизна и практические результаты исследований, обосновывается их достоверность, раскрывается теоретическая и практическая значимость. Приведены результаты внедрения диссертационной работы в практику, сведения по апробациям и опубликованным работам, структуре и объему диссертации.

В первой главе диссертации **“Неклассические задачи пластин и пологих оболочек со сложной конфигурацией”** построена неклассическая теория пластин и пологих оболочек со сложной конфигурацией на основе трехмерных уравнений нелинейной теории упругости без гипотез. Предложенные подходы распространяются на деформирование пластин и пологих оболочек неканонической формы. Сформулированы нелинейные задачи о колебаниях особо высотных и гибких сооружений для кинематического возбуждения их оснований периодическими нагрузками.

Для произвольного трехмерного тела под действием объемных и поверхностных сил на основе геометрически нелинейной теории упругости в начальной (до деформирования) декартовой системе координат $Ox_1 x_2 x_3$ имеем систему уравнений лагранжевого движения относительно компонент

$$\begin{aligned} & \text{перемещения } U^j [(\delta_{ik} + U_{i,k}) \sigma_{kj}]_{,j} + X_i - \rho U^i_{,i} = 0 \quad (1) \text{ с линейными} \\ & \text{определяющими соотношениями между тензорами напряжений } \sigma_{ij} \text{ и} \\ & \text{конечных деформаций } e_{ij} \text{ для упругого анизотропного материала } \sigma_{ijkl} = C_{ijkl} e_{ij}, \quad (2) \end{aligned}$$

кинематическими соотношениями Коши-Грина

1

$$e_{ij} = \frac{1}{2} (U_{i,j} + U_{j,i})$$

$$= + + \quad (3)$$

2

при выполнении начальных условий

$$U^i = 0 \quad (4)$$

0

0

$$U_i = U_i, \quad U = V_{0i}$$

$$t = 0 \quad \text{и граничных условий}$$

Σ_{ii}

()

$$, , U U U n S_{i i i k i k k j j i} \delta \sigma$$

$$= + = \quad (5),$$

Σ_Σ

$$= + -^+$$

$$|_{\{}$$

$$-$$

$$w^i\sigma_{iz}\mu\psi_i$$

$$\theta_{ii}(7),()$$

$$|^{+-}$$

$$1\,20,()1\,4$$

$$\begin{smallmatrix} 2\\ 4\,30\end{smallmatrix}$$

$$\begin{smallmatrix} 4\\ h\end{smallmatrix}$$

$$\begin{smallmatrix} |\\ fz\\ h\end{smallmatrix}$$

$$h$$

$$\sigma\,S_z^\pm$$

$$\text{при}_2$$

точно удовлетворяющее граничным условиям:

$$==\pm(8)$$

$$z\,i\,i$$

Аналогично из граничного условия для нормального напряжения

$$\begin{smallmatrix} \pm\pm\\ h\end{smallmatrix}$$

$$\sigma(9)\,S\,U\,S\,npu\,z_{zz}=-z_{zii}=\pm$$

$$,$$

$$2$$

будем иметь

$$\begin{smallmatrix} Y\\ -\\ 24\\ |\\ |)\end{smallmatrix}$$

$$\lceil_{-}\lceil$$

$$1\qquad\begin{smallmatrix} |\\ |_{\{}\end{smallmatrix}\begin{smallmatrix} h\\ h\end{smallmatrix}+\begin{smallmatrix} |\\ |)\end{smallmatrix}\qquad1\,1\,2$$

$$D\,V\lceil_{\{}\Delta-$$

$$\mathbf{v}_{ii}$$

$$,$$

$$+$$

$$-+++$$

$$\mathbf{v}_{-}$$

$$\begin{smallmatrix} 2\\ Guww\end{smallmatrix},,\qquad VV,,\qquad\theta\theta,,\qquad VZh\lceil^+_0=$$

$$kkkkkkkkz$$

$$\mu\qquad\begin{smallmatrix} |_{\lceil\\ ,\end{smallmatrix}\qquad\begin{smallmatrix} 2\\ 4\end{smallmatrix}$$

$$36$$

$$\mathbf{v}$$

$$\lceil$$

$$2$$

$$\mathbf{v}_{-}$$

$$Y_+$$

$$\begin{smallmatrix} |\\ |)\end{smallmatrix}$$

$$\lceil$$

$$\begin{smallmatrix} |\\ |_{\{}\end{smallmatrix}$$

$$\begin{smallmatrix} h\\ 2\end{smallmatrix}$$

$$\begin{smallmatrix} |\\ |)\end{smallmatrix}$$

$$\lceil$$

$$1$$

$$\mathbf{v}_{-}$$

$$1\,2$$

$$D\lceil_{\{}\Delta-\theta$$

$$\begin{smallmatrix} -\\ \mathbf{v}_{ii}\\ ,\end{smallmatrix}$$

$$\begin{smallmatrix} -\\ -\Delta++\\ GwwV\end{smallmatrix}$$

$$\psi\theta,(10)$$

$$5,,,$$

$$VGZ,,12$$

$$\frac{1}{k k k k k k k z} \mu \theta + 3 = 0$$

$$3 \quad \downarrow \quad 6 \quad \downarrow \quad v \quad v$$

$$= \frac{Eh}{D} \cdot 2(1+\nu)$$

где $12(1 + \nu)$ — внешние
нагрузки.
 $= \frac{Eh}{G}$, Δ - оператор Лапласа,, $Z Z$

Компоненты вектора перемещений (6), соответственно симметричному тензору напряжений, зависят от неизвестных интегральных величин $u_i, \psi_i, w, V, \theta$, являющихся функциями координат x_1, x_2 и t . С целью получения замкнутой системы разрешающих уравнений относительно этих неизвестных, введя в рассмотрение внутренние моменты, осевые усилия и перерезывающие силы, для получения уравнений движения упругих пластин произведем процедуру интегрирования (1) с учетом (5) по z в интервале $[-0,5h; 0,5h]$:

37 37

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \right) N p m_i + 0_2$$

$$- =$$

$$M Q m h \quad \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} = m$$

$$0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \right) \psi$$

$$12$$

$$\psi$$

$$+ -$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j}$$

$$(11)$$

$$Q N w M V S S m w$$

$$+ + + - - =$$

$$(\quad), (\quad), 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \right) \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_k}$$

где $p m_i$ — распределенные усилия и моменты от внешних нагрузок, m — погонная масса.

В терминах интегральных величин типичные граничные условия записываются в следующем виде:

. Шарнирное закрепление:

$$I_{N n M n w V} = 0, 0, 0, 0, 0$$

$$\theta_{ij} = 0$$

$\Sigma \Sigma \Sigma \Sigma \Sigma$. Жесткое защемление:

$$II_{u w V} = 0, 0, 0, 0, 0$$

$$\psi \theta_{ii} = 0$$

$$\Sigma \Sigma \Sigma \Sigma \Sigma$$

. Свободный край:

$$III_{N n M n Q n V n n} = 0,$$

Таким образом, имеем общую теорию, из которой можно получить линейные и нелинейные уравнения движения толстых плит и гибких пластин. Например, в (10)–(11), пренебрегая величинами высокого порядка малости и нелинейными членами, и введя потенциалы осевых перемещений и углов сдвига, при $0, 0, p m_{ii}$

можно получить упрощенные уравнения движения пластин средней толщины

$$\frac{1}{G u q h} \frac{v v}{\Delta} = \frac{4}{2} \frac{h}{D} \frac{v v}{2}$$

$$\frac{1}{\mu \Delta} \frac{v v}{2} = \frac{1}{\mu \Delta} \frac{v v}{2}$$

можно отобразить в квадратной области (рис.1). Здесь (x_{1k}, x_{2k}) пара чисел, характеризующая координаты точек M_k , заданных на вершинах и серединах контура криволинейной трапеции. При этом рассматриваемые дифференциальные уравнения в частных производных переходят в себе подобные уравнения с переменными коэффициентами.

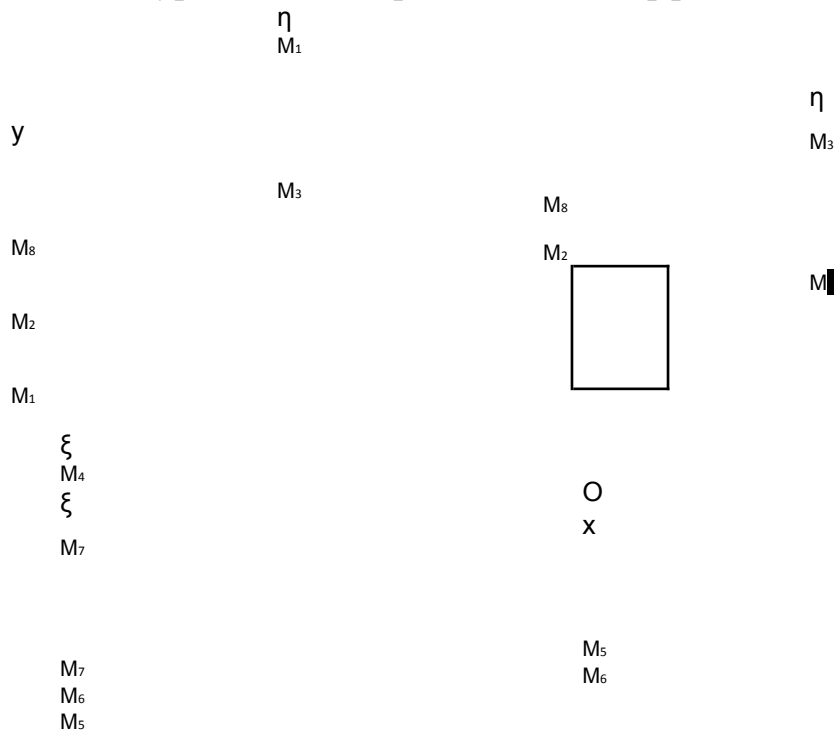


Рис.1. Отображение криволинейной трапеции в классическую область.

С применением соответствующих упрощений и гипотез из предложенной теории можно получить известные технические и уточненные теории пластин. Например, классическую теорию из (6) можно получить при отсутствии касательных нагрузок формальной заменой $\psi_k = -w_{,k}$ пренебрегая обжатием пластины ($\varepsilon_{zz} = 0$, т.е. $V = \theta = 0$).

С усовершенствованием теорий расчета несущих элементов соответственно усложняются и реализационные вычислительные схемы. Наиболее оптимальным в смысле точности получаемых численных результатов считаются подходы редуцирования краевых задач к эквивалентным задачам Коши с переносом граничных условий на некоторую фиксированную точку. Среди этих подходов наиболее перспективным

39 39

считается метод дифференциальной прогонки. Основополагающие исследования метода выполнены в работах А.А.Абрамова, И. Бабушка, Н.Мухитдинова, Ф. Б. Бадалова и др. Главным недостатком данного метода является особая чувствительность вычислительного алгоритма к типу граничных условий.

Во второй главе диссертации «**Численные методы решения краевых и спектральных задач**» разработан модифицированный метод дифферен

циальной прогонки для систем дифференциальных уравнений с произвольными граничными условиями. Предлагается численный подход решения дифференциальной проблемы в спектральных задачах, в том числе и для несамосопряженных операторов разрешающих уравнений.

Достоверность численных подходов решения краевых и спектральных задач доказывается на примере решения известных статических и динамических задач прикладной механики.

Для унифицированных обыкновенных дифференциальных уравнений, записанных в матрично-векторной форме

$$(C(x)V' + Q(x)V) + A(x)V' + B(x)V = F$$

$$(15) \text{ а } V' + b V = f \text{ при } x = 0, l$$

предлагается модифицированный метод дифференциальной прогонки для произвольных граничных условий. Здесь $C(x)$, $Q(x)$, $A(x)$, $B(x)$, $F(x)$ – а, b, f – вектор и матрицы

заданные вектор и матрицы функции.

константы, характеризующие тип граничных условий в прикладных задачах механики. С целью переноса граничных условий (16), записанных в наиболее общей форме, с учетом структуры разрешающего уравнения (15) введем в рассмотрение следующую вспомогательную систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\alpha(C(x)V' + Q(x)V) + \beta V = f, \quad (17)$$

где α , β , f – подлежащие определению неизвестные коэффициенты.

Последнюю систему уравнений, дифференцируя по x :

$$\alpha(C(x)V' + Q(x)V) + \alpha'(C(x)V' + Q(x)V) + \beta V' + \beta'V = f'$$

(18) и умножая на обратную матрицу α^{-1} , выполняя перегруппировку членов, будем иметь:

$$(C(x)V' + Q(x)V) \alpha^{-1} (\alpha C(x) + \beta) V \alpha^{-1} (\beta Q(x)) V \alpha^{-1} f$$

$$+ \alpha^{-1} \alpha' (C(x)V' + Q(x)V) + \beta^{-1} \beta' V = f'$$

Сравнивая (19) и (15) а также (17) и (16) при $x=0$, получим следующую задачу Коши для неизвестных коэффициентов α , β , f :

$$\begin{bmatrix} C(0) & Q(0) \\ A(0) & B(0) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V(0) \\ V'(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f(0) \\ f'(0) \end{pmatrix}$$

$$' = - = -$$

$$()()()$$

$$\beta \alpha B(x) B Q(x) (\beta 0 b a C 0 Q 0, \quad 00$$

$$| \quad () \quad (20)$$

$$f \alpha F(x) (x f 0 f . \quad 0$$

Полученную задачу Коши для матричных дифференциальных уравнений (20), решая прямым ходом, на отрезке $[0, l]$ определим неизвестные α, β, f следовательно, и в точке $x=l$. Тогда, с учетом (16) и (20) будем иметь

40 40
следующую систему линейных $2n$ алгебраических уравнений относительно неизвестных V, V' :

$$\begin{pmatrix} | \\ | \\ | \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} | \\ | \\ | \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} | \\ | \\ | \end{pmatrix} \quad \alpha 1 C 1 \beta 1 \alpha 1 Q 1. \quad (21)$$

$$\begin{pmatrix} V \\ | \\ | \end{pmatrix} a b = \begin{pmatrix} | \\ | \\ | \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} | \\ | \\ | \end{pmatrix} f 1$$

$$111 f \quad V$$

После решения системы алгебраических уравнений (21) относительно V, V' , обратным ходом метода матричной дифференциальной прогонки, как решение задачи Коши для (15), доопределяется искомое решение V на рассматриваемом отрезке $[l; 0]$.

Для краевой задачи (15)-(16) в методе матричной дифференциальной прогонки не требуется дифференцирование коэффициентов, что особенно важно для рассмотрения прикладных задач с кусочно-непрерывными физическими и геометрическими характеристиками. При выполнении условия:

$$()()()()()_0 \quad | \quad + \quad (22)$$

$$\det \begin{pmatrix} 1 Q 1 a b 11 \\ \alpha 1 C 1 \beta 1 \alpha \end{pmatrix} \neq | \quad |$$

при некоторых ограничениях на коэффициенты разрешающих уравнений доказано существование и единственность решения рассматриваемых краевых задач.

Соответствующую динамическую задачу линейной теории упругости для неоднородных удлиненных конструкций, с применением метода Фурье, можно привести к решению следующей спектральной задачи: '

$$[C(x)U' + Q(x)U] + A(x)U' - [pM(x) - B(x)]U = 0$$

$$+ (23) a_x V' + b_x V = 0 \text{ при } x = 0, l \quad (24)$$

где p – собственное число. Полученная однородная краевая задача решается модифицированным методом дифференциальной прогонки. Собственное число p определяется из условия нетривиальности решения однородной краевой задачи (23) – (24):

$$\begin{vmatrix} C_1 & Q_1 & A_1 & B_1 \\ C_2 & Q_2 & A_2 & B_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_n & Q_n & A_n & B_n \end{vmatrix} = 0 \quad (25)$$

$$\det \begin{vmatrix} C_1 & Q_1 & A_1 & B_1 \\ C_2 & Q_2 & A_2 & B_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_n & Q_n & A_n & B_n \end{vmatrix} = 0$$

Для численного определения p из (25) строится итерационный процесс Вегстейна. После решения спектральной задачи (26) – (27) решение динамической задачи теории упругости разлагается по собственным функциям

$$V_T(t)U(x) = \sum_{r=0}^{\infty} \dots = (26)$$

где $T_r(t)$ – решение соответствующего обыкновенного дифференциального уравнения по времени.

Таким образом, имеем полное решение линейной одномерной динамической задачи теории упругости. Вместе с тем многие прикладные задачи относятся к категории двумерных статических и динамических задач, решение которых представляет собой довольно сложную математическую задачу.

41 41

Выполняя разделение переменных по координатам $v_r(x_1, x_2) = X_{1r}(x_1)X_{2r}(x_2)$, выполняя формальную процедуру Бубнова – Галеркина по каждой из координат $x_s (s = 1, 2)$, будем иметь одномерные краевые задачи. Метод сведения двумерных задач к последовательности одномерных называется методом вариационных итераций, которым без ограничения можно применять к нелинейным статическим задачам.

Двумерные динамические задачи решаются аналогично, совместным применением модифицированного метода дифференциальной прогонки и вариационных итераций. После определения одномерных базисных функций по каждой из координат по отдельности для нахождения собственных чисел исходной двумерной спектральной задачи используется энергетическая формула Релея.

На примере решения тестовых задач показывается достоверность предложенных численных методов решения статических и динамических задач пластин и пологих оболочек, с применением современных

информационно–коммуникационных технологий. Численная реализация спектральных задач показывает, что для различных граничных условий определяется не менее 7-8 значений собственных чисел.

В третьей главе диссертации «**Некоторые задачи о равновесии и движении толстых плит**», с целью установления достоверности и эффективности предложенной неклассической теории плит, рассматриваются частные задачи о деформировании толстых плит, имеющие точные решения в рамках плоской теории упругости. В зависимости от толщины плит в рамках предложенной теории имеем возможность уточнения результатов классической теории до 40%.

На примере решения пространственной задачи Б.Ф.Власова об изгибе шарнирно закрепленных толстых плит под действием синусоидальной нагрузки обычно проверяются на достоверность различные неклассические теории плит. Для данной задачи, имеющей точное решение в трехмерной постановке, выполнены численные сравнения результатов известных теорий, $(0.3, 1 \nu = l_1 = l_2 = l =)$ при различных отношениях h/l . В табл. 1 приводятся сравнения результатов и относительных погрешностей рассмотренных wE в точке $(0.5, 0.5, 0.0)$.

теорий для приведенного прогиба $-hq_0$

Из полученных результатов следует, что предложенная теория выгодно отличается от других уточненных теорий, максимальная относительная погрешность которой, при $h/l=0.5$ достигает всего 5.8%.

В табл. 1 индексы в Δ соответствуют названиям теорий. Как видно из таблицы, классическая теория даёт удовлетворительные результаты для $h/l < 0.1$, теория Рейсснера $-h/l < 0.2$, а уточненные теории типа Тимошенко $-h/l < 0.3$. Вместе с тем предложенная теория применима для исследования напряженно-деформированного состояния плит до $h/l=0.4$.

Таблица 1

Сравнительный анализ решений задачи Власова для различных теорий

h/l	Класс и ческа ^я теори ^я	Неклассические теории			Точное реш ение ^е	Относительная погрешность в%			
		Рейсс нера	Тимо шенко	Пред лаг.		Δ_k	Δ_p	Δ_t	Δ_n
0. 1	280.26	292.03	296.0 6	294.3 8	294.24	4.8	0.8	0.6	0. 0
0. 2	17.51	20.26	21.47	21.07	20.98	16.5	3.4	2.3	0. 4

0. 3	3.46	4.55	5.22	5.05	4.97	30.5	8.5	4.8	1. 5
0. 4	1.09	1.63	2.08	1.99	1.97	43.3	15.4	7.9	3. 3
0. 5	0.45	0.75	1.08	1.02	0.96	53.6	22.3	11.7	5. 8

В известных теориях не учитывается поперечное обжатие толстых плит при изгибе. Вместе с тем, как следует из решения трехмерных задач теории упругости, для изгиба плит средних толщин, наблюдается ярко выраженное поперечное обжатие (рис.2). Как видно из рисунка, теории типа Тимошенко дают завышенные значения, а теория Рейсснера - осредненные значения. Для предложенной неклассической теории полученные результаты имеют хорошую корреляцию с точным решением и адекватно отражают поперечное сжатие плит при изгибе.

Рассматривается двумерная задача о действии сосредоточенной силы P на прямоугольную плиту в некоторой точке $M(x_0, y_0)$:

$$q(x, y) = P \delta(x - x_0) \delta(y - y_0), \quad (27)$$

где $\delta(x)$ – дельта функции Дирака.

Данная задача решается при различных соотношениях сторон и толщины плиты. В точке приложения сосредоточенной силы искомые величины достигают максимума, причем градиент их распределения значителен (рис. 3) Для $P/E=0,00005$ стрела прогиба составляет 8% от толщины ($h=0,02$; $a=b=1$), а максимум момента - 35% от жесткости плиты.

Смещение точки ($x_0=a/4$, $y_0=b/4$) приложения сосредоточенной силы привело к уменьшению значений искомых величин на порядок (рис.4). В точке приложения сосредоточенной силы внутренний момент и продольное усилие имеют существенный градиент изменения. Этот факт связан с тем, что в данной точке компоненты тензора напряжений принимают значительные, а нормальное напряжение - неограниченные значения.

Предположим, что внешняя нагрузка представляет собой динамическую сосредоточенную силу следующих типов:

Мгновенное приложение сосредоточенной силы

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(t - t_0),$$

Гармоническое действие сосредоточенной силы

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \sin \omega t = - \rho_0 \ddot{w}_0,$$

$$-''+=\left(1\right)$$

$${}_0^{(\cdot)} \text{ при } 0, \vartheta$$

0 при ,

() () () ()

$$-\infty \qquad 0$$

X

$$() () 1 () () (),$$

$$\begin{aligned}
 & \rho \rho \rho \\
 & () () (), \\
 & x H l x H l x \\
 & = - + - \\
 & \quad \quad \quad 0 \ 2 \ 1 \ 2 \\
 & - = + - - \left[\begin{array}{c} | \\ | \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} | \\ | \end{array} \right] \\
 & \text{И тун } d x d e H l x H x l \\
 & () () (,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \rho \rho \rho^- \\
 & \quad \quad \quad y \quad \quad x \\
 & 0 \ 2 \ 1 \\
 & () () (), \\
 & x H l x H x l \\
 & = + - - \\
 & 0 \ 1 \ 2 \ 1
 \end{aligned} \quad (30)$$

где $H(x)$ – функция Хевисайда.

В качестве дымовых труб в теплоэлектростанциях широко используются конструкции, имеющие подпорки вблизи основания, для которых законы изменения диаметра поперечного сечения можно получить из (30), полагая $l_2=l$. Из рис.7 видно, что увеличение ширины подпорки приводит к резкому повышению резонансных частот.

Качественно иной характер амплитудно-частотных характеристик наблюдается при воздействии ветровых нагрузок типа (45) для $q_0=0.1$, $q_t=0$. В этом случае существенна только основная резонансная частота колебаний, следовательно, здесь расчеты на жесткость сооружения типа телевизионных башен должны проводиться для основной собственной частоты (рис.10).

Особо высотные сооружения типа телевизионных башен относятся к категории массивных конструкций по степени воздействия на единицу

площади основания. При этом немаловажное значение для массивных 46 46 конструкций приобретают условия закрепления их оснований, с учетом геологических свойств почвы.

В этом плане влияние собственного веса с учетом податливости основания к изгибу и сдвигу на резонансные явления позволяет более точно оценить жесткости особо высотных сооружений к изгибным колебаниям.

$$\rho_1 \rho_1$$

$$l_2 l_1 l_2 l$$

$$d_1$$

$$\frac{d(x)}{\rho_0 l_1 \rho_0} \frac{d(x)}{\rho_0 l_1 \rho_0}$$

$$d_0 d_0$$

Рис. 6. Схематичное представление геометрических особенностей.

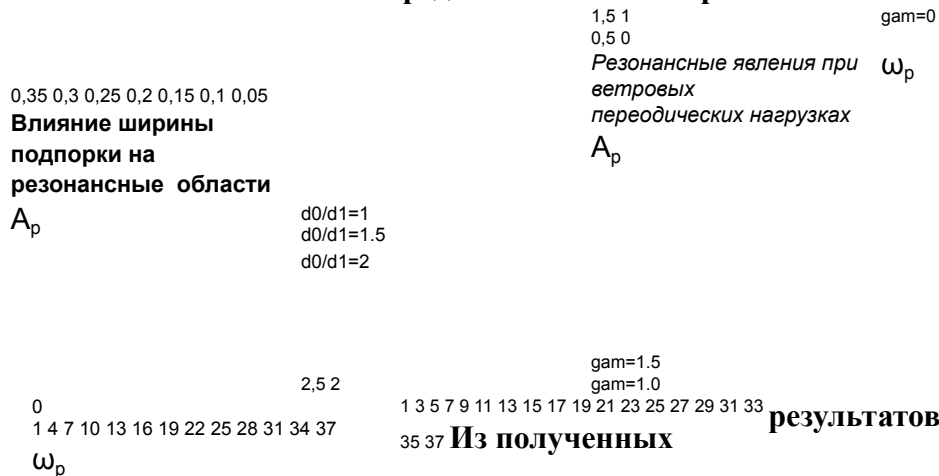


Рис. 7. Влияние ширины подпорки

основания на резонансные частоты. Рис. 8. Характер резонансов для поперечных ветровых нагрузок.

Из полученных результатов следует (рис.9), что увеличение собственного веса приводит к росту резонансных амплитуд колебаний почти в пять раз, при этом резонансные частоты не меняются. Особо высотные сооружения типа телевизионных башен в силу конструктивных особенностей допускают возможную податливость оснований к изгибу и сдвигу. Жесткость сооружения для податливых оснований к изгибу и сдвигу резко снижается для высокочастотных внешних воздействий (рис.10). Отсюда следует, что характер закрепления особо высотных сооружений имеет существенное влияние для высокочастотных внешних воздействий. Вместе с тем уменьшение нежелательных явлений при резонансных колебаниях достигается с применением динамических гасителей.

Для задачи о гашении резонансных явлений в телевизионных башнях под воздействием ветра, располагая динамические гасители в середине

47 47

сооружения, достигаем наибольшей эффективности уменьшения резонансных амплитуд. При этом масса гасителя должна превышать значение погонной массы сооружения на порядок. На рис. 11, 12 приведены полученные результаты амплитудно-частотных зависимостей при различных соотношениях жесткости гасителя к её массе. Из полученных результатов следует, что с увеличением отношения k_i/m_i наблюдается уменьшение

Влияние податливости основания к изгибу на

резонансной амплитуды колебаний более чем в 2 раза.

амплитудно-частотные характеристики

A_p 1113151719212325272931333
537

3

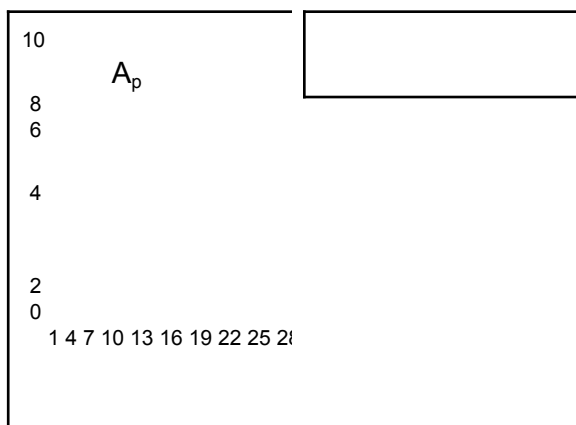
2,5-2

1,5-1

0,5-0

$q_1=1.0$ $q_1=0.5$ $q_1=0.0$

1 3 5 7 9

ω_p 

резонансные явления особо высотных сооружений.

Рис. 10. Влияние податливости оснований на амплитудно-частотные характеристики.

Рис. 9. Влияние собственного веса на

Динамические задачи прикладной механики теми или иными способами приводятся к решению спектральных задач. При этом одной из фундаментальных задач математической физики является разрешение дифференциальной проблемы в спектральных задачах.

В пятой главе диссертации «**Спектральные задачи для элементов несущих конструкций**» рассматриваются спектральные задачи для самосопряженных и несамопряженных операторов при различных граничных условиях.

С целью экспериментального подтверждения достоверности выполненных расчетов по предложенным алгоритмам рассмотрено собственное колебание дымовой трубы Ново-Ангренской ГРЭС. Анализ полученных результатов показывает, что погрешность не превышает 10-15%. Расчеты выполнены с учетом продольной силы собственного веса и возможной податливости основания к изгибу и сдвигу.

Исследования флаттера в динамических задачах аэроупругости связаны с определением критических скоростей обтекаемого газа $-U$, при которых начинается неограниченный рост амплитуды изгибных колебаний несущих элементов самолетов.

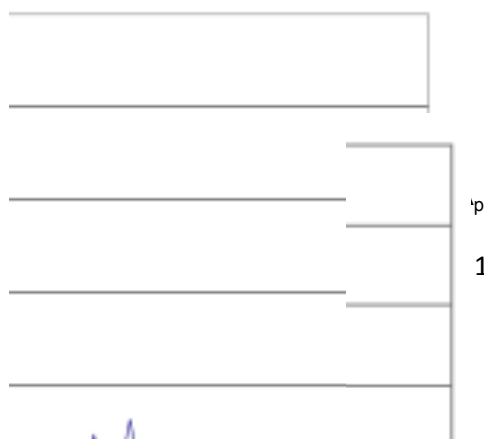


Рис.11. Гашение резонансных явлений при ветровом воздействии.

Рис.12. Гашение резонансных явлений при сейсмическом возбуждении основания.

1: $k_i/m_i=0$, 2: $k_i/m_i=0,5$, 3: $k_i/m_i=1$,
 $\omega_p \omega_p$ 1: $k_i/m_i=0$, 2: $k_i/m_i=0,5$, 3: $k_i/m_i=1$

В процессе численного решения задач при необходимости используются условия симметрии для искомых решений. В этих предположениях рассматриваемые задачи решаются в одномерной постановке (рис.13). В качестве граничных условий по оси Ox используется три типа закреплений. Полученные результаты свидетельствуют о том, что от вида закреплений краев пластины существенным образом зависит критическая скорость обтекаемого воздуха:



Рис.13. Схема воздействия сверхзвукового обтекания окружающего воздуха.

1. Жесткое защемление $V=218.932$;
2. Шарнирное закрепление $V=50.637$;
3. Консольное закрепление $V=6.323$

Если направления обтекаемого газа могут быть под разным углом, а также края закрепления пластин могут отличаться, то рассматриваемые задачи должны решаться в двумерной постановке.

В табл. 2 приводятся вычисленные значения безразмерной критической скорости при различных углах атаки обтекающего газа для различных условий закрепления пластин. Как следует из полученных результатов, с

49 49

изменением угла атаки в интервале ()

$\alpha \in 0, 90$ при симметричных условиях

закрепления критическая скорость переходит через минимум. При $\alpha = 45$ достигается минимальное значение для критической скорости. Вместе с тем для несимметричных граничных условий, таких как шарнирно-свободное или консольное закрепление прямоугольных пластин, увеличение угла атаки

приводит к росту критической скорости. Этот факт объясняется тем, что параллельность направления обтекаемого газа к свободной границе приводит к минимальному сопротивлению пластины к изгибу, следовательно, критическая скорость также принимает минимальное значение. При жестком заземлении краев пластины достигается наибольшая критическая скорость.

На рис.14 приведен характер зависимости базисной функции внутреннего момента на $\frac{1}{4}$ часть пластины от направления обтекаемого газа. Из полученных результатов следует, что только для $\alpha = 45^\circ$ имеем симметричное распределение базисной функции для внутреннего момента. В остальных случаях характер распределения базисной функции основного α .

тона колебаний для критической скорости V зависит от значения угла. Отсюда следует, что в спектральных задачах для несамосопряженных операторов не всегда можно выбрать симметричные базисные функции. Обычные подходы решения спектральных задач в большинстве случаев применимы для пластин в классических областях деформирования. Вместе с тем многие важные несущие элементы конструкций, подвергаемые динамическим воздействиям, имеют сложную конфигурацию, для которой многие классические подходы становятся неприемлемыми. Дело в том, что в пластинах типа криволинейных трапеций нельзя разделить искомые переменные по координате, поскольку контур, ограничивающий пластину, является одновременно функцией двух координат. Поэтому, с помощью изопериметрической системы координат, воспользуемся подходом отображения сложных областей в классическую область, приведенную в первой главе. Для наглядной иллюстрации данного подхода рассмотрим спектральную задачу для продольных стационарных волн в пластинах со сложной конфигурацией:

$$\Delta U + \lambda U = 0 \quad (31)$$

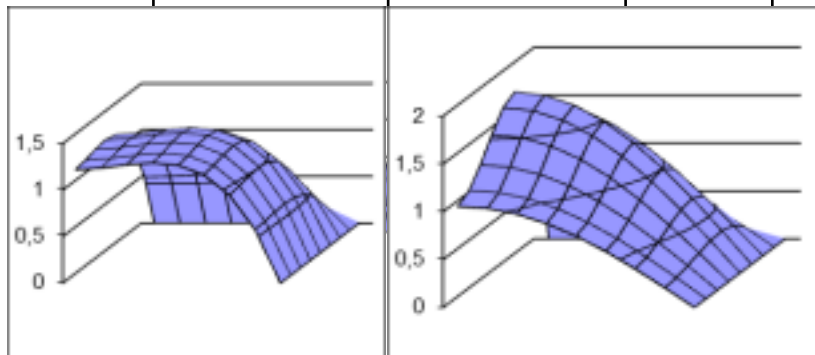
После отображения для пластин со сложной конфигурацией (31) становится дифференциальным уравнением в частных производных с переменными коэффициентами

$$a_{\xi\xi} U_{,\xi\xi} + a_{\xi\eta} U_{,\xi\eta} + a_{\eta\eta} U_{,\eta\eta} + a_{\xi} U_{,\xi} + a_{\eta} U_{,\eta} + \lambda U = 0, \quad (32)$$

где $a_{\xi\xi}, a_{\xi\eta}, a_{\eta\eta}, a_{\xi}, a_{\eta}$ переменные коэффициенты, заданные в изопериметрической системе координат. Однородные граничные условия для (58) могут быть произвольными. В качестве примеров для пластин со сложной конфигураций рассмотрены прямоугольник, эллипс, трапеция и криволинейные трапеции различной конфигурации.

Характер влияния направления угла атаки и условий закрепления пластин на критическую скорость обтекаемого воздуха

Угол атаки		0^0	30^0	45^0	60^0	80^0
Жесткое заце		805.2	484.4	462.4	484.4	624.8
Шарнирное закреплени		276.6	184.1	177.2	184.1	231.4
Шарнирное свободно		50.6	58.5	71.6	101.3	163.9
Консольное закреплени		6.3	7.3	9.0	12.7	21.5



M_{kk}/D

x_x

x

$ууу$

а) б) с)

а) $^0\alpha = 0$, б) $^0\alpha = 45$, с) $^0\alpha = 90$

Рис. 14. Эпюры изгибающего внутреннего момента шарнирно закрепленной пластины при различных углах атаки обтекаемого газа.

В классических областях типа прямоугольников спектральная задача (32) для основных однородных граничных условий имеет точное решение

$$l_{\pi} \pi \pi$$

)

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

следующего вида

λ. На рис.15 приводятся собственные числа, $\bar{a} b$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} +$$

соответствующие различным классическим и неклассическим областям. Здесь следует отметить, что для первых двух типов классических областей имеет место разделение искомым переменных по координатным осям и собственные числа определяются точно. В остальных случаях следует перейти к изопериметрической системе координат $O\xi\eta$ с адекватной передачей контура исследуемых объектов.

На рис. 15, для каждого случая по отдельности определена основная собственная частота λ .

51 51

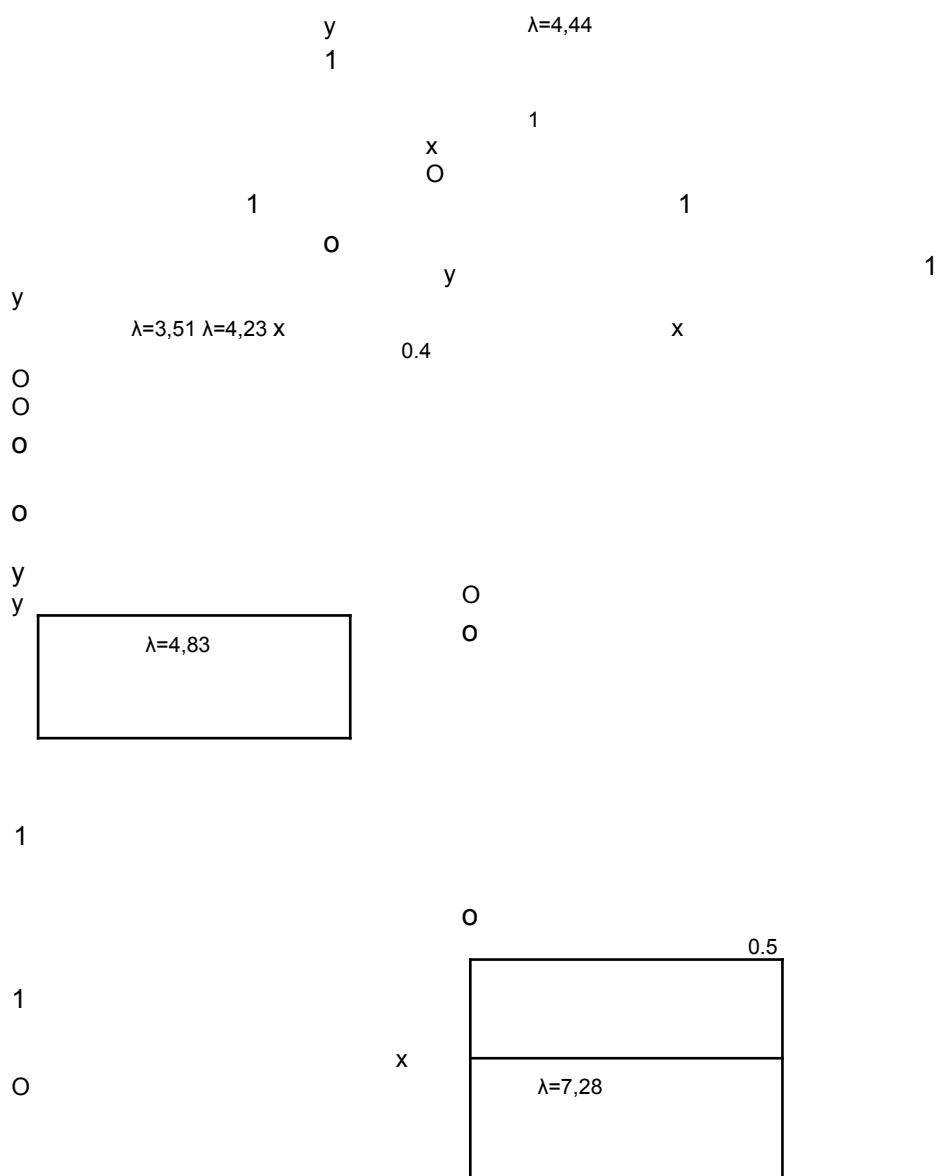


Рис.15. Значения собственной частоты стоячих волн для различных неклассических областей.



$\lambda_1 = 4,45$ при $h_1 = 0,02$, $\lambda_2 = 5,08$ при $h_2 = 0,08$, $\lambda_3 = 7,48$ при $h_3 = 0,14$ Рис. 16. Влияние заострения углов «звездообразной» трапеции на распределение базисных функций.

Из полученных результатов следует, что собственная частота с уменьшением площади рассматриваемых объектов имеет тенденцию роста. Вместе с тем более существенное влияние на собственную частоту имеет и геометрия контура пластин. Для «звездообразной» трапеции (рис.16) получены следующие результаты для собственных чисел и базисных функций.

Для данного контура пластины частота собственных чисел для стоячих волн с увеличением $-h$ растет, при этом стрела базисной функции в изопериметрической системе координат также растет, причем эпюра сжимается в центральную часть неклассической области. Этот результат объясняется характером закрепления краев «звездообразной» трапеции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по докторской диссертации на тему «Неклассические задачи пластин и пологих оболочек и разработка численных методов их решения» представлены следующие выводы:

1. Построение неклассической теории пластин и пологих оболочек без гипотез на основе трехмерных уравнений движения нелинейной теории упругости в неканонических областях деформирования, подтверждение её эффективности сравнением с известными теориями приобретает особое значение при решении прикладных задач механики.

2. Модификация метода дифференциальной прогонки, разработка

численных подходов разрешения дифференциальной проблемы в спектральных задачах для самосопряженных и несамопряженных операторов, обоснование достоверности численных методов повышает эффективность решения задач прикладной механики.

3. Полученные результаты решения трехмерной задачи о равновесии толстой шарнирно-закрепленной плиты под действием синусоидальной нагрузки подтверждают расширение границы применимости для неклассической теории плит.

4. Исследовано напряженно-деформированное состояние плит под действием сосредоточенной силы, расположенной в произвольной точке лицевой плоскости при различных соотношениях сторон и толщины. Впервые вычислены значения возникающих продольных усилий под действием поперечных нагрузок.

5. Исследовано динамическое воздействие внезапно приложенных подвижных сосредоточенных сил на толстую плиту. Определены зоны продольного сжатия и растяжения при воздействии подвижных сосредоточенных сил. Впервые исследован характер распространения стационарных продольных волн при внезапном воздействии кусочно постоянных поперечных нагрузок на тонкие стержни и пластины. 6. В рассмотренных задачах учет продольной силы от собственного веса приводит к двукратному увеличению резонансных амплитуд при установившихся колебаниях в особо высотных сооружениях. Изменение условий закрепления оснований особо высотных сооружений приводит к появлению новых резонансных областей. На основе проведенных исследований по выбору оптимальных параметров динамических гасителей и их места положения, в сооружениях типа телевизионных башен достигается уменьшение резонансных амплитуд почти в два раза. Проведенные теоретические исследования, с применением современных информационных технологий, для инженеров и проектировщиков даёт надежный инструмент для ежедневного контроля надежности высотных сооружений. 7. Приведены численные решения двумерных спектральных задач при различных условиях закрепления пластин под действием динамических нагрузок. Определены значения критических скоростей обтекаемого газа при исследовании флаттера в пластинах при различных соотношениях

53 53

физических и геометрических параметров. Критическая скорость в зависимости от условий закрепления может отличаться на порядок. Исследован флаттер в пластинах при различных углах атаки обтекаемого воздуха. При изменении угла атаки критические скорости друг от друга могут отличаться до трех раз.

8. С помощью изопериметрической системы координат в неклассических областях определены значения собственных чисел и эпюры базисных функций для стоячих волн при различных условиях закрепления неканонических пластин.

54 54

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF THE ACADEMIC DEGREE OF
THE DOCTOR OF SCIENCE 7/14/2016 FM/T 02.02 AT
THE TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY AND
NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

AKHMEDOV AKROM BURXANOVICH

**NONCLASSICAL PROBLEMS OF PLATES AND FLAT COVERS AND
DEVELOPMENT OF NUMERICAL METHODS OF THEIR DECISION**

**01.02.04 -Mechanics of deformable solids
(Physical and Mathematical sciences)**

ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION

TASHKENT-2016

55 55

The subject of doctoral dissertation is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for the number 30.09.2014/B2014.5.FM 136

The doctoral dissertation carried out at the Tashkent State Technical University named Abu Rayhan Beruni.

The full text of the doctoral dissertation was placed on web page of Scientific council 07.16.2013 T/FM.02.02 at the TDTU to the address www.tdtu.uz

Abstract of the doctoral dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English) is placed web-page to address www.tdtu.uz and information-educational portal «ZiyoNet» to the address www.ziyo.net.uz.

Official opponents: Xusanov Bakhtiyor Ergashboyvich doctor of physical-mathematical sciences, professor

Safarov Ismoil Ibrokhimovich
doctor of physical-mathematical sciences, professor

Indiaminov Ravshan
doctor of physical-mathematical sciences

Leading organization: Samarkand State Architecture and Construction Institute

Defense of the dissertation will take place in «___» _____ 2016 at _____ o'clock at a meeting of the Scientific Council 07.16.2013 T/FM.02.02 at the following address: Tashkent state technical university. Address: 100095, Tashkent, University str., 2. Tel. / Fax: (998 71) 227-10-32, e-mail: nich_tdtu@rambler.ru.

The doctoral dissertation registered at the Information Resource Center (IRC) of the Tashkent State Technical University for a number _____, which can be found in the IRC (100095, Tashkent, University str., 2. Tel.: (998 71) 227-10-32

Abstract of dissertation sent out on «___» _____ 2016 year
(mailing report № ___ on «___» of _____ 2016 year)

K. A. Karimov
Chairman of the specialized council
to award the degree of Doctor of Science, Doctor of Technical Sciences, Professor

N. D. Turakhodjaev
Scientific Secretary of the Specialized Council
to award the degree of Doctor of Science, Ph.D., Associate Professor

M. Mirsaidov
Chairman of the scientific seminar at the Specialized Council
to award the degree of Doctor of Science, Doctor of Technical Sciences., professor

56 56

INTRODUCTION (Abstract of the doctoral dissertation)

Actuality and claimed of theme of dissertation. Development of the Infrastructure of the world and the requirements for resistance to without danger and erected constructions putting new challenges increase the strength and reliability of the bearing structural elements. One of the most urgent and fundamental problems of mechanics is to develop Refine numerical calculation method for predicting the strength and stability of structures in their design. In

fundamental research and development to ensure the safe operation of buildings and structures allocated 4-5% of the total costs of research and education, including Europe and the CIS 3-4% in industrialized countries 7-8%.

In the conditions of the economic reforms which are carried out in our country special attention it is paid to safe operation and durability of the built designs and constructions. In particular, for ensuring safe flight flying and spacecrafts, stability and seismic stability of elevated and underground constructions, and also durability of the bearing elements of devices of drilling in geological exploration works, the solution of tasks of calculation of durability of their constituent elements like plates and flat covers is of particular importance.

With development of modern technologies, creations of constructional materials with unique physicomechanical properties, become actual questions of development of nonclassical theories and methods of calculation of rigidity, durability and stability of plates and covers. Enhancement of theories of a bend and development of numerical methods of calculation of durability of the difficult bearing elements of designs, using modern information technologies has important scientific and practical value.

This dissertation research to a certain extent is the task of development and introduction of modern computerization and information and communication technologies, science and educational process of higher educational institutions of advanced learning systems, based on the acquisition and active use of modern computer technology in the development of numerical methods for solving problems of mechanics provided in Presidential decree number PF 3080 of 30 May 2002 "on further development of computerization and introduction of information and communication technologies" and the resolution of the Cabinet of Ministry of Construction. The Republic of Uzbekistan № 200 of 6 June 2002 "On measures for further development of computerization and introduction of information and communication technologies"

Compliance of research to the priority directions of development of science and technologies of the republic. This research is executed in compliance by the priority direction of development of science and technologies of the republic IV. "Informatization and development information communication technologies".

57 57

Review of foreign scientific researches on a subject dissertatsii¹. Research aimed at the creation of the theory of plates and shells, as well as to address the problems of strength, stiffness and stability are carried out in the leading research centers and higher educational institutions of the world, including scientific centers Lawrence Livermore Laboratory (USA), the Technological University of Hamburg (Germany), University of Warsaw (Poland), Moscow state University (Russia), St. Petersburg Non-govern Twain University (Russia), Institute of polymer mechanics (Latvia), Tashkent state technical University (Uzbekistan).

As a result of research carried out in the world to improve the strength and determination of stability of plates and shallow shells, obtained a series of research results, including the following: A method for determining the state of stress of shallow shells with industrial composite materials (Lawrence Livermore Laboratory, USA); constructed non-classical theory of plates on the basis of a special distribution of internal stresses (Technological University of Hamburg, Germany); built thermodynamic foundations of the theory of plates and shallow shells (University of Warsaw, Poland); developed methods for calculating the strength of composite plates with a periodic structure (Moscow State University, Russia); developed non-classical theory of calculation of stability of plates (St. Petersburg State University, Russia); developed methods for the numerical calculation of the mechanical properties of dielectric materials (Institute of Polymer Mechanics, Latvia).

In the world in non-classical problems of plates and shallow shells on a number of priority areas for further research is carried out, including: development of methods for increasing the strength of plates and shallow shells in view of the unique physical and mechanical properties of structural materials; improving the accuracy of the equations of motion steppe plates under the fumes of external forces; development of numerical methods for determining the carrying capacity and reliability of thin-walled structures and designs.

Level of study of a problem.

Thin-walled elements bearing structural elements that have broad application in the art, from the earliest times of their research is the focus of scientists around the world.

Foreign scientists, Ya.Bernulli (France), I. Kirchhoff and F.Lyav (Germany), S.P.Timoshenko, R. Christensen (USA), L.Y. Aynolla (Estonia), A.K. Malmeyster

¹In the review of the international scientific researches on a thesis Lawrence Berkeley National Laboratory www.lbl.gov; Кафедра механики композитов МГУ www.math.msu.su/departament/composite/index.htm; Товстик П.Е. Некл. модели балок, пластин и оболочек // Изв. Саратовского университета, 2008. Т.8, серия Мат.мех.инф., вып. 3, с.74-85; Институт механики полимеров www.citariga.lv/rus/teika/zinatne/polimeru-mehanikas-instituts/ Скопцов К.А.; Шешенин С.В. Асимптотический анализ теории пластин Рейснера-Миндлина. М. Изд. во МГУ, Упругость и неупругость, 2011 г., стр. 236-240; Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости.— М.: Наука, 1979.— 560 с.; Kristensen R. Mechanics of Composite Materials – Courier Corporation, 2005, USA – 348 p; А й н о л л а Л.Я. Интер. вариацион. принц. и их прим. В динамике упругих обол. и пл.. Диссерт. —Таллин, 1967. —253 с; Малмейстер А. К., и др. Сопрот. Полим. И композитных материалов.—Рига: Зинатие, 1980.—572 с; Reissner E, Wan FYM Further considerations of stress concentrations problems for twisted or sheared shallow spherical shells. Int. J. Solids Structures 31(No. 16): 1994; A m b a r t s u m i a n S. A. On the problem of oscillations of the electrocon-ductive Plates in the transverse magnetic field: Theory of, Eds: North –Holland Publishing Company, 1980; В л а с о в В. in other.

58 58

(Latvia) conducted research on the theories of stress-strain state of plates and shells. Nonclassical theories studied by E. Reissner, S.A. Hambardzumyan, V.Z. Vlasov, J.M. Mushtari, I.G. Tregulova.

In our country V.Kabulov, T.Rashidov, T.Buriev, F.B.Badalov, M.Mirsa idov, H.Hudoynazarov, H. Eshmatov, M.Usarov conducted research to solve applied problems of stability and rigidity of plates and shells .

Non-classical theories are based on the reduction of the original three dimensional to two-dimensional problems. Therefore, the objective criterion of the reliability of the proposed non-classical theories adopted by the degree of

satisfaction obtained by making three-dimensional equations of motion mechanics of deformable solids.

However, all known carriers and non-classical theory of thin-walled structures using these or other hypotheses introduce new or replaced. For example, in all theories, without exception, used the hypothesis of no extensible midline of the plates. Consequently, in particular, it is not possible to study transient walled structures under transverse loads. Another significant disadvantage of the known theories, due to power input hypotheses are not achieved perform all the boundary conditions and equations of motion of a three-dimensional elasticity. Above cited facts strongly suggest the relevance of the theory of plates and shallow shells without prior hypotheses

Communication with thesis research work of higher educational institution where the thesis is made. The dissertation research is carried out within the framework of the plan of research works of fundamental and applied projects of the Tashkent State Technical University FROM F1-123 "Theoretical Foundations of mathematical modeling of genetically-deformed systems under the influence of random disturbances and numerical solution of differential problems in spectral problems" (2007-2011.), A-14-45 "Nonlinear problems of calculation of durability of composite plates of complex configuration" (2015-2017.).

Purpose of the research are solutions of no classical problems for plates and shallow shells; development of numerical resolution of differential approach problems in spectral problems for the stability of structures.

The tasks of research work:

reduction of three-dimensional problems of nonlinear elasticity theory for two-dimensional equations of motion of plates and shallow shells without the use of hypotheses;

modification of the method of differential sweep method for the numerical solution of boundary and spectral problems of applied mechanics; to develop an approach for dynamic damping of resonance phenomena in especially high-rise buildings based on their own weight and kinematic conditions secure bases;

The scientific rationale for the approach of the numerical resolution of differential problems in spectral problems for non-self-joint operators razeshayuschih equations.

59 59

The object of the research work. are especially high-rise buildings, elements of thin-walled supporting structures of complex configuration, thick plate, flexible plates and shallow shells.

The subject of the research. Fluctuations especially high-rise buildings by the external lateral dynamic forces, bearing deformation of thin-walled structures of complex configuration, and application problems for the thick plates.

Methods of the research: The thesis applied numerical methods for the determination of the eigenvalues and basic functions in spectral problems of Applied Mechanics for self-adjoint and self-adjoint operators; methods of differential and variation sweep iterations.

The scientific novelty of the research it is as follows:

developed numerical approach permits differential sample-Leme in spectral problems for self-adjoint operators;

Developed an improved method of differential and variational sweep iterations for solving static and dynamic problems of mechanics; methods have been developed to address emerging danger zones to internal stresses in the complex areas of deformation of bearing structural elements; developed methods for halving the resonance amplitudes using dynamic dampers in particularly high-rise buildings

The critical skorasti to flutter in aerodynamics, which may differ in the order in accordance with the terms Fasten-tion plates.

Practical results of the research:

The zones in dangerous internal stresses when exposed to concentrated forces in thick slabs

The reliability of the results approved by the use of the basic principles of applied mechanics; using the fundamentals of mathematical physics and functional analysis; verification of the results of applications on examples of test problems of mechanics.

Theoretical and practical significance of the research: The scientific significance of the research is as follows: the creation of a new scientific direction in Solid Mechanics, based on the proposed non-classical theory of deformation of load-bearing structural elements. The ability to study the propagation of longitudinal waves under the influence dynamic loads resolution of differential problems in spectral problems.

The practical significance lies in the fact that the developed mechanisms for dynamic damping of resonance phenomena in particular high-rise structures, methods for the determination of zones of dangerous internal stresses in the non canonical elements of load-bearing structures are the basis for the creation of complex applications in the spectral edge and backside chat.

Implementation of the research results.

On the basis of scientific advice received by the numerical solution of non classical problems of plates and shallow shells:

Results for "non-canonical sloping shells" and "numerical solution of spectral problems for non-canonical plates" used in carrying out the project 15-026

60 60

"Development and research of design automation carrying aircraft structures using finite element method" to calculate the strength of the load-bearing elements of agricultural aircraft. (Reference 0313/348 of 2 June 2016 the Committee for Coordination of Science and Technology).

Proposals for the application of the method of display using isoperimetric coordinate system no canonical plates in the classical area allowed to specifyframes, calculations, wings and chemical tanks, agricultural aircraft by 30-35%.

Approbation of research results,The findings are set out in the form of lectures and have been tested by 12 international and republican scientific and

practical conference, including, "Mechanics and technology of composite materials" (Bulgaria, Varna, 1987.); "Polymer Composites" (Germany, Dresden, 1987); "Integral equations in applied modeling." (Ukraine, Odessa, 1989.); "According to the dissipation of energy issues" (Kiev, 1989); Peoples' Friendship University (Chimkent, 2007); "Recent developments in applied mathematics and information technology -Al-Khwarizmi 2012" (Tashkent, 2012); at the republican conference "Modern problems algorithms" (Tashkent, 1991); "Mathematical modeling and numerical methods for solving problems of applied mathematics" (Tashkent, 1992); "Computing Experiment, mathematical modeling and applications" (Tashkent, 1993) for Continuum Mechanics, Tashkent, 1989; on scientific and technical conference TSTU, Tashkent, 1993. "The problems and issues of mechanics" (Tashkent, 1993); "Monitoring of flying devices" (Tashkent, 2000).

Publication of the results. On a thesis only 40 scientific works are published. From them 1 monograph, 1 author's certificate, 14 scientific articles, including 10 in republican and 4 in foreign magazines of the main scientific results of doctoral dissertations recommended by the Highest certifying commission of the Republic of Uzbekistan for the publication.

The structure and scope of the dissertation. Structure of the thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references, applications. The volume of thesis is 198 pages

THE MAIN CONTENT OF THE DISSERTATION

In the introduction of the urgency and relevance of the dissertation topics, formulated its goal and objectives, as well as object, subject and methods of research. Provides relevant research priority areas of science and the Republic of Uzbekistan technologies, describes the scientific novelty and practical results of the research substantiates the accuracy of the results obtained, revealed theoretical and practical significance of the results, the results of the introduction of the thesis into practice, information on testing and published works, structure and dissertation volume.

In the first chapter, entitled "**Non-classical tasks of plates and shallow shells with complex configuration**" constructed non-classical theory of plates and shallow shells with complex configurations on the basis of three-dimensional

61 61

equations of the nonlinear theory of elasticity without hypotheses. The proposed approach extends to the deformation of plates and shallow shells of non-canonical form. Formulated nonlinear oscillation problem of high-rise and flexible structures under kinematic excitation of their bases periodic loads.

For an arbitrary three-dimensional body under the action of body and surface forces on the basis of a geometrically nonlinear theory of elasticity in the initial (before deformation) Cartesian coordinate system $Ox_1x_2x_3$, we have a system of equations of motion with respect to the Lagrange displacement component U_i

$$[(\delta_{ik} + U_{i,k})\sigma_{kj}]_{,j} + X_i - \rho U_{,i} = 0. \quad (1) \text{ with linear defining}$$

relations between the stress tensor σ_{ij} and finite deformations e_{ij} for elastically anisotropic material

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} e_{kl} \quad (2)$$

and kinematic Cauchy-Green relations

$$e_{ij} = \frac{1}{2} (U_{i,j} U_{j,i} - U_{k,i} U_{k,j}) \quad (3)$$

when the initial conditions

$$U_i = U_i^0, \quad U_{i,j} = U_{i,j}^0, \quad U_{i,j,k} = U_{i,j,k}^0 \quad (4)$$

and boundary conditions

$$U_i = U_i^0, \quad U_{i,j} = U_{i,j}^0, \quad U_{i,j,k} = U_{i,j,k}^0 \quad (5)$$

where U_i^0 - defined on part of the boundary $\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2$ displacement, $U_i^0 V_i^0$ - coordinate the functions describing the initial state of the body, δ_{ij} -Kronecker symbol, n_j - outward normal, ρ - density, C_{ijkl} - constant tensor of anisotropic materials.

From the total three-dimensional problems of nonlinear elasticity theory, the deformation of plates, taking into account the prevailing character of lateral movement, in (1)-(5) neglects the nonlinear components of the longitudinal displacement. The desired solution is represented as a polynomial up to the fourth degree in the normal coordinate z

$$U = U_0 + U_1 z + U_2 z^2 + U_3 z^3 + U_4 z^4 \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& \left[\begin{array}{c} \sigma_{11} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \end{array} \right] = \frac{Eh}{2(1+\nu)} \left[\begin{array}{c} \Delta u \\ \Delta v \\ \Delta w \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} p_x \\ p_y \\ p_z \end{array} \right] \\
& \text{where } \Delta = \Delta_x + \Delta_y + \Delta_z \text{ is the Laplace operator, } Z = \frac{\partial}{\partial z} \\
& \text{The components of the displacement vector (6), a symmetric stress tensor} \\
& \text{respectively, depend on the unknown integral values } u_i, \psi_i, w, V, \theta, \text{ which are} \\
& \text{functions of the coordinates } x_1, x_2 \text{ in } t. \text{ In order to obtain a closed system of} \\
& \text{equations for resolving these unknowns by considering internal moments, axial} \\
& \text{forces and shear forces to obtain the equations of motion of elastic plates carrying} \\
& \text{out the integration process (1) in view of (5) with respect to } z \text{ in the interval} \\
& [-0,5h; 0,5h]: N p m u + - =
\end{aligned}$$

where $12(1) + \nu$ external loads.

$= \frac{Eh}{G} \Delta$ - Laplace operator,, $Z Z$

The components of the displacement vector (6), a symmetric stress tensor respectively, depend on the unknown integral values $u_i, \psi_i, w, V, \theta$, which are functions of the coordinates x_1, x_2 in t . In order to obtain a closed system of equations for resolving these unknowns by considering internal moments, axial forces and shear forces to obtain the equations of motion of elastic plates carrying out the integration process (1) in view of (5) with respect to z in the interval $[-0,5h; 0,5h]: N p m u + - =$

$$MQm \quad h \quad \begin{matrix} \text{ } \\ \text{ } \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{ } \\ \text{ } \end{matrix}$$

$$- + - = m$$

$$0$$

$$ijjiii$$

$$12$$

$$\psi \quad (11)$$

$$+ -$$

$$\begin{matrix} \text{ } \\ \text{ } \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{ } \\ \text{ } \end{matrix}$$

$$Q N w M V S S m w$$

$$+ + + - - =$$

$$(\quad), (\quad), 0,$$

$$i i i j j i i j j i z z$$

where p, m – distributions forces and moments of external loads, m - mass per unit length. In terms of the integral values typical boundary conditions can be written as follows

. Hinged

$$I N n M n w V$$

$$= = = =$$

$$0, 0, 0, 0, 0$$

$$ijjijj$$

$$\theta$$

$\Sigma \Sigma \Sigma \Sigma \Sigma$. Rigid clamping

$$II$$

$$u w V$$

$$0, 0, \quad, 0, \quad, 0 \quad \theta$$

$$= = = =$$

$$ijjijjiiiiii \Sigma \Sigma \Sigma \Sigma \Sigma$$

$$0, 0, 0, 0, 0$$

$$\psi \quad \theta$$

$$(12)$$

$$i i \Sigma \Sigma \Sigma \Sigma \Sigma$$

. Free edge

$$III N n M n Q n V n n = = = = 0,$$

Thus, we have a general theory, which can be obtained from linear and non linear equations of motion of thick slabs and plates flexible. For example, (10)–(11) neglecting values and higher order nonlinear terms and entering the axial displacement and shear potentials angles can be obtained with the simplified equation of motion of the plates average thickness

$$\begin{aligned}
& \nabla \nabla \\
& \frac{1}{\mu} \nabla \nabla \\
& G u q h - \frac{1}{\mu} \nabla \nabla \\
& \mu \Delta + = \\
& \frac{4}{2} \nabla \nabla \\
& \frac{h}{2} \nabla \nabla \\
& D \\
& \nabla \nabla 2 \\
& \Delta + - + - \psi \nabla \\
& \frac{1}{12} \nabla \nabla \frac{1}{5(1-2\nu)} \frac{q}{+} \quad (13) \\
& \frac{22}{\nabla} \\
& \frac{h}{\nabla} \nabla \nabla \\
& \frac{m}{1} \nabla \nabla \frac{1}{5} \nabla \nabla \frac{1}{12(1-2\nu)} \nabla \nabla \frac{\psi}{=} 0
\end{aligned}$$

For medium thickness plate system (13) is received in the first, because the first equation gives the possibility of studying rasprostroneniye longitudinal waves under the action of lateral loads. The static problems of applied mechanics, the second equation up to factors corresponds to the resolving equations of Reissner Mindlin, which is a third approach to three-dimensional equilibrium equations. In this first approximation corresponds to the classical Kirchhoff theory, which can be obtained from (13) the neglect of containing factor $-h^2$.

Using the general theory of shallow shells V.S.Vlasov longitudinal stress components can be expressed as

$$\sigma = \lambda - \zeta \chi \bar{\delta} + \mu - \zeta \cdot (14) \quad ij \quad kk \quad kkl \quad l \quad ij \quad ij \quad ij \quad l \quad \chi l$$

$$(e w) 2 (e w)$$

Here the components of the tensor of the third rank - ζ_{ijl} is determined in the following form $\zeta_{111} = \zeta_{222} = \chi_k$ - curvature of the shallow shell on the coordinate axes. The longitudinal components of the tensor of the Cauchy-Green - e_{ij} taking into account (6) calculated using the formula (3).

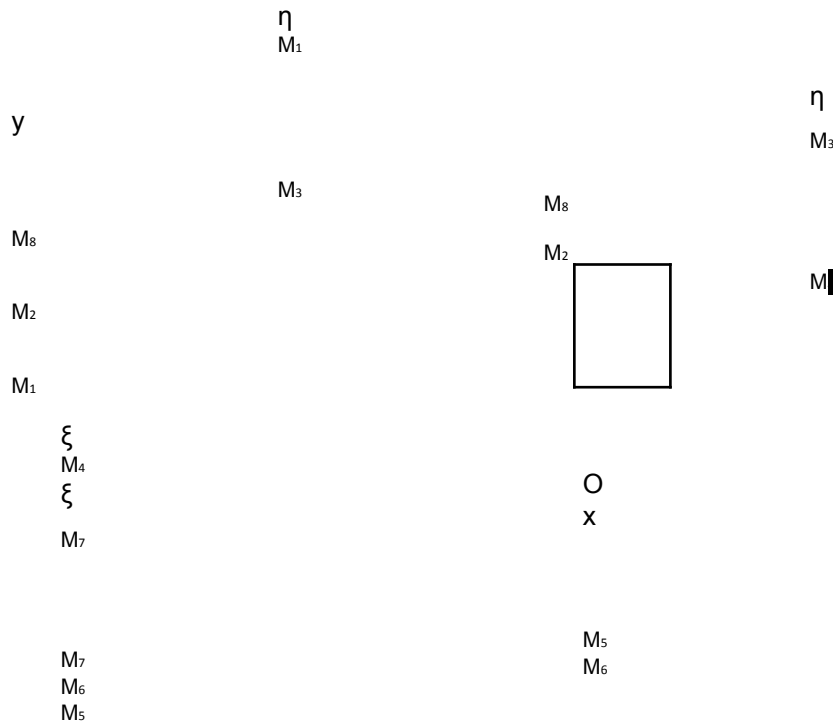


Fig.1. Showing curvilinear trapezoid in the classical area.

The equations of motion (11) the effect of a shallow shell curvature is taken into account as an additional lateral load from the axial forces $N_{ij} \zeta_{ijl} \chi$. Non classical field strain typing isoperimetric coordinate system $O\xi_1\xi_2$, by performing the operations of differentiation of composite functions, using the following formula

$$\sum_{k=1}^8 N_{\xi_1 \xi_2} x_{1k} x_{2k}$$

64 64

it's possible display them in a square area (Figure 1). Here (x_{1k}, x_{2k}) pair of numbers describing the coordinates of points M_k defined on vertices and midpoints of the contour of the curvilinear trapezoid. At the same time we consider the differential equation in partial pass a similar equation with variable coefficients.

With the application of the relevant simplifications and hypotheses of the proposed theory, it is possible to obtain well-known technical and refined the

theory of plates. For example the classical theory of (6) can be obtained in the absence of tangential stresses formal change $\psi_k = -w_k$ neglecting the compression plate ($\varepsilon_{zz} = 0$, i.e. $V = \theta = 0$).

With the perfection of the theory of calculation of bearing elements, respectively, are complicated and computational schemes' implementations. The most optimal in terms of accuracy of the numerical results are considered approaches reducing boundary problems to equivalent problems with the transfer of the Cauchy boundary conditions on a fixed point. Among these approaches, the most promising is the method of differential sweep. Fundamental studies of the method implemented in the works A.A.Abramov, I.Babushka, N.Muhitdinov, F.B. Badalov and others. The main drawback of this method is special computing algorithm sensitivity to the *type of boundary conditions*.

In the second chapter, titled **"Computational methods for solving boundary value problems and the spectral"** developed a modified method of differential sweep for systems of differential equations with arbitrary boundary conditions. A numerical approach permits differential problems in spectral problems, including for self-adjoint operators resolving equations.

The reliability of numerical approaches for solving boundary value and spectral problems is proved by the example of the known solutions of static and dynamic problems of applied mechanics.

For ordinary differential equations Unified recorded matrix-vector form'

$$(C(x)V' + Q(x)V) + A(x)V' + B(x)V = F \quad (15)$$

$$a V' + b V = f \text{ by } x = 0, l \quad (16)$$

it proposed a modified differential sweep method for arbitrary boundary conditions. Here $C(x)$, $Q(x)$, $A(x)$, $B(x)$, $F(x)$ – given vector and matrix a , b , f – vector and matrix constants characterizing the type of functions.

boundary conditions in applied mechanics. In order to transfer the boundary conditions (16) recorded in the most general terms, taking into account the structure allowing the equation (15) we introduce the following auxiliary system of ordinary differential equations:

$$\alpha(C(x)V' + Q(x)V) + \beta V = f, \quad (17)$$

where α, β, f – unknown coefficients to be determined.

The latter system of equations by differentiating with respect to x :

$$\alpha(C(x)V' + Q(x)V) + \alpha'(C(x)V' + Q(x)V) + \beta V' + \beta''V = f' \quad (18)$$

and multiplying by the inverse matrix of α^{-1} , carrying out regrouping of members, we have:

$$(C(x)VQ(x)V)\alpha(\alpha C(x)\beta)V\alpha(\beta Q(x))V\alpha f$$

$$+ ' + ' + ' + ' = '$$

Comparing (19) and (15) and (17) and (16) at $x=0$, we obtain the following Cauchy problem for the unknown coefficients α, β, f :

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix} \\ & \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(x) \\ B(x) \\ C(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \\ & \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(0) \\ B(0) \\ C(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\ & \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(l) \\ B(l) \\ C(l) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

The resulting Cauchy problem, differential equations for the matrix (20) by solving the direct course, on the interval $[0, l]$ we define the unknown α, β, f , therefore, and at $x=l$. Then, taking into account (16) and (20) we have the following system of linear algebraic equations for the $2n$ unknowns V, V' :

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(0) \\ B(0) \\ C(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\ & \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(l) \\ B(l) \\ C(l) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ & \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(x) \\ B(x) \\ C(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (21)$$

After solving the system of algebraic equations (21) with respect to V, V' , retraction method of matrix differential sweep as the Cauchy problem for (15) is extended to the desired V solution considered interval $[l; 0]$.

For the boundary value problem (15) - (16) in the method of matrix differential sweep does not require differentiation factors, which is especially important for the consideration of applications with piecewise continuous physical and geometrical characteristics. When the condition:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A(0) \\ B(0) \\ C(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\left| \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right| \neq 0 \quad (22)$$

$$\det \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \neq 0$$

under certain restrictions on the coefficients of resolving equations proved the existence and uniqueness of solutions of the boundary value problems. The corresponding dynamic problem of linear elasticity theory for inhomogeneous elongated structures using Fourier method can lead to the solution of the spectral problem:

$$[C(x)U' - Q(x)U] + A(x)U' - [pM(x) - B(x)]U = 0 \quad (23)$$

$$a_x V' + b_x V = 0 \text{ at } x = 0, l \quad (24)$$

where p – own number. The resulting homogeneous boundary value problem is solved by a modified differential sweep. Own number p determined from the condition of a nontrivial solution of the homogeneous boundary value problem (23) - (24):

$$\left| \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right| \neq 0 \quad (25)$$

$$\det \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \neq 0$$

For the numerical definition of p (25), constructed iterative process Vegsteyn. After the solution of the spectral problem (26) - (27) the solution of the dynamic problem of elasticity expanded in Eigen functions

$$\sum_{r=0}^{\infty} T_r(t) U_r(x) = 0 \quad (26)$$

66

where $T_r(t)$ are the solutions of the corresponding ordinary differential equation with respect to time.

Thus, we have a complete solution of linear one-dimensional dynamical problem of elasticity theory. However, many application tasks are categorized as two-dimensional static and dynamic problems, the solution of which is a rather complicated mathematical problem.

In carrying out the separation of variables in the coordinates $\text{var } v_i(x_1, x_2) = X_{1r}(x_1)X_{2r}(x_2)$, doing the procedure Bubnov - Galerkin method for each of the coordinates $x_s (s = 1, 2)$, will have a one-dimensional boundary value problems. information of two-dimensional problems of method to a sequence of one dimensional, called variation iteration method, which is not limited to be applied to

non-linear static problems.

Two-dimensional dynamic problems are solved similarly, joint use of the modified method of differential sweep and variation iteration method. Once the one-dimensional basic functions for each of the separate coordinates for finding the eigen values of the original two-dimensional spectral problem using the energy formula of Rayleigh.

For example, solutions of test problems show the accuracy of the proposed numerical methods for solving one-dimensional linear and nonlinear boundary value problems. The results show the high accuracy of numerical methods proposed. Numerical realization of spectral problems show that for different boundary conditions defined by at least 7-8 of their own values.

In the third chapter, entitled **"Some problems of equilibrium and motion of thick slabs"** in order to establish the validity and effectiveness of the proposed non-classical theory of plates are considered a private problem of the deformation of thick plates, in the framework of plane elasticity theory with the exact solutions. The problems of compression of thick plates uniformly distributed load, based on absolutely rigid and smooth base, as well as the pure bending of thick plates obtained exact solutions. At the same time, for those tasks previously known theory allowed to receive only the basic strength of materials solutions without taking into account changes in the thickness of thick plates in bending. The problem of bending of thick plates with fixed edges under the action of a uniformly distributed load, calculated values occurring normal force, in contrast to known theories. Depending on the thickness of the plates, in the framework of the proposed theories we have an opportunity to clarify the results of the classical theory of up to 40%.

For example, the solution of the spatial problem of bending B.F.Vlasova hinged thick plates under the action of a sinusoidal load. For this problem has an exact solution to the three-dimensional setting, performed numerical comparisons of the results of known theories, ($0.3, 1 \leq l_1 = l_2 = l$) at various h/l relations. B Table 1 provides a comparison of the results and relative errors discussed theories wE in point (0.5,0.5,0.0).

for the reduced deflection $-hq_0$

67 67

It follows from these results that the proposed theory favorably with other refined theories, the maximum relative error which, if $h / l = 0.5$ up to just 5.8%.

Table 1

Comparative analysis of the solutions of the Vlasov problem for the different theories

h/l	Classical theory	Non-classical theory			Exact solution	The relative error in %			
		Reissner	Tymoshenko	Proposed		Δ_k	Δ_p	Δ_r	Δ_{π}

	or ^y				o ⁿ				
0. 1	280.26	292.03	296.0 6	294.3 8	294.24	4.8	0.8	0.6	0. 0
0. 2	17.51	20.26	21.47	21.07	20.98	16.5	3.4	2.3	0. 4
0. 3	3.46	4.55	5.22	5.05	4.97	30.5	8.5	4.8	1. 5
0. 4	1.09	1.63	2.08	1.99	1.97	43.3	15.4	7.9	3. 3
0. 5	0.45	0.75	1.08	1.02	0.96	53.6	22.3	11.7	5. 8

The table indexes Δ corresponds to the name of the theory. As can be seen from the table the classical theory gives satisfactory results for $h/l < 0.1$, theory of Reissner - $h/l < 0.2$, a refined theory of Timoshenko type - $h/l < 0.3$. However, the proposed theory is applicable for the study of stress-strain state boards to $h/l = 0.4$.

In conventional theory does not take into account cross-compression of thick plates in bending. However, it follows from the solution of three-dimensional theory of elasticity for bending plates of medium thickness, there is a pronounced transverse compression (Figure 2). As can be seen from the figure Timoshenko type theories give higher values, and the Reissner's theory gives averaged values. As for the proposed non-classical theory, the results have a good correlation with the exact solution that adequately reflect the cross-compression plates in bending.

The two-dimensional problem of the action of a force P on a rectangular plate at some point $M(x_0, y_0)$:

$$(,) () () q x y = P \delta x - x_0 \delta y - y_0, (27)$$

where $\delta(x)$ – Dirac delta function.

This problem is considered in various aspect ratio and plate thickness. At the point of application of a force unknown quantities reach a maximum, and the gradient of the distribution of significant (Figure 3). For $P/E = 0,00005$ deflection is 8% of the thickness ($h = 0,02$; $a = b = 1$), and the maximum torque - 35% of the stiffness of the plate.

Offset point ($x_0 = a/4$, $y_0 = b/4$) the application of a force led to a reduction in the required quantities in the order of values (Figure 4). At the point of application of a force internal moment and longitudinal force have a significant gradient changes. This fact is due to the fact that at a given point of the stress tensor components are taking significant and unlimited normal stress values.

Let us assume that the external load is a dynamic type because of the following concentrated:

1. Immediate application of a concentrated force

68 68

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(t - t_0),$$

2. The harmonic effect of a concentrated force

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \sin \omega t = - \ddot{w}_0 - \ddot{w}_0, 3.$$

Moving concentrated force

$$q(x, y, t) = P \delta(x - x_0 - ct) \delta(y - y_0 - ct).$$

$U_z E/hq$
3,7

3,5

3,3

3,1

-0.167 0 0.167 z

Exact solution The proposed theory
The theory of Reissner Theory of Timoshenko

Fig. 2. Distribution of deflection U_z in z for the various theories $3l^h$.

$l =$

Under the influence of a force in the mobile thick plates having a stretching area and compression over time (Fig. 5).

As chimneys widely used in thermal power plants widely designs havin The fourth chapter, entitled **"Research and quenching of resonance phenomena in especially high-rise buildings"** devoted to the study of resonance phenomena in especially high-rise buildings such as television towers with the possible grounds for the compliance of shear and bending. We investigated the influence of the physical and mechanical, self-weight and geometric structures on the resonance phenomenon for periodic external loads. Questions of reducing the resonance amplitudes using dynamic absorbers were considered. Steady vibrations particularly tall Viscoelastic structures with variable stiffness $-D(x)$, linear mass $-m(x)$, based on its own weight, with respect to the bending moment and deflection are described by the following system of resolving equations

$$\begin{aligned}
 & \int_0^l \left(\frac{1}{2} \frac{d^2 W}{dz^2} + \frac{1}{2} \frac{d^2 W}{dz^2} \right) dz = 0 \\
 & M P g m z dz W q m W () 0 \\
 & \frac{+}{2} - \frac{-}{2} = \\
 & M^x \\
 & -'' + = (1) \\
 & R W \quad D x () 0,
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

69 69

when the boundary conditions corresponding to the exciting and kinematical cantilevered and enshrined construction, with possible pliability to the base shear and bending

$$\begin{aligned}
 & W k M W t_x \\
 & () \text{ at } 0, \theta
 \end{aligned}$$

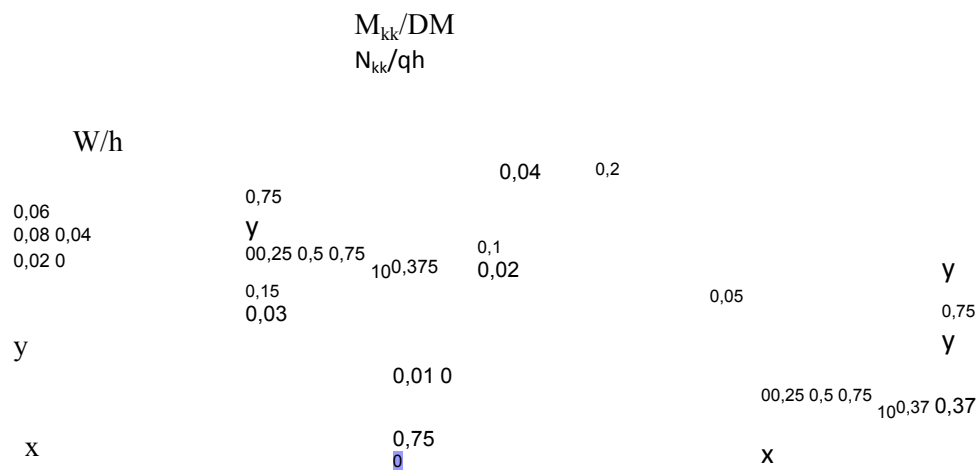
$$\{ = ' + = \}$$

$$W k M_0$$

φ

$$= = = ' (29) M M x l$$

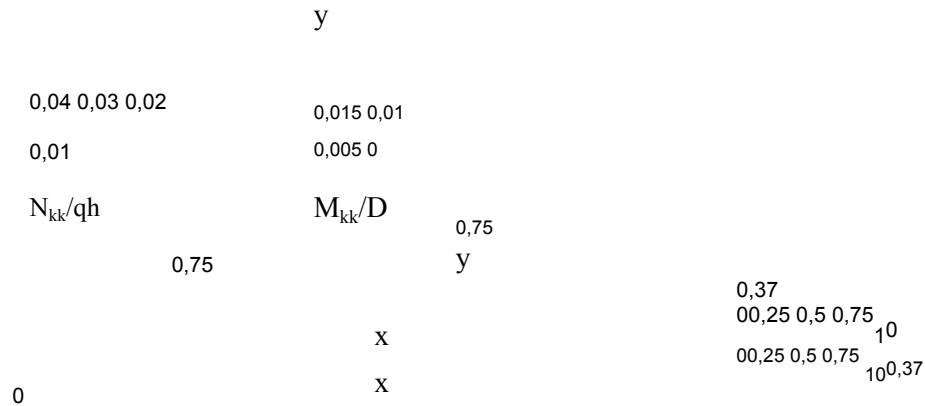
0 at ,



x

a) Distribution of a deflection b) The distribution of torque

Fig. 3. Epyura of a deflection and the internal moment on plates under the influence of symmetrically located concentrated force.



a) Distribution of normal effort b) The distribution of torque

Fig. 4. Epyura of normal effort and the internal moment on plates under the influence of asymmetrically located concentrated force.

Here

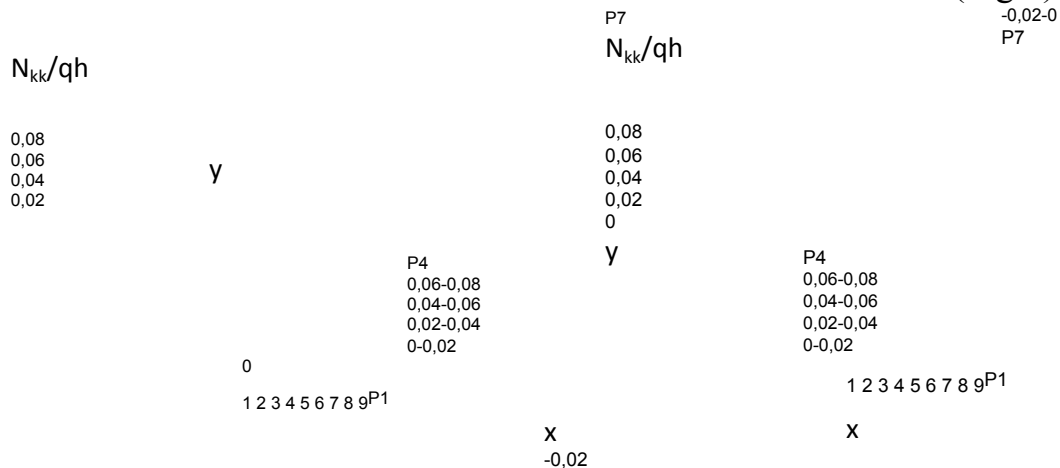
$= - \int_{-\infty}^0 \int_0^{\infty}$ characterizes the steady of

$$R(t) dR(t) d\varphi(t) d\varphi(t) d\varphi(t) d\varphi(t)$$

viscoelastic properties of the construction material.

70 70

Here $W_0(t)$ - the law of motion of the base structures that are periodic. Cross section of a particularly tall cantilever-fixed installations, we assume round. Then the diameter of the above structures can be written in the form (Fig.6):



[illegible]

g struts near the base, to which the laws of variation of the cross-sectional diameter can be obtained from (30) by setting $l_2=l$. From Fig. 7 shows that an increase in the width of struts leads to a sharp increase in the resonant frequency. plated-frequency characteristics observed when exposed to wind loads of the type (45) for $q_0=0.1$, $q_t=0$. In this case, the only significant fundamental resonant oscillation frequency, therefore, in this case, rigidity calculations television towerstype structures should be performed for the fundamental natural frequency (Fig. 10). Particularly tall structures such as television towers, is classified as massive structures, the degree of impact on the area of the base unit. At the same time of great importance for the massive structures acquired conditions securing their bases, taking into account the geological properties of the soil. regard, the impact study of its own weight, taking into account compliance of the base to the bending and shear in the resonance phenomenon can more accurately assess the stiffness especially high-rise facilities to bending oscillations.

From the obtained results (Fig. 9) follows that the increase in its own weight

leads to an increase in the amplitude of the resonant oscillations is almost five times, the resonance frequency does not change. Especially high-rise buildings such as television towers because of design features allow for possible compliance reasons to bending and shear. The stiffness of compliant structures for reasons to bending and shear is sharply reduced for high frequency external influences (Fig.10).

71 71

$\rho_1 \rho_1$
 $l_2 l_1 l_2 l$
 d_i
 $d(x) d(x)$
 $\rho_0 l_1 \rho_0$
 $d_0 d_0$

Fig. 6. Schematic representation of the geometrical features of especially

Влияние ширины подпорки на *периодических нагрузках*

резонансные

Резонансные явления при ветровых

high-rise structures such as television towers.

области

0,35 0,3 0,25 0,2 0,15

0,1 0,05 0

A_p

$d_0/d_1=1$ $d_0/d_1=1.5$

$d_0/d_1=2$

2,5 2

1,5 1

0,5 0

A_p

$\gamma_{am}=1.5$

$\gamma_{am}=1.0$

$\gamma_{am}=0$

ω_p

1 3 5 7 9 11 13 15 17 19

21 23 25 27 29 31 33 35

37

ω_p

1 4 7 10 13 16 19 22

25 28 31 34 37

Qualitatively different nature of the

Fig. 7. Effect of backup base width at the resonant frequency.

Fig. 8. The nature of resonances in the cross wind impacts.

It follows that the nature of consolidation particularly tall structures has a significant impact for high-frequency external impacts. However, a decrease in adverse events at the resonance frequency is achieved with the use of dynamic absorbers.

For the problem of repayment of resonance phenomena in the television tower by the wind, having dynamic dampers in the middle of construction, it achieved the greatest efficiency reduce the resonance amplitude. At the same time, the damper mass must exceed the value of the mass per unit length on the order of construction. The results of amplitude-frequency curves for different ratios of absorber stiffness for its weight presented on fig.11,12. The results show that with

increasing relation k_i/m_i , follows a decrease of resonant oscillation amplitude more than twice.

Dynamic problems of applied mechanics in order, or otherwise reduced to the solution of spectral problems. At the same time one of the fundam ental problems in mathematical physics is to solve differential problems in spectral problems.

72 72

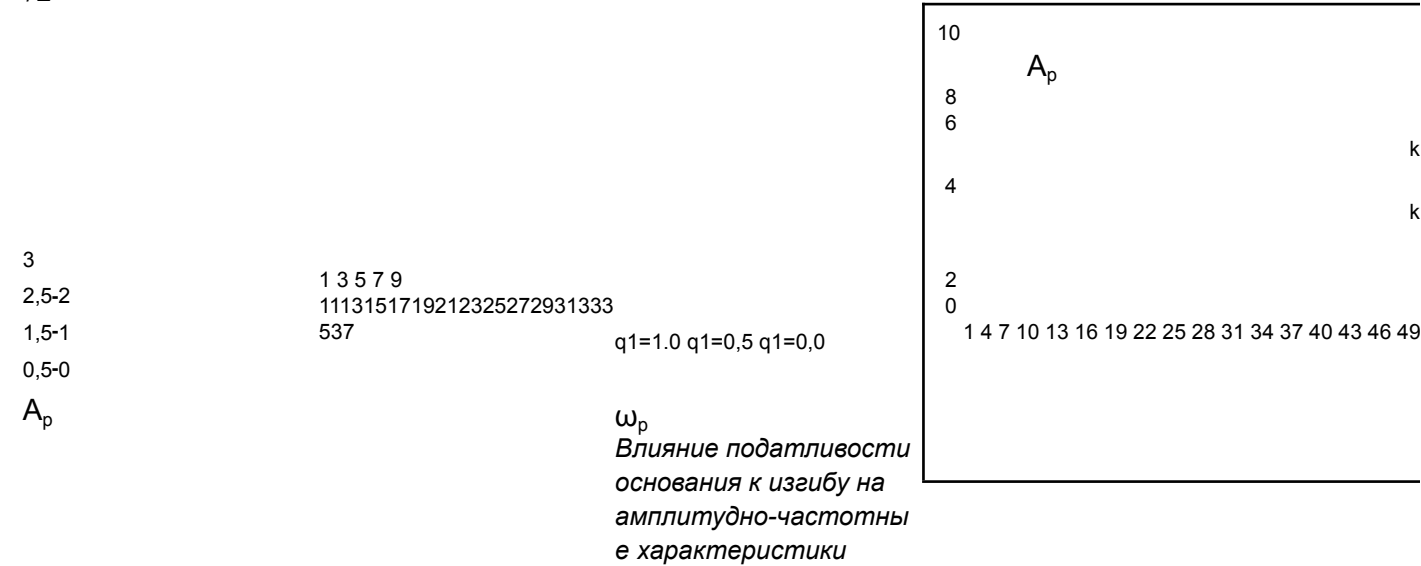
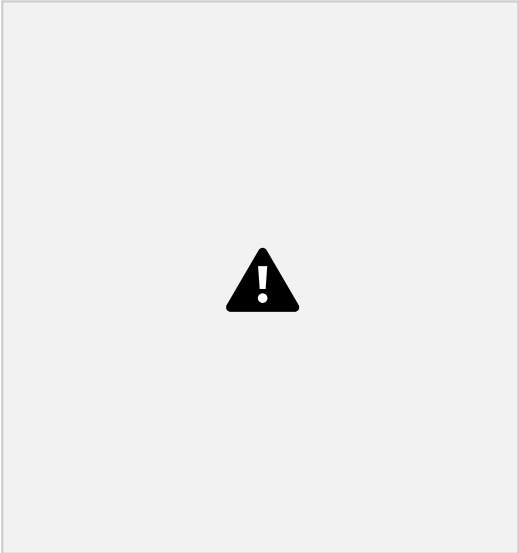


Fig. 9. Effect of own weight on the resonance phenomenon of especially



Influence of bases on the pliability of the amplitude-frequency characteristics.

1: $k_i/m_i=0$, 2: $k_i/m_i=0.5$, 3: $k_i/m_i=1$,

1: $k_i/m_i=0$, 2: $k_i/m_i=0,5$, 3: $k_i/m_i=1$

Fig. 12. Damping of resonance

In the fifth chapter titled **"Spectral problems for items bearing structures"** are considered the spectral problem for self-adjoint and non-self adjoint operators under various boundary conditions.

For the purpose of the experimental validation of the calculations on the proposed algorithms, considered a natural oscillation of chimney at Novo-Angren TPP.

Analysis of the results shows that the error does not exceed 10-15%. Calculations are made based on the longitudinal force of its own weight and possible base yielding to bending and shear.

73 73

The study flutter dynamic aeroelasticity problems associated with certain critical speed streamlined gas $-U$, at which begins the unlimited growth of the amplitude of the bending vibrations of the carrier elements aircraft.

In the course of the numerical solution when necessary tasks using the symmetry conditions for the desired solutions. Under these assumptions, considered the problem solved in the one-dimensional formulation (Fig.18). In boundary conditions on the Ox -axis is used three types of restraints. The results indicate that the type of fixings edges of the plate is essentially dependent critical speed streamlined air:

1. fixing as rigidly clamped $V=218.932$;
2. hinged $V=50.637$;
3. cantilevered $V=6.323$.



Fig. 13. Driving the impact of the supersonic flow of the ambient air.

If the direction of the streamlined gas may be at a different angle, and may vary in nature fastening edges of the plates, the considered the problem should be solved in two-dimensional formulation.

Table 2 shows the calculated values of the dimensionless critical velocity for different angles of attack of gas flowing past for various conditions fixing plates. As it follows from the results obtained with the change of the angle of attack in the range ()

with symmetrical conditions securing critical velocity passes through a minimum. When $\alpha = 45^\circ$ it reached the minimum value for the critical speed. However, for the asymmetric boundary conditions such as the hinged cantilevered or free rectangular plates, increasing the angle of attack leads to an increase of the critical speed. This fact is because the direction parallel to the streamlined gas free boundary results in a minimum resistance to bending of the plate, therefore, the critical speed also takes the minimum value. When pinching hard edges of the plate is achieved the highest critical rate.

Fig. 14 shows the dependence of the base functions of the internal moment at $1/4$ of the plate from the direction of the streamlined gas. The results show that only for $\alpha = 45^\circ$ have a symmetrical distribution of basic functions for the moment. In other cases, the nature of the distribution of the basic functions of pitch oscillations for the critical velocity V_{cr} . It follows that, in depends on the angle spectral problems for self-ad joint operators is not always possible to choose symmetrical basis functions.

Conventional approaches for solving spectral problems in most cases apply for the plates in the classic areas of deformation. However, many important bearing structural elements subjected to dynamic stress, have a complex

74 74

Table 2

The nature of the influence of the direction of the angle of attack and secure the conditions for the plates to the critical speed streamlined air

Attack angle		0°	30°	45°	60°	80°
Rigid clamping		805.2	484.4	462.4	484.4	624.8
Hinged		276.6	184.1	177.2	184.1	231.4
Articulate d free		50.6	58.5	71.6	101.3	163.9
				0	12.7	21.5





x
 x

x

$y y y$

a) b) c)

a) $\alpha = 0$, b) $\alpha = 45^\circ$, c) $\alpha = 90^\circ$

Fig. 14. Diagrams of internal bending moment hinged plate at different angles of attack streamlined gas.

configuration, for which many of the classic approaches are unacceptable. The fact that the type plates of curvilinear trapezoids must not separate the unknown variables in the coordinate as the bounding contour plate is both a function of two coordinates.

Therefore, using the isoperimetric coordinate system, we use the approach mapping of complex areas in the classical area, described in the first chapter. To illustrate this approach, consider the spectral problem for stationary longitudinal waves in plates with a complex configuration:

$$U_{xx} + U_{yy} + \lambda U = 0 \quad (31)$$

After the display, for plates with a complex configuration becomes (31) partial differential equation with variable coefficients,

$$a_{\xi\xi} U_{,\xi\xi} + a_{\xi\eta} U_{,\xi\eta} + a_{\eta\eta} U_{,\eta\eta} + a_\xi U_{,\xi} + a_\eta U_{,\eta} + \lambda U = 0 \quad (32)$$

75

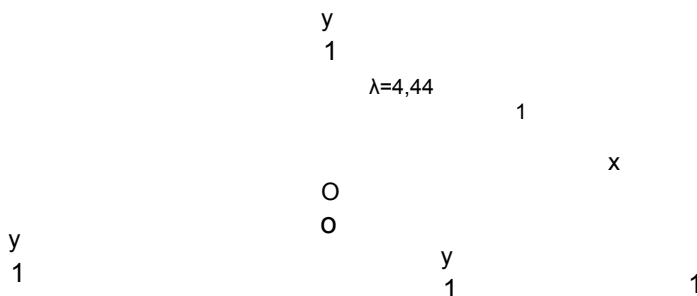
where $a_{\xi\xi}, a_{\xi\eta}, a_{\eta\eta}, a_\xi, a_\eta$ - the variables coefficients defined in the isoperimetric coordinate system. Homogeneous boundary conditions for (58) can be arbitrary. As examples for plates with complex configurations considered rectangle, ellipse, trapezoid and curved trapezoid of various configurations.

The classic areas such as rectangles spectral problem (32) for the main homogeneous boundary conditions is the exact solution of the following form

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{nm} \sin \left(\frac{n\pi x}{a} \right) \sin \left(\frac{m\pi y}{b} \right)$$

Fig.15 provides the eigen values corresponding to various a, b

classical and non classical fields.



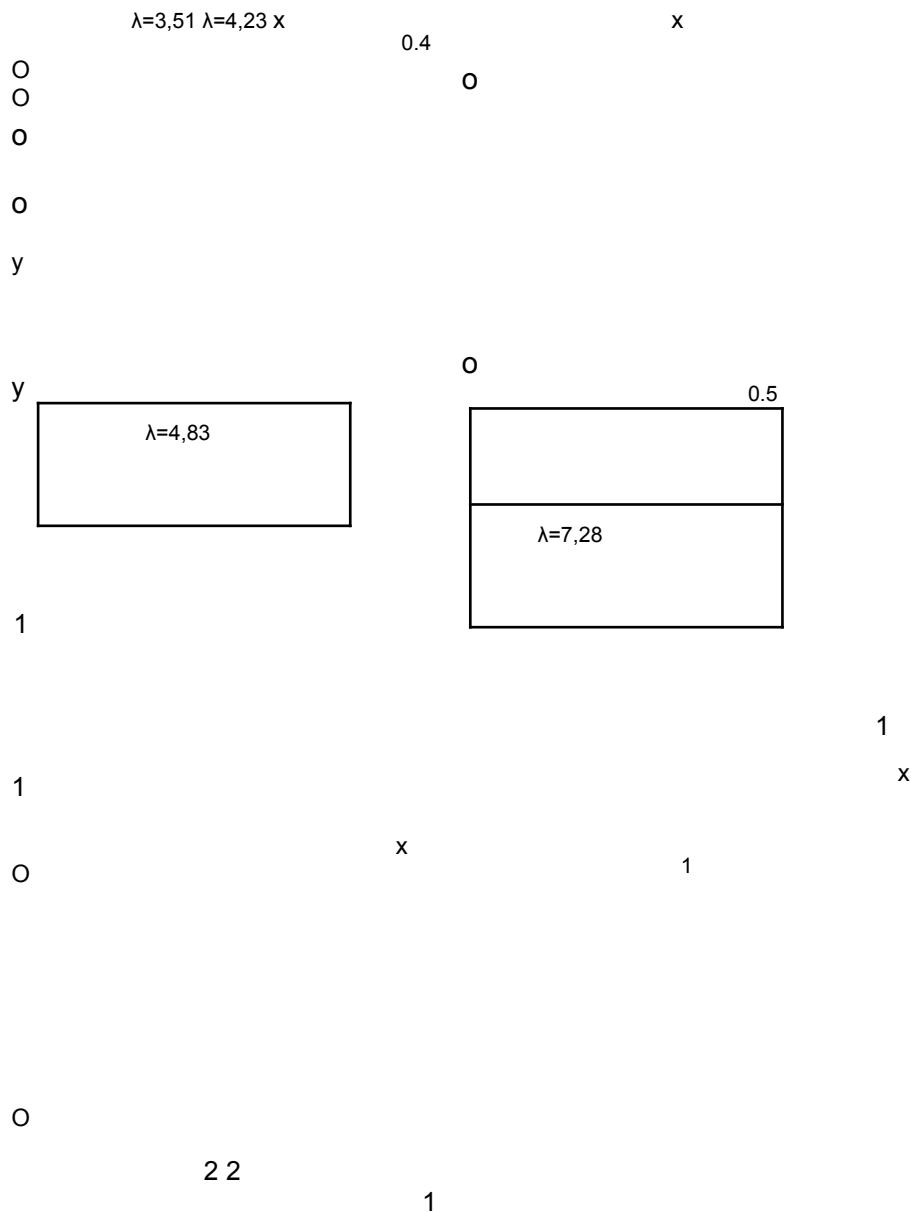


Fig.15. The values of the natural frequency of the standing waves for a variety of non classical fields.

It should be noted, for the first two types of classical domains takes place the separation of the unknown variables on the coordinate axes, and the eigen values are determined accurately. In other cases, go to the isoperimetric coordinate system $O\xi\eta$ with adequate transmission path of the objects.

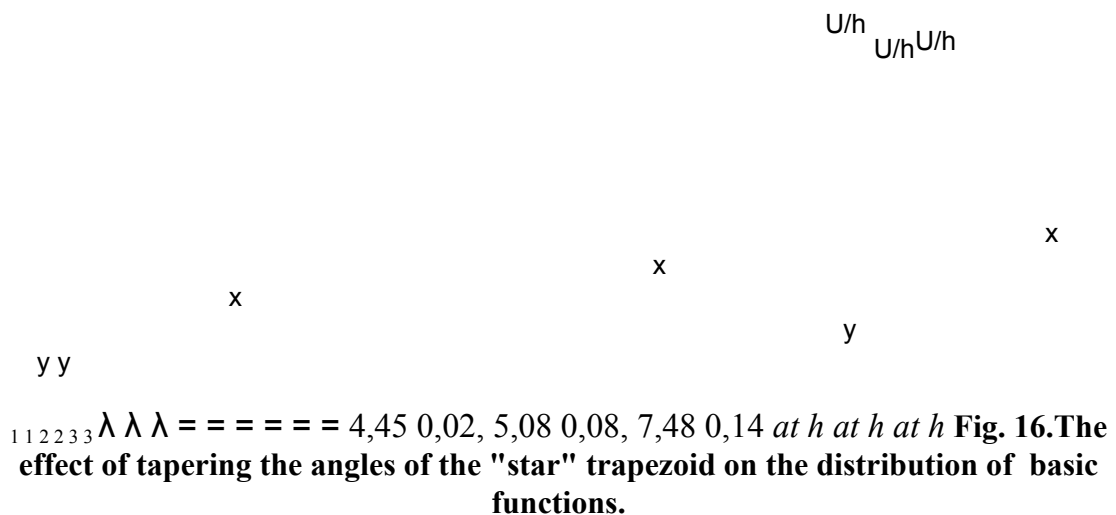


Fig. 16. The effect of tapering the angles of the "star" trapezoid on the distribution of basic functions.

Fig. 16, in each case individually to determine the basic natural frequency λ . The results show that the natural frequency of a decrease in the area of these objects is on the rise. However, a more significant influence on the natural frequency and a circuit wafer geometry. For the "star" trapezoid (Fig.16) with the following results for the Eigen values and basic functions. For this circuit plate numbers for the frequency of the standing wave with the increase h is increasing, with the boom of the basis function in isoperimetric coordinate system is also growing, the curve is compressed in the central part of the non-classical field. This result is explained by the nature of securing the edges of the "star" trapezoid.

CONCLUSION

On the basis of studies on a doctoral dissertation on the topic of "non classical tasks of plates and shallow shells and methods of their numerical solutions" presents the following conclusions:

1. The construction of non-classical theories of plates and shallow shells without hypotheses based on the three-dimensional equations of motion of nonlinear elasticity theory in non-canonical regions of deformation, confirming its effectiveness by comparison with the known theories is of particular importance in solving applied mechanics problems.
2. The modification of the method of differential driving the development of numerical approaches to the resolution of differential problems in spectral problems for self-adjoint and non- operators, the justification of the reliability of numerical methods increases the effectiveness of solving problems in applied mechanics.
3. The obtained results of solving the three-dimensional problem of Renovo-these thick hinge-plate secured under the action of a sinusoidal load confirms the extension of the limits of applicability to non-classical theories of plates.
4. The stress-strain state of plates under action of concentrated force located at an arbitrary point in the front plane at a different aspect ratio and thickness. For the first time calculated the values of the emerging longitudinal force, under the action of transverse loads.
5. The dynamic effect of suddenly applied concentrated forces moving on a thick plate. Identified areas of longitudinal compression and extension when exposed to moving concentrated forces. For the first time investigated the distribution of the stationary longitudinal waves at a sudden impact piecewise constant transverse loads on the thin rods and plates. On the basis of the survey on his doctoral dissertation on the topic "Non-classical problems of plates and shallow shells and numerical methods for their solution" presented the following conclusions:
6. The tasks considered in the light of the longitudinal force of its own weight leads to a twofold increase in the resonant amplitudes of steady oscillations in sobolyata structures. Change the fixing conditions for a reason especially high-

rise buildings leads to the appearance of new resonance regions. Based on the conducted research on the selection of optimal parameters of dynamic vibration absorbers and their location, the facilities, like TV towers, achieved a reduction of the resonance amplitude is almost two times. We carried out a theoretical study with application of modern information technology, for engineers and designers provide a reliable tool for the daily control of safety of high-rise buildings.

7. The numerical solution of two-dimensional spectral problems under various conditions of fixation plates under dynamic loads. The values of the critical speeds of the streamlined gas in the study of flutter in the plates at different ratios of physical and geometrical parameters. The critical speed depending on the conditions of fastening can vary considerably. Studied flutter in the plates at various angles of attack streamlined air. If you change the critical angle of attack can vary up to three times.

8. With the help of isoperimetric coordinate system in non-classical fields determined by the values of the eigenvalues and plots of basic functions for standing waves under different conditions of fixation, non-canonical plates.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
Список опубликованных работ
List of published works

I бўлим (I часть; I part)

1. Ахмедов А.Б. Численное решение спектральных задач: Монография. – Ташкент: ФАН, 2012, -8.0 п.л.
2. Akhmedov A.B. Numerical solution of differential problems in the spectral tasks // ISJ Theoretical & Applied Science, Scranton, USA, –№2 (32) 2015, p. 87-91/, Global Impact Factor 0.564, <http://globalimpactfactor.com>.
3. Ахмедов А.Б., Шешенин С.В. К построению нелинейных уравнений движения ортотропных пластин // Вестник МГУ, серия физико математических наук. – Москва, 2012. – №3. – С.36-39. (01.00.00 № 13).
4. Ахмедов А.Б., Тайлаков Н.И., Бадалов Ф. Резонансные явления при кинематическом возбуждении консольных вязкоупругих элементов конструкций // Прикладная механика. – Киев, 1991, т.27. – N8. – С.115-120.

(01.00.00 № 40).

5. Ахмедов А.Б. Расчет изгибной прочности гибких сооружений // ДАН РУз. – Ташкент, 2005. – N5. – С.32-35. (01.00.00 № 5). 6. Ахмедов А.Б. Сравнительный анализ уточненных теорий изгиба толстых плит // ДАН РУз. – Ташкент, 2007. – N2, – С.44-46. (01.00.00 № 5). 7. Ахмедов А.Б. Численный аналог метода Фурье при решении спек тральных задач // ДАН РУз. – Ташкент, 2006. – N4, – С.47-50. (01.00.00 № 5). 8. Ахмедов А.Б. Действие сосредоточенных сил на упругую плиту // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2006. – N4. – С.5-9. (01.00.00 № 4).

9. Ахмедов А.Б. Динамическое воздействие сосредоточенных сил в толстых плитах //Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2007. – №4. – С.31-36. (01.00.00 № 4).

10. Ахмедов А.Б. Качественный анализ теорий пластин из композиционных материалов // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2011. – № 1. – С.81-84. (01.00.00 № 4).

11. Ахмедов А.Б. Нелинейная теория изгибных колебаний пологих вязкоупругих оболочек // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2000. – N 1. – С.19-25. (01.00.00 № 4).

12. Ахмедов А.Б. Цилиндрический изгиб плит под действием сосредоточенных сил // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2005. – N 5-6. – С.11-15. (01.00.00 № 4).

13. Ахмедов А.Б. Численное решение двумерных спектральных задач // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2009. – № 1. – С.9-13. (01.00.00 № 4).

79 79

14. Ахмедов А.Б., Рашидов Т.Р. Некоторые аспекты численного решения спектральных задач // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2009. – № 5-6. -С.28-30. (01.00.00 № 4).

15. Akhmedov A.B. Numerical solution of spectral problem for self-ad joint operators //European applied sciences, Stuttgart, Germany,–№1, 2016, p. 17-21.

II бўлим (II часть; II part)

16. Абдуразаков М., Ахмедов А.Б., Хусанов Т., Шадрин И.Ф., Ашуров Н.Р. Прочностные свойства и оптимизация синтеза наполненного графитом ПКА. // Пластические массы. – Москва, 1989 . – N7, – С. 30–33.

17. Ахмедов А.Б., Тоскубаева Г., Абдувалиев Н., Ашуров Н.Р. Свойства композиций на основе ПВХ с ПА.// Пластические массы. – Москва, 1989. – N5, – С.31-33.

18. Ахмедов А.Б. Неклассическая теория изгиба слоистых композитов // Вестник ТГТУ –Ташкент, 2015,–№2.–С.10–17.

19. Ахмедов А.Б., Шамсиев Д.Н. “Неклассическая теория пластин сложной конфигурации с переменной толщиной” // Вестник ТГТУ –Ташкент,

20. Ахмедов А.Б., Исраилова Д.М. Устойчивость неоднородных элементов упругих конструкций // Вестник ТГТУ. – Ташкент, 1994. – N1, – С. 27-32.

21. Ахмедов А.Б., Тайлаков Н.И., Бадалов Ф. Программные средства для решения краевых задач методом матричной дифференциальной прогонки. // Алгоритмы НИСО АН РУз. – Ташкент, 1991, вып.73. –С.46-51.

22. Ахмедов А.Б., Абдуразаков М. Структура и свойства композиционных материалов на основе поликапроамида // Тр. V нац. конференции по механике и технологии композиционных материалов. 29 сентябрь – 1 октябрь 1988г. Болгария. – Варна,1988. – С. 264–268.

23. Ахмедов А.Б., Абдуразаков М., Ашуров Н.Р. Оптимизация некоторых условий получения графитонаполненного поликапроамида. // "Полимерные композиты". Тезисы докладов на 7 межд. макро-симпозиуме. Германия. Дрезден, 1987. – С.47-48.

24. Ахмедов А.Б., Тоскубаева Г., Абдувалиев Н. Динамические механические свойства электропроводящей композиции ПВХ с ПА.// "ЭЛОРМА 87". Тез.докл. межд. науч. конф. – Ташкент, 1987. – С. 34-35.

25. Ахмедов А.Б. Бариев М. Численное решение дифференциальной проблемы в спектральных задачах. //Сборник трудов международной научно методической конференции Казахстанского университета дружбы народов. Т.1, – Шымкент, 2007.- С.132-137.

26. Ахмедов А.Б. Численное решение спектральных задач для несамосопряженных операторов “Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – аль-Хорезми 2012”: