

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc30.08.2018.FM/T.02.09
РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

НИШОНОВ ЎТКИР АНЖИБОЕВИЧ

**ҚОБИРҒАЛИ ПЛАСТИНКА ВА СФЕРИК ҚОБИҚЛАРНИНГ
НОЧИЗИҚЛИ ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАҢЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Самарқанд – 2019

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

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

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

Нишонов Ўткир Анжибоевич

Қобирғали пластинка ва сферик қобикларнинг нозизиқли
деформацияланиши..... 3

Нишонов Уткир Анжибоевич

Нелинейное деформирование ребристых пластин и сферических оболочек 21

Nishonov Utkir Anjiboyevich

Nonlinear deformation of ribbed plats and spherical shells..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 43

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc30.08.2018.FM/T.02.09
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

НИШОНОВ ЎТКИР АНЖИБОЕВИЧ

**ҚОБИРҒАЛИ ПЛАСТИНКА ВА СФЕРИК ҚОБИҚЛАРНИНГ
НОЧИЗИҚЛИ ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.1.PhD/FM167 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Самарқанд Давлат университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Халмурадов Рустам Ибрагимович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Абдикаримов Рустамхон Алимханович
физика-математика фанлари доктори, доцент

Мамасолиев Қозоқбой
физика-математика фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Тошкент ахборот технологиялари университети
Самарқанд филиали

Диссертация ҳимояси Самарқанд давлат университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc30.08.2018.FM/T.02.09 рақамли илмий кенгашнинг 2019 йил «___» _____ куни соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15. Тел.: (8366) 2351938. Факс: (8366) 2351938. E-mail: sasu_info@edu.uz).

Диссертация билан Самарқанд давлат университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15. Тел.: (8366) 2351938. Факс: (8366) 2351938.

Диссертация автореферати 2019 йил «___» _____ куни тарқатилди.
(2019 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

А.Б.Ахмедов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раис
ўринбосари, ф-м.ф.д., доцент

А.Абдирашидов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
илмий котиби, ф-м.ф.д., доцент

Х.Худойназаров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қоши-
даги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фан доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда замонавий техника ва қурилишда деформациялар катта тезликлари шароитида интенсив тебранишлар жараёнларини юзага келтирувчи ҳар хил динамик юкланишлар таъсири остида бўлган юпқа эластик қурилмаларнинг мустаҳкамлигини таъминлашга катта эътибор қаратилмоқда. Сўнги йилларда АҚШ, Франция, Япония, Хитой, Россия Федерацияси ва бошқа ривожланган мамлакатларда қурилманинг умумий бикрлигини ошириш учун унинг юпқа қисмини қобирғалар билан мустаҳкамлаш, бу билан қурилманинг мустаҳкамлигини ошириш, тўпланган зўриқишларни тарқатиш жараёнини ифодаловчи ноклассик моделлар қўлланилмоқда. Шу жиҳатдан қурилманинг юк кўтариш имкониятини камайтирмаган ҳолда унинг материал сарфи тежалиши конструкторлик ва иқтисодий жиҳатдан фойдалилиги муҳим аҳамият касб этмоқда. Кўпгина хорижий мамлакатларда, жумладан АҚШ, Англия Франция, Япония, Германия ва бошқа ривожланган давлатларда қурилиш, машинасозлик ва кemasозлик каби тармоқларни ривожлантириш ва уларни лойиҳалаш усулларини такомиллаштиришда қисқа муддатли динамик юкланишлар таъсири остидаги бикрлик қобирғалари билан кучайтирилган қурилмаларнинг динамик кучланган-деформацияланган ҳолатини ва уларнинг юк кўтариш имкониятини ҳисоблаш жараёнларига алоҳида эътибор қаратилган.

Жаҳонда турли ташқи динамик юкланишлар таъсири остидаги бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган пластинка ва қобиқлардан фойдаланилган аэрокосмик, ер ости ва сув ости муҳандислик қурилмалари элементларининг деформацияланишини тадқиқ қилишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу йўналишда, жумладан турли муҳандислик қурилмалари ташувчи қисмлари ишини моделлаштирувчи қобирланган элементлар динамик жараёнларининг математик моделларини ва замонавий ҳисоб усулларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга бундай элементларнинг ностационар ҳолати учун қобирғали сферик қобиқлар ва доиравий пластинкалар кучланган-деформацияланган ҳолатини аниқлашнинг математик модели, алгоритми ва дастурларини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамызда қурилиш ва техника соҳасида турли динамик юкланишлар таъсири остида бўлган юпқа эластик ва эластик-пластик қобирғали қурилмалар деформациясини ҳисоблаш модели ва алгоритминини яратиш ва амалиётга кенг тадбиқ этиш чора-тадбирларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... ишлаб чиқаришни моденизация қилиш, техник ва технологик жиҳатдан янгилаш, ишлаб чиқариш..., ... тежамкор ва самарали замонавий технологияларни босқичма-босқич жорий этиш ...»¹ вазифалари белгиланган.

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

Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан қурилмаларнинг юк кўтариш қобилиятларини оптимал жойлаштирилган қобирғалар билан мустаҳкамлаш ва арматуралаш орқали ошириш мақсадида қурилмалар элементларининг деформацияланиш жараёнларини ифодаловчи такомиллаштирилган математик моделларни яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

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

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Қурилмалар қобирғали элементларининг динамик деформацияланиши масалалари бўйича юртимизда ва чет элда таниқли олим ва тадқиқотчилардан В.З.Власов, А.И.Лурье, Т.Мавлонов, Р.И.Халмурадов, Ю.П.Жигалко, В.В.Карпов, Л.И.Маневич, И.Я.Амиро, В.А.Заруцкий ва бошқалар томонидан илмий тадқиқотлар олиб борилган. Қобирғали пластинка ва қобикларнинг динамик ҳисобида уларнинг хусусий тебранишларини тадқиқ қилиш муҳим рол ўйнайди. Бундай тадқиқотлар R.J. Stuart, J.F.Carney, А. К.Бодунов, А.А.Полозков, Г.Ф.Макмак, R.K.Jain, Takahashi Shin ва бошқалар томонидан олиб борилган.

Бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган доиравий пластинкалар ва сферик қобиклар динамик масалаларини ечишнинг сонли усулларига Ш.У.Галиев ва А.Б. Қаршиевлар, қурилмалар қобирғали элементлари ҳолатини тадқиқ қилишнинг нисбатан янги ва келгусида самарали йўналишибу уларнинг талаб қилинган параметрлари сонли ҳисоблаш бўлиб, бу соҳага S.Finnveden, L.Garvic, K.Wilner, K.Knothe, Z.Strzyzakovskлар, баъзи сонли ишланмалар асосида ётувчи спектрал чекли элемент ёки чекли элементларнинг тўлқин усуллари ривожига L.Houillon, M.N.Ichchou, L.Jezequel, В. Mace, L.Yinke, D.Duhamel, M.J. Brennanлар, қобирғали тузилмалар сонли ҳисобига S.Benerjee ва Т.Kundлар катта ҳисса қўшган.

Бугунги кунда турли ташқи динамик юкланишлар таъсири остидаги қобирғали пластинка ва қобикларнинг эластик-пластик хоссалари ҳисобга олинган ночизикли деформацияланиш масалаларини ечиш усули ва алгоритмларни ишлаб чиқишдаги муаммолар етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқотлари Самарқанд давлат университети илмий тадқиқот ишлари режасининг №25/37 «Деформацияланувчи муҳит билан таъсирлашувчи дискрет-узлуксиз тизимлар тебраниши ва турғунлигини тадқиқ қилиш» (2000-2017), №21/41 «Қурилмалар элементларининг регуляр ва нерегуляр структурали муҳитлар ва боғламли майдонлар билан таъсирлашишини тадқиқ қилиш» (2007-2011), №ОТ-Ф-4-90 «Уч қатламли қовушоқ-эластик пластинкаларни динамик юкламалар таъсирида деформацияланишини ҳисоблаш» (2017-2020) мавзудаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади турли динамик юкланишлар таъсири остидаги қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг ночизикли деформацияланиш моделларини такомиллаштириш, тебраниш тенгламаларини сонли ечиш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

пластинка ва қобиклар ностационар тебранишлари ва кучланган-деформацияланган ҳолатларига ўзаро таъсирлашувчи кўндаланг кесими ўзгармас қобирғалар кўринишидаги мустаҳкамлаш элементларининг динамик реакциясини аниқлаш усул ва алгоритминини ишлаб чиқиш;

деформация ва кўчишлар компоненталари орасидаги геометрик ночизикли боғланишларни ҳисобга олган ҳолда қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг тебраниши тенгламаларини сонли ечиш алгоритминини ишлаб чиқиш;

материалининг эластик-пластиклик хоссасини ҳисобга олган ҳолда қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг тебраниши тенгламаларини сонли ечиш дастурий воситасини ишлаб чиқиш;

мустаҳкамлаш қобирғалари, уларнинг жойлашиши ва сонининг дискретлиги таъсирини ҳисобга олган ҳолда ташқи динамик, хусусан, пластинка ва қобикларнинг қобирға билан туташмаган ташқи сиртига таъсир этувчи импульсли, портлаш ва бошқа, юкланишлар таъсиридаги доиравий пластинка ва сферик қобиклар ҳисобининг алгоритмларини яратиш;

қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг ташқи ностационар импульсли, оний ўсувчи ва бошқа юкланишлар таъсири остидаги динамик деформацияланиши масалаларини сонли ечиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида дискрет сондаги халқали бикр қобирғалар билан мустаҳкамланган доиравий пластинка ва сферик қобиклар олинган.

Тадқиқотнинг предмети импульсли, портлашдаги ва бошқа динамик юкланишлар таъсири остидаги қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг ночизикли деформацияланиш жараёни, бикрлик қобирғалари таъсири жараёнларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида ночизикли эластиклик назарияси усуллари, ночизикли дифференциал тенгламаларни ечишнинг чекли айирмали усули, пластик деформацияларни ҳисобга олиш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

пластинка ва қобиклар ностационар тебранишлари ва кучланган-деформацияланган ҳолатларига ўзаро таъсирлашувчи кўндаланг кесими ўзгармас қобирғалар кўринишидаги мустаҳкамлаш элементларининг динамик реакциясини аниқлаш усули ва алгоритми ишлаб чиқилган;

деформация ва кўчишлар компоненталари орасидаги геометрик ночизикли боғланишларни ҳисобга олган ҳолда қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг тебраниши тенгламаларини сонли ечиш алгоритми ишлаб чиқилган;

материалнинг эластик-пластик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг тебраниши тенгламаларини сонли ечиш дастурий воситаси ишлаб чиқилган;

мустаҳкамлаш қобирғалари, уларнинг жойлашиши ва сонининг дискретлиги таъсирини ҳисобга олган ҳолда ташқи динамик, хусусан пластинка ва қобикларнинг қобирға билан туташмаган ташқи сиртига таъсир этувчи импульсли, портлашдаги юкланишлар таъсири остидаги доиравий пластинка ва сферик қобикларни ҳисоблаш алгоритми яратилган;

ташқи ностационар импульсли, оний ўсувчи ва бошқа юкланишлар таъсиридаги мустаҳкамланган қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобиклар кучланган-деформацияланган ҳолатини ҳисоблаш масалалари сонли ечилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

ташқи динамик, хусусан импульсли оний ўсувчи ҳамда вақт бўйича секин ўсувчи юкланишлар таъсиридаги дискрет сондаги халқали бикрлик қобирғалари билан маҳкамланган доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг геометрик ночизикли деформацияланишининг аниқлаштирилган ҳисоби алгоритми ишлаб чиқилган;

қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг кучланган-деформацияланган ҳолати (зўриқишлар, моментлар, кучланишлар ва кўчишлар) ҳисоби учун дастурий восита ишлаб чиқилган;

қурилиш иншотлари томлари ва қаватлар орасидаги тўсиқлар қўйилган бинолар учун қўлланиладиган қобирғали пластинка ва қобикларнинг ҳисоби методи ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги умумий маълум ва кўп маротаба текширилган кўндаланг силжиш деформацияларини ҳамда кўчиш ва деформациялар орасидаги геометрик ночизиклиликни ҳисобга олувчи пластинка ва қобиклар назарияларига асосланган бўлиб, қаралаётган системалар ҳаракати учун қабул қилинган тенгламаларнинг ҳамда улар ечимларининг тўғрилиги, хусусий ҳолда С.П.Тимошенко типдаги тенгламаларга ва уларнинг ечимларига мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти дискрет сондаги халқали бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг ночизиқли деформацияланиши ҳисоби назариясини ривожлантириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ташқи динамик юкланишлар таъсири остидаги чекли сондаги халқали бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг кучланган-деформацияланган ҳолати ҳақидаги масалаларни илмий асосли ечиш учун зарурий назарий муносабатларни яратиш, улар етарли умумий характерга эга бўлганликлари учун пластинка, қобик ва қобирғалар материалларининг катта сондаги физик-механик (реологик, анизотропик, электро-магнито-эластик ва бошқа) хоссаларини ҳисобга олган ҳолатларга ҳам тадбиқ қилиш, олинган натижалардан қурилиш ва техника соҳасидаги ночизиқли амалий масалаларнинг сифат ва сонли таҳлилида фойдаланилиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Турли хил динамик юкланишлар таъсири остидаги қобирғали пластинка ва қобиклар ночизиқли деформацияланиши ҳисобининг яратилган дастури натижалари ҳамда ишлаб чиқарилган сонли усуллар ва алгоритмлар бўйича олинган натижалар асосида:

қобик ностационар тебранишлари ва кучланган-деформацияланган ҳолатларига ўзаро таъсирлашувчи кўндаланг кесими ўзгармас қобирғалар кўринишидаги мустаҳкамлаш элементларининг динамик реакциясини аниқлаш усули «Мензула тасвир сервис» МЧЖда бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган ётиқ сферик қобикларнинг кучланган-деформацияланган ҳолатини аниқлаш жараёнига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 2018 йил 8 июндаги №1186/30-01-сон маълумотномаси). Натижада бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган сферик қобикнинг деформацияланган ҳолати унинг мумкин бўлган салқилигини аниқлаш билан бирга баҳоланган ва бу қурилма материал сарфини 15%га камайтириш имконини берган;

ташқи ностационар импульсли юкланишлар таъсиридаги мустаҳкамланган қобирғали сферик қобиклар динамик деформацияланган ҳолатини ҳисоблаш усули ва алгоритми «Мензула тасвир сервис» МЧЖда бино устки қурилмаси материали мустаҳкамлиги шартининг бажарилишини текшириш жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 2018 йил 8 июндаги №1186/30-01-сон маълумотномаси). Натижада кучланишлар тўпланган соҳаларини бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамлаш усули қурилманинг юк кўтариш имкониятини 10-12%га ошириш имконини берган;

қобирғали доиравий пластинканинг тебраниши тенгламасини сонли ечиш дастурий воситасидан «Сармоя қурувчи сервис» МЧЖда амалиёт учун хавфли бўлган, бир ёки иккита халқали қобирғалар билан мустаҳкамланган доиравий пластинка кесимларидаги эгувчи моментлар ва қирқувчи кучлар

қийматларини аниқлаш жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 2018 йил 8 июндаги №1186/30-01-сон маълумотномаси). Натижада қобирғаларнинг ўрнатилиши кўрсатилган куч факторларини 40%дан 60%гача камайтириш ва қурилма оғирлигини 15-20%га енгиллаштиришга хизмат қилган;

ташқи динамик, хусусан, пластинканинг қобирға билан туташмаган ташқи сиртига таъсир этувчи импульсли юкланишлар таъсиридаги доиравий пластинка ҳисоби алгоритми «Сармоя қурувчи сервис» МЧЖда материал мустаҳкамлиги шартини текшириш имконини берувчи кучланиш қийматларини аниқлаш жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлигининг 2018 йил 8 июндаги №1186/30-01-сон маълумотномаси). Натижада пластинка радиусининг 2/5 ва 3/5 қисми нуқталарида қобирғаларни ўрнатиш материаллар ва меҳнат сарфини қобирғаланмаган пластинкага нисбатан 30%гача иқтисод қилиш ҳамда қобирғаларни оптимал жойлаштириш пластинканинг юк кўтариш қобилиятини 12-15%га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 6 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича жами 14 та илмий иш чоп этилган бўлиб, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 5 та илмий мақола, жумладан, 4 таси республика, 1 таси хорижий журналларда чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 117 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида масаланинг кенгайтирилган характеристикаси ва муаммонинг долзарблиги келтирилган, диссертация ишининг мақсади қўйилган, диссертациянинг ҳимоя олиб чиқиладиган асосий илмий янгилликлари баён қилинган. Ишлаб чиқилиши зарур бўлган асосий масалалар ажратилган, ишда олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти, уларнинг ишончлилигини асослаш усуллари келтирилган. Диссертациянинг барча бобларининг қисқача мазмуни ёритилган.

Диссертациянинг «**Қобирғали пластинка ва қобиклар ночизиқли муносабатлари ва тенгламалари**» деб номланган биринчи боби пластинка ва қобиклар геометрик ночизиқли назарияси асосий тенглама ва муносабатларининг тўғри чизиқли декарт ва цилиндрик координаталар системаларидаги ифодаларини келтирилишига бағишланган. Бикрлик қобирғалари билан маҳкамланган доиравий пластинка ва сферик қобиклар назарияси ва ҳисобига оид илмий ишлар шарҳи келтирилган. Материалининг

эластик ва эластик-пластик хоссалари эътиборга олинган қобирғали сферик қобик ва доиравий пластинкаларнинг ночизикли деформацияланиши ҳақидаги масала қўйилган.

1.1 параграфда турли юкланишлар таъсиридаги мустаҳкамланган пластинка ва қобиклар кўринишидаги муҳандислик қурилмаларининг тадқиқотида бағишланган ишларнинг шарҳи келтирилган. Шу билан бирга юкланишларни турли табиатдаги манбалар, хусусан, статик ва динамик юкланишларни, қаралаётган элементни қамраб олган ёки бўшлиғини тўлдириб турувчи муҳитда тарқалаётган акустик ва ностационар тўлқинлар келтириб чиқаради деб фараз қилинади.

1.2 параграфда қобирғали қобиклар учун геометрик ночизикли муносабатлар ва ҳаракат тенгламалари келтирилган. Мустаҳкамланмаган қобикнинг кучланган-деформацияланган ҳолати (КДХ) С.П.Тимошенконинг эгилувчан қобиклар назарияси асосида ёзилади. Қобикнинг мувозанат ва ҳаракат тенгламаларидан ташқари қобик ва қобирғанинг кесимларида таъсир қилувчи барча зўриқиш ва моментлар учун интеграл муносабатлар келтирилган.

1.3 параграфда қобирғали пластинкалар учун геометрик ночизикли муносабатлар ва ҳаракат тенгламалари келтирилган. Бунда пластинка ва қобиклар билан қобирғани ифодалаш учун узлукли функциялар, хусусан, Хевисайд ва Дирак функцияларининг қўлланилиши асосланган.

1.4 параграфда қобирғали пластинка ва қобикларнинг динамик деформацияланиши тўғрисидаги амалий масалаларнинг математик моделини яратиш учун керак бўлган чегаравий ва бошланғич шартлар четлари маҳкамланиши турига боғлиқ равишда келтирилган. Умумий ҳолда чегаравий шартлар пластинка ва қобикларнинг ҳар бир маҳкамланиш турлари: бикр ва эластик қистирилиш, шарнир таяниш ва эркин четлар учун алоҳида келтирилган. Бундан ташқари доиравий пластинка учун барча тўрт хил кўринишдаги чегаравий шартлар алоҳида ифодаланган.

Диссертациянинг «**Бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган сферик қобикларнинг ночизикли деформацияланиши**» деб номланган иккинчи бобида импульсли юкланишлар таъсиридаги сферик қобикларнинг ночизикли тебранишлари ҳақидаги масалалар қўйилган ва ечилган. Биржинслимас таркибли қобиклар ҳисобининг энг долзарб: қобирғаларнинг дискрет жойлашишини эътиборга олиш, қўйилган юкланишларнинг қисқа вақт таъсир этиши ва динамик ҳисобларда геометрик ночизиклиликни эътиборга олиш муаммолари қаралган. Қобирғали қобикларнинг динамик деформацияланиши масалаларининг математик ифодаланиши амалга оширилган.

Масалаларни ечиш учун сонли усуллар, хусусан, чекли айирмалар усули қўлланилган. Бу усулнинг қобирғали қобикларнинг импульсли деформацияланиши масалаларида қўлланилиши асосланган ва тенгламаларни интеграллашнинг сонли схемалари баён қилинган. Қўлланилган дифференциал муносабатларнинг чекли айирмалари кўриниши келтирилган.

2.1 параграфда қобирғаланган қобикларнинг импульсли деформацияланиши масалаларида чекли айирмалари усулнинг қўлланилишининг асосланиши ва тебраниш тенгламаларининг сонли интеграллашнинг баёни келтирилган.

Қўлланилган дифференциал муносабатларнинг чекли айирмалари кўриниши келтирилган. Кучланган-деформацияланган ҳолатини ифодалаш учун Тимошенко типидagi аниқлаштирилган назария қўлланилган бўлиб, унга асосан қобикнинг тебраниш тенгламалари қуйидагича ёзилади:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} (h + \bar{F}) + \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \bar{S} \right] &= 0; \quad \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} (h + \bar{F}) + \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0; \\ N_x R_x + N_y R_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial w}{\partial y} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q - \frac{\gamma}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} (h + \bar{F}) &= 0; \quad (1) \\ \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \bar{S} \right] &= 0; \quad \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_y - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J} \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0. \end{aligned}$$

бунда u, v, w – кўчишлар, ψ_x, ψ_y – ўрта сирт нормалининг бурилиш бурчаклари; γ, g – қобик ва қобирға материалнинг солиштирма оғирлиги ва эркин тушиш тезланиши; N_x, N_y – нормал зўриқишлар; N_{xy} – уринма зўриқишлар; M_x, M_y – эгувчи моментлар; M_{xy} – буровчи момент; Q_x, Q_y – қиркувчи кучлар; h – қобик қалинлиги; R – қобикнинг эгрилик радиуси;

$$\begin{aligned} \bar{F} &= \sum_{j=1}^m F^j(x, y) \delta(x - x_j) + \sum_{i=1}^n F^i(x, y) \delta(y - y_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V^{ij} \delta(x - x_j) \delta(y - y_i); \\ \bar{S} &= \sum_{j=1}^m S^j(x, y) \delta(x - x_j) + \sum_{i=1}^n S^i(x, y) \delta(y - y_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S^{ij} \delta(x - x_j) \delta(y - y_i); \\ \bar{J} &= \sum_{j=1}^m J^j(x, y) \delta(x - x_j) + \sum_{i=1}^n J^i(x, y) \delta(y - y_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m J^{ij} \delta(x - x_j) \delta(y - y_i); \end{aligned}$$

F^j, S^j, J^j – мос равишда j -қобирға элементининг бирлик эндаги $h^j(x, y)$ баландликдаги кўндаланг ёки бўйлама кесими юзи, шу кесимнинг координата ўқларига нисбатан статик момент ва инерция моменти. Худди шунга ўхшаш i -қобирға элементи учун $F^i, S^i, J^i, S^{ij}, J^{ij}$ – қобирғанинг асоси билан умумий юзага эга бирлик қисмининг ҳажми, шу элементнинг координата те-кислигига нисбатан статик момент ва инерция моменти.

Бу тенгламаларни интеграллаш учун чекли айирмалари усулнинг ошкор схемаси қўлланилган. Қобикнинг ўрта сирти тўғри тўртбурчаклардан ташкил топган тўр билан қопланган. Схема кўчиш ва бурилиш бурчакларини тўрнинг тугунларида, деформация, зўриқиш, момент ва кўндаланг кучларни элементларнинг марказларида аниқлашга асосланган. Натижада (1) дифференциал тенгламаларни ечиш рекуррент формулалар бўйича ҳисоблашларга келтирилган.

2.2 параграфда геометрик ночизиклиликни эътиборга олган ҳолда локал қобирғаланган сферик қобикнинг динамик деформацияланиши тадқиқ этилган. Цилиндрик координаталар системасида ҳалқали бикрлик қобирға билан мустаҳкамланган ётиқ сферик қобик қаралади. Қобирға тўғри тўртбурчакли кўндаланг кесимга эга ва қобикнинг ички қисмига бириктирилган. Қобикнинг ташқи сиртига вақт бўйича ўзгарувчи импульсли P юкланиш таъсир қилади. Қурилма қобик қатлами ва қобирғадан иборат деб олинади.

Қобирға кесими бурчак координатаси бўйлаб ўзгармайди. Қобик ва қобирға материаллари бир хил ва Гук қонунига бўйсунди. Қобик КДХ ни ифодалашда Тимошенко типидagi эгилувчан ётиқ қобикларнинг ночизиқли назарияси қўлланилади.

Қобикнинг ўрта сиртига z координатали нуқтада ўтказилган нормалнинг кўчишлари қуйидагига тенг: $u^z = u + z\psi$; $w^z = w$, ва масаланинг ўққа нисбатан симметриклигини эътиборга олсак $v^z = v = 0$, бунда u, v, w – қобик ўрта сирти нуқталарининг координата ўқлари бўйлаб кўчишлари; ψ – қобик ўрта сиртига ўтказилган нормалнинг бурилиш бурчаги.

Ўрта сиртнинг чўзилиш деформацияларини қуйидаги кўринишда

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2; \quad \varepsilon_2 = u/r - w/R; \quad (2)$$

қобик қалинлиги бўйича исталган нуқтасининг деформациясини эса қуйидагича оламыз:

$$\varepsilon_1^z = \varepsilon_1 + z \frac{\partial \psi}{\partial r}; \quad \varepsilon_2^z = \varepsilon_2 + z \frac{\psi}{r}. \quad (3)$$

Қобик нуқталаридаги кучланиш ва деформациялар орасидаги боғланишлар қуйидагича ёзилади:

$$\sigma_1^0 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1^z + \mu \varepsilon_2^z); \quad \sigma_2^0 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2^z + \mu \varepsilon_1^z); \quad \sigma_{13}^0 = \frac{E}{2(1 + \mu)} \varepsilon_{13}^z, \quad (4)$$

бунда $\varepsilon_{13}^z = f(z) \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \psi \right)$; E, μ – қобик материалнинг эластиклик модули ва Пуассон коэффиценти; H – қобирға қалинлиги; $f(z) = \sigma_{13}^0$ кучланишларнинг қобик қалинлиги бўйича тақсимланишини ифодаловчи функция бўлиб, қобикнинг силлиқ қисми учун $f(z) = f_o(z)$; қобирға ўрнатилган нуқталарда $f(z) = f_1(z)$;

$$f_o(z) = 6 \left[0,25 - \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right], \quad k^2 = \frac{5}{6}; \quad f_1(z) = \frac{3h(h+2H)}{2(h+H)^2} \cdot \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \left[1 - \frac{2z}{h+2H} \right]$$

Қобирғали қобикларнинг кесимларидаги бирлик узунликка тўғри келувчи зўриқиш, кўндаланг кучлар ва моментлар қуйидаги кўринишга эга:

$$N_1 = N_1^0 + N_1^R; \quad N_2 = N_2^0 + N_2^R; \quad M_1 = M_1^0 + M_1^R; \quad M_2 = M_2^0 + M_2^R; \quad Q = Q^0 + Q^R.$$

Бунда юқориги «0» индекс қобикқа, «R» эса қобирғага тегишли. Қобикдаги зўриқиш, кўндаланг куч ва моментлар қуйидаги формулалар асосида топилади:

$$N_1^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1^0 dz = \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2); \quad N_2^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2^0 dz = \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1);$$

$$M_1^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1^0 z dz = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \mu \frac{\psi}{r} \right); \quad M_2^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2^0 z dz = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\psi}{r} + \mu \frac{\partial \psi}{\partial r} \right);$$

$$Q^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{13}^0 dz = \frac{5}{6} \frac{Eh}{2(1+\mu)} \varepsilon_{13}.$$

Қобирғалар кесимидаги зўриқиш, момент ва қирқувчи кучларни аниқлаш учун бутун қурилма қалинлиги поғанали ўзгарувчи қобик сифатида қаралади. Қобирға қалинлиги $H(r)$ ва унинг жойлашиш ўрни бирлик устунли $\delta(r-r_0)$ функция ёрдамида берилади: $H(r) = h^R \delta(r-r_0)$. Бунда $\delta(r-r_0) = \{0 (r < a, r > b); 1 (a \leq r \leq b)\}$; $a_i = r_i - c_i / 2$, $b_i = r_j - c_i / 2$, r_i - қобик ва қобирға туташган кесма ўрта нуктасининг координатаси; h^R , c - қобирғанинг баландлиги ва эни.

Қобирғадаги кучланишлар қуйидаги формулалар орқали аниқланади:

$$\sigma_1^R = G_1 (\varepsilon_1^z + \mu_1 \varepsilon_2^z); \quad \sigma_2^R = G_2 (\varepsilon_2^z + \mu_2 \varepsilon_1^z); \quad \sigma_{13}^R = G_{13} \varepsilon_{13}^z, \quad (5)$$

бунда $G_1 = \frac{E_1}{1-\mu_1\mu_2}$; $G_2 = \frac{E_2}{1-\mu_1\mu_2}$; $G_{13} = \frac{5}{6} \cdot \frac{E}{2(1+\mu)}$; $E_1, E_2, \mu_1, \mu_2, G_{13}$ - қобирға материалининг эластиклик ўзгармаслари (k^2 нинг қиймати G_{13} ифодада катнашади деб олинади)

Қобирғаларнинг кесимларидаги зўриқиш, момент ва кўндаланг кучлар қуйидаги кўринишга эга:

$$\begin{aligned} N_1^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_1^R dz = A_{11} (\varepsilon_1 + \mu_2 \varepsilon_2) + B_{11} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \mu_2 \frac{\psi}{r} \right); \quad N_2^R = \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_2^R dz = A_{22} (\varepsilon_2 + \mu_1 \varepsilon_1) + B_{22} \left(\frac{\psi}{r} + \mu_1 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right); \\ M_1^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_1^R z dz = B_{11} (\varepsilon_1 + \mu_2 \varepsilon_2) + C_{11} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \mu_2 \frac{\psi}{r} \right); \quad M_2^R = \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_2^R z dz = B_{22} (\varepsilon_2 + \mu_1 \varepsilon_1) + C_{22} \left(\frac{\psi}{r} + \mu_1 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right); \\ Q^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_{13}^R dz = D_{13} \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \psi \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Бунда, $A_{11} = G_1 F$; $A_{22} = G_2 F$; $B_{11} = G_1 S$; $B_{22} = G_2 S$;
 $C_{11} = G_1 J$; $C_{22} = G_2 J$; $D_{13} = G_{13} H(x, y)$;

$$F = F^R(r) \delta(r-r_0); \quad S = S^R(r) \delta(r-r_0); \quad J = J^R(r) \delta(r-r_0);$$

$F^R(r)$, $S^R(r)$, $J^R(r)$ - мос равишда, эни бирга тенг баландлиги h^R бўлган $r=const$ даги қобирға кўндаланг кесимининг юзи, статик моменти ва ушбу кесимнинг координата ўқларига нисбатан инерция моменти.

Масаланинг ўққа нисбатан симметриклигини эътиборга олсак, қобикнинг ҳаракат тенгламалари қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$(N_1 r)' - N_2 = r \rho \left[\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} (h + F) + \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} S \right]; \quad (rQ)' + [N_1 r (w' + r/R)]' = r \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} (h + F) - rP;$$

$$(rM_1)' - M_2 - rQ = r \rho \left[\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} (h^3 / 12 + J) + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} S \right], \quad (7)$$

бунда ρ - қобик материалининг зичлиги; h - силлиқ қобик қалинлиги.

Қаралаётган масала учун чегаравий шартлар қуйидагича:

а) қобик четларининг қистириб маҳкамланиш шартлари:

$$u = w = \psi = 0; \quad (8)$$

б) қобикнинг марказида симметриклик шартлари:

$$r = 0 \quad \text{бўлганда} \quad u = \frac{\partial w}{\partial r} = \psi = 0; \quad (9)$$

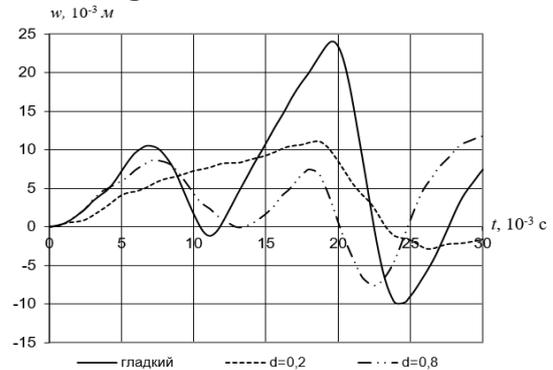
Қобикнинг $t = 0$ даги ҳолатида бошланғич шартлар ноль деб олинади:

$$u = w = 0. \quad (10)$$

Шундай қилиб, қобирғали қобикнинг динамик деформацияланиши ҳақидаги масаланинг тўлиқ қўйилиши (1)-(7) тенгламалар системасини берилган (8), (9) чегаравий шартлар ва (10) бошланғич шартлар билан бирга-ликда ечишдан иборат.

Четлари қистириб маҳкамланган қобирғали сферик қобикнинг текис тақсимланган $P = P_0 e^{-t/\alpha}$ юкланиш таъсиридаги кучланган-деформацияланган ҳолати ҳисобланган, бунда $P_0 = 2,5 \text{ МПа}$, $\alpha = 10^{-3} \text{ с}$. Қобикнинг геометрик ва эластик характеристикалари қуйидагича: $R=2 \text{ м}$; $R_0 = 0,5 \text{ м}$; $h=0,01 \text{ м}$; $E=75600 \text{ МПа}$; $\nu = 0,3$; $\rho = 2640 \text{ кг / м}^3$; қобирға ҳалқасимон ҳамда баландлиги $h^R = 0,04 \text{ м}$ ва $\xi = 0,0333 \text{ м}$. Қобирғанинг $r = 0,10 \text{ м}$ (қутбга яқин) ва $r = 0,40 \text{ м}$ (четига яқин) координаталарда жойлашган ҳоллари ҳисобланган.

Қобик деформациясига қобирғанинг таъсирини баҳолаш учун 1-расмда мустаҳкамланмаган қобикнинг эгилишлари билан таққослаш келтирилган. Кўришиб турибдики, қобирға мустаҳкамланмаган қобикнинг деформацияланиш характерини тубдан ўзгартиради. Қобирға қутб яқинида жойлашганда тебранишларнинг даври ва максимал амплитудаси ортади, частотаси эса деярликки марта камаяди.



1-расм. Қобирғасиз, $r = 0,1 \text{ м}$ ($d=0,2$), ва $r = 0,4 \text{ м}$ ($d=0,8$) нуқтасида қобирға билан мус-таҳкамланган ҳолатлардаги қобикларнинг марказий нуқтаси эгилишлари ($r=d \cdot R_0$).

Четлари яқинида жойлашган қобирға тебранишларнинг максимал амплитудасининг камайишига олиб келади. Олинган натижалар шуни кўрсатадики, қутб яқинига ўрнатилган қобирға қобикнинг қутб яқинидаги эгилиш деформацияларининг кескин камайишига олиб келади.

Қобирғанинг четга яқин жойлашиши мустаҳкамланмаган қобикдаги ҳолатдаги билан таққосланганда қобик эгилишларининг радиус бўйлаб тақсимотини ҳам ўзгартиради. Айтилганларни умумлаштириб, қобирғани қутбга яқин жойлаштириш қобик қутб нуқтаси тебранишларининг максимал амплитудаси, даври ва частотасининг ҳамда қобикнинг марказий қисмидаги эгилиш деформацияларининг камайишига олиб келади.

2.3 параграфда дискрет сонли доиравий қобирғалар билан мустаҳкамланган ётиқ сферик қобикнинг ночизикли деформацияси ҳақидаги умумлаштирилган масала қаралган. Қобирғалар бир хил тўғри тўртбурчакли кўндаланг кесимга эга ва қобикнинг ички томонидан бириктирилган. Қобикнинг ташқи қисмига вақтга нисбатан экспоненциал қонун бўйича ўзгарувчи импульсли P юкланиш таъсир этади. Қаралаётган қобикнинг кучлан-

ган-деформацияланган ҳолатига унинг геометрик характеристикалари (эни ва қалинлиги) ва қобирғалар сони ўзгаришининг таъсири ўрганилган.

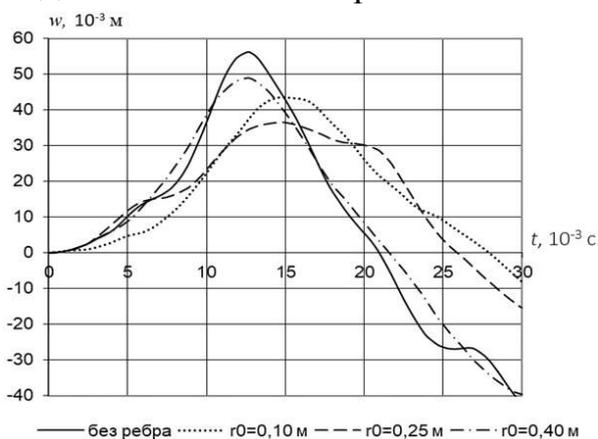
Диссертация ишининг «**Динамик юкланишлар таъсиридаги дискрет қобирғаланган доиравий пластинканинг ночизикли деформацияланиши**» деб номланган учинчи бобида динамик юкланишлар таъсиридаги қобирғали доиравий пластинкаларнинг ночизикли деформацияланиши тадқиқ этилган. Импульсли, оний ва секин ўсувчи динамик юкланишлар таъсиридаги доиравий равишда қобирғаланган доиравий пластинканинг кўчиш ва деформациялари орасидаги геометрик чизиклимасликни эътиборга олган ҳолда кучланган-деформацияланган ҳолатининг ҳисоби бажарилган. Қурилма материаллари Гук қонунига бўйсунувчи ва бир хил бўлган пластинка ва қобирғалардан ташкил топган.

3.1 параграфда импульсли юкланган, четлари қистириб маҳкамланган ҳалқали қобирғаланган доиравий пластинканинг ночизикли тебранишлари ва доиравий пластинканинг ночизикли деформацияларни ҳисобга олган ҳолда кучланган-деформацияланган ҳолатини сонли тадқиқ қилишга бағишланган. Қобирға бир хил тўғри тўртбурчакли кўндаланг кесимга эга ва қобикнинг ички томонидан бириктирилган. Қобикнинг ташқи қисмига вақтга нисбатан экспоненциал қонун бўйича ўзгарувчи импульсли P юкланиш таъсир этади.

Мустаҳкамланмаган ва $r_0 = 0,1; 0,25; 0,4 м$ нуқталарда қобирғаланган пластинкаларнинг кесимларидаги кўчишлар ва зўриқишлар ҳисобланган. 2-расмда мустаҳкамланмаган ва $r_0 = 0,1; 0,25; 0,4 м$ нуқталарда бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган пластинкалар марказий нуқталарининг w эгилиши тасвирланган.

Пластинканинг деформацияланиш характерининг вақт бўйича ўзгаришини баҳолаш учун мустаҳкамланмаган ва қобирға билан мустаҳкамланган пластинкаларнинг эгилиш чизикларини таққослаш амалга оширилган.

Графиклардан мустаҳкамланмаган пластинкаларнинг кўчишлари энг катта қийматга $t = 12,6 \cdot 10^{-3} с$ ($w = 56,28 \cdot 10^{-3} м$) бўлганда эришиши; мустаҳкамланган пластинкалар учун қобирға $r_0 = 0,1 м$ нуқтада $t = 14,7 \cdot 10^{-3} с$ ($w = 43,54 \cdot 10^{-3} м$) пайтда; $r_0 = 0,25 м$ нуқтада $t = 14,7 \cdot 10^{-3} с$ ($w = 36,51 \cdot 10^{-3} м$) пайтда; $r_0 = 0,4 м$ нуқтада ўрнатилганда эса $t = 12,6 \cdot 10^{-3} с$ ($w = 48,85 \cdot 10^{-3} м$) пайтда энг катта қийматга эришишлари келиб чиқади. Кўриниб турибдики, энг катта эгилиш мустаҳкамланмаган пластинкада вужудга келади. Энг кичик эгилиш қобирға пластинканинг маркази ва четининг ўртасида жойлашган ҳолда вужудга келади.



2-расм. Қобирғасиз ва қобирға $r_0 = 0,1; 0,25; 0,4 м$ нуқтасида мустаҳкамланган ҳолатлардаги пластинкаларнинг марказий нуқталари эгилишлари

3.2 параграфда импульсли куч таъсиридаги дискрет сонли бикрлик қобирға билан мустаҳкамланган ва четлари қистириб маҳкамланган доиравий пластинка ночизиқли деформациясига қобирғалар сони ва жойлашининг таъсири тадқиқ этилган. Пластинканинг кучланган-деформацияланган ҳолатини тасвирлаш учун пластинкалар тебранишларининг С.П.Тимошенко типдаги ночизиқли назария қўлланилади. Қобирғалар сони ва геометрик харақтеристикалари ўзгаришининг бир нечта варианты қаралган.

Қобирғалар сонининг ортиши ва уларнинг геометрик харақтеристикаларининг ўзгариши пластинканинг кучланган-деформацияланган ҳолатига жиддий таъсир кўрсатади ва бу параметрлар унинг зўриқишлари ва моментларининг ошиши ҳамда эгилишларининг сезиларли камайишига олиб келиши кўрсатилган. Барча вариантларда эгилиш тебранишлари формалари бир-бирига яқин ва синусоидал формада бўлади. Пластинкани қобирға билан мустаҳкамлаб, уларнинг жойлашиши ва геометрик харақтеристикаларини ўзгартириб, пластинканинг берилган қалинлик ва бикрлик параметрларида унинг оғирлигини камайтириш мумкинлиги тўғрисида хулоса қилинган.

3.3 параграф дискрет-қобирғаланган пластинканинг қуйидаги кўринишдаги қисқа вақтда таъсир этувчи оний ва секин ортиб борувчи юкланишларга таъсирининг ҳисобига бағишланган:

- оний ортиб борувчи юкланиш:

$$f(t) = \begin{cases} 1 - t/\theta & nпу \quad 0 \leq t \leq \theta, \\ 0 & nпу \quad t > \theta \end{cases}$$

- секин ортиб борувчи юкланиш:

$$f(t) = \begin{cases} t/\theta_1 & nпу \quad 0 < t \leq \theta_1, \\ 1 - (t - \theta_1)/\theta_2 & nпу \quad \theta_1 < t \leq \theta_1 + \theta_2 = \theta, \\ 0 & nпу \quad t > \theta \end{cases}$$

бунда $f(t)$ - динамик юкланишнинг вақт бўйича ўзгаришини ифодаловчи функция, θ_1 - секин ортиб борувчи юкланишнинг ортиш ва θ_2 - камайиш вақти.

Турли ҳолдаги ташқи юкланишлар таъсири остидаги ва мустаҳкамланиш қобирғаларининг сонидан боғлиқ мустаҳкамланган ва мустаҳкамланмаган пластинка марказий нуқтасининг вақт бўйича кўчишлари натижалари келтирилган. Тўртта қобирға билан мустаҳкамланган пластинка эгилишлари графиги ҳам силлиқ бўлади. Бунда эгилишлар қийматлари мустаҳкамланмаган пластинкага нисбатан оний ўсувчи, экспоненциал ва секин ўсувчи юкланишларда мос равишда 50%, 84% ва 48%га пасаяди. Бундан ташқари, ҳар учала ташқи юкланишларда эгилишнинг максимал қийматига эришиш вақти узаяди.

Оний ўсувчи юкланиш амплитудаси 2,5 МПа бўлганда бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган пластинка марказий нуқтасининг кўчишлари сезиларли камайишига, яъни а) битта қобирға бўлганда $\approx 30\%$ га; б) иккита қобирға бўлганда $\approx 40\%$ га; в) тўртта қобирға бўлганда $\approx 53\%$ га камайишига олиб келади.

Секин ўсувчи юкланиш амплитудаси 2,5 МПа бўлганда бикрлик қобирғалари билан мустаҳкамланган пластинка марказий нуқтасининг кўчишлари сезиларли камайишига, яъни а) битта қобирға бўлганда $\approx 20\%$ га; б) иккита қобирға бўлганда $\approx 30\%$ га; в) тўртта қобирға бўлганда $\approx 50\%$ га камайишига олиб келади.

Диссертациянинг «Қобирғали доиравий пластинка ва сферик қобикларнинг динамик эластик-пластик деформацияланиши» деб номланган тўртинчи боби қобирғали сферик қобик ва доиравий пластинкаларнинг динамик эластик-пластик деформацияларини геометрик ночизиклилик назария асосида тадқиқ этишга бағишланган.

4.1 параграф пластик деформацияларни эътиборга олган ҳолда қобик ва пластинкалар назариясининг асосий муносабатлари ва ночизикли тенгламаларининг баёнига бағишланган. Деформацияларнинг кўчишлардан (2) кўринишидаги ночизикли боғланишлари келтирилган. Эластиклик чегарасидан кейинги соҳада динамик деформацияни тасвирлаш учун пластик оқиш назарияси қўлланилади. Масалани кадамма-кадам ечиш усулига асосланиб, юкланиш вақти L та кичик ортиб бориш тартибида рақамланган кадамларга ажратилади. k - кадамда пластик деформациянинг орттирмаси куйидагича белгиланади: $\Delta_k \varepsilon_a^p$ ($k = 1, 2, \dots, L; \alpha = x, y, xy, xz, yz$.)

Юкланиш қадами L га тенг деб олинади. ε_a тўлиқ деформация эластик ва пластик тузувчиларнинг йиғиндиси кўринишида тасвирланади:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_a^y + \sum_{k=1}^L \Delta_k \varepsilon_a^p$$
 L -кадамда пластинка нуқталаридаги кучланиш ва деформациялар орасидаги муносабатлар пластик деформацияларни ҳисобга олган ҳолда куйидагича ёзилади:

$$\sigma_x^o = \frac{E}{1 - \mu^2} \left[\varepsilon_x^z + \mu \varepsilon_y^z - \sum_{k=1}^L (\Delta_k \varepsilon_x^p + \mu \Delta_k \varepsilon_y^p) \right]; \quad \sigma_{xy}^o = \frac{E}{2(1 + \mu)} \left(\varepsilon_{xy}^z - \sum_{k=1}^L \Delta_k \varepsilon_{xy}^p \right);$$

Бундан ташқари қобик ва қобирға учун барча зўриқиш, момент ва қирқувчи кучларнинг формулалари келтирилган. Қобирғаларнинг таъсирини эътиборга олиш қобирғали қурилмани қалинлиги поғонали ўзгарувчи қобик ёки пластинка деб қараш орқали амалга оширилади.

4.2 параграфда импульсли юкланишдаги қобирғали пластинка эластик-пластик деформацияланишининг математик модели ва сонли ҳисоб схемаси тақдим этилган. Олинган натижалар тўртта қобирға билан мустаҳкамланган пластинка ва мустаҳкамланмаган пластинка марказий нуқтасининг эгилишлари ташқи юкланиш амплитудаси 2,5 МПага тенг бўлганда келтирилган. Мустаҳкамланган пластинка учун пластик деформацияларни ҳисобга олиш эгилиш графиги максимал қийматга эришганда унинг қийматини 32%гача оширади. Пластинка тўртта қобирға билан мустаҳкамланганда эластик ва эластик-пластик эгилишлари графиклари устма-уст тушади. Бу шуни кўрсатадики, кичик амплитудали ташқи юкланишларда тўртта қобирға билан мустаҳкамланган пластинка ҳисобида пластик деформацияларни ҳисобга олмаслик ҳам мумкин. Ташқи юкланиш амплитудаси 5 МПа ва ундан юқори

бўлганда пластик деформацияларни ҳисобга олмаслик мумкин эмас. Натижалар шуни кўрсатадики, ташқи юкланиш амплитудаси қанча юқори бўлса эгилишларга нисбатан эластик-пластик модел натижалари эластик модел натижаларидан катта бўлади.

4.3 параграфда импульсли юкланишлар таъсиридаги сферик қобикнинг эластик-пластик деформацияланиши ҳақидаги масала ечилган. Импульсли ташқи таъсирлар остидаги қобик кучланган-деформацияланган ҳолати параметрлари орасидаги муносабатлар олинган. Олинган натижалар тўртта қобирға билан мустаҳкамланган қобик ва мустаҳкамланмаган қобик марказий нуқтасининг эгилишлари ташқи юкланиш амплитудаси 2,5 МПага тенг бўлганда келтирилган. Мустаҳкамланган қобик учун пластик деформацияларни ҳисобга олиш эгилиш графиги максимал қийматга эришганда унинг қийматини 200%гача оширади. Қобик тўртта қобирға билан мустаҳкамланганда эластик ва эластик-пластик эгилишлари графиклари устма-уст тушади. Ташқи юкланиш амплитудаси 5 МПа ва ундан юқори бўлганда пластик деформацияларни ҳисобга олмаслик мумкин эмас.

ХУЛОСА

«Қобирғали пластинка ва сферик қобикларнинг ночизикли деформацияланиши» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги асосий хулосалар келиб чиқади:

1. Импульсли, оний ва секин ортиб боровчи динамик юкланишлар таъсири остидаги қобирғали қобик ва пластинкаларнинг динамик ҳисоби масаласи ечилиб, қобирғали система таъсирини эътиборга олган ҳолда система кучланган-деформацияланлик ҳолати сонли ҳисоб модели ва алгоритми ишлаб чиқилган.

2. Геометрик ночизикликни эътиборга олган ҳолда локал қобирғаланган сферик қобикнинг деформацияланиши ҳақидаги масала ечилиб, қобирға мустаҳкамланмаган қобикқа нисбатан деформацияланиш характерининг кескин ўзгартириши кўрсатилган. Бунда қобирғани кутбга яқин жойлаштириш тебранишлар даври ва максимал амплитудасини катталаштириш, частотани деярли икки марта камайтириш, қобирғанинг четга яқин жойлаштириш эса тебранишлар максимал амплитудасини камайтириш имконини беради.

3. Турли динамик юкланишлар остидаги қобирғаланган сферик қобикнинг ночизикли деформацияланиши тўғрисидаги масаланинг сонли ечими қобирға кўндаланг кесими юзини ўзгартирмасдан унинг баландлигини орттириш орқали қобикнинг биқрлигини ошириш ва қобирғалар ўрнатилган жойлардаги кучланишларнинг кескин ўзгариши қобикнинг деформацияланган ҳолатига сезиларли таъсир кўрсатмаслигини асослаш имконини беради.

4. Қобирғаларнинг оптимал жойлашиши ва сонини эътиборга олган ҳолда қобирғаланган сферик қобиклар ва доиравий пластинкаларнинг

кучланган-деформацияланган ҳолати ҳақидаги амалий масалаларнинг сонли ечимлари қобирғаланмаган қурилмага нисбатан материал сарфини 15% гача иқтисод қилиш ва қурилманинг юк кўтариш қобилиятини 12-15%га оширишни аниқлаш имконини беради.

5. Импульсли юкланишлар таъсиридаги локал қобирғаланган пластинканинг нозизиқли тебранишлари ҳақидаги масаланинг сонли ечими натижалари бўйлама зўриқишларнинг поғонасимон ўзгариши қобирға ўрнатилган жойларда ва уларнинг яқин атрофида рўй беришини, мустаҳкамланмаган пластинкада эса бўйлама зўриқиш сакраб ўзгармасдан силлиқ ўзгариб, унинг нолга интилишини баҳолаш имконини беради.

6. Пластинка ва қобиқ материалларининг эластик-пластик хоссалари эътиборга олинган ҳол учун қобирғали қурилманинг тебраниш тенгламаларини сонли ечиш амалиёт учун хавfli бўлган, бир ёки иккита халқали қобирғалар билан мустаҳкамланган доиравий пластинка кесимларидаги эгувчи моментлар ва қирқувчи кучлар қийматларини аниқлаш, бу эса ўз навбатида қобирғаларнинг ўрнатилиши кўрсатилган куч факторларини 40%дан 60%гача камайтириш ва қурилма оғирлигини 15-20%га енгиллаштириш имконини беради.

7. Диссертацияда ишлаб чиқилган аналитик-сонли усуллар фуқаро ва саноат объектлари қурилиши ва техникада қўлланилиши мумкин бўлган қурилмалар қобирғаланган элементлари ҳисобининг турдош амалий масалаларини, регулярилик структураси бузилган тўғри тўртбурчакли пластинка ва цилиндрик қобиқлар ҳисоби масалаларини ечиш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 ПРИ САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАР-
СТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НИШОНОВ УТКИР АНЖИБОЕВИЧ

**НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ РЕБРИСТЫХ ПЛАСТИН И
СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Самарканд – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2018.1.PhD/FM167

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

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

Научный руководитель:

Халмурадов Рустам Ибрагимович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Абдикаримов Рустамхон Алимханович
доктор физика-математических наук, доцент

Мамасолиев Қозоқбой кандидат физика-математических наук, доцент

Ведущая организация:

Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий

Защита диссертации состоится «__» _____ 2019 г. в __ часов на заседании научного совета DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 при Самаркандском государственном университете по адресу: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел/факс (9966) 239-11-40; e-mail: sasu_info@edu.uz.

С диссертацией (PhD) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института механики и сейсмической стойкости сооружений (регистрационный номер №__). Адрес: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел/факс (9966) 239-11-40.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2019 года.
(реестр протокола рассылки №__ от «__» _____ 2019 года.)

А.Б.Ахмедов

Заместитель председателя
научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф-м.н., доцент

А.Абдирашидов

Ученый секретарь
научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф-м.н., доцент

Х.Худойназаров

Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в современной технике и строительстве уделяется большое внимание применению тонких упругих конструкций и их элементов, работающих зачастую в условиях больших скоростей деформаций и подвергнутых воздействию различных динамических нагрузок. В последние годы в США, Франции, Китае, Японии, Российской Федерации и в других развитых государствах для увеличения общей жесткости конструкции, при таких условиях, тонкостенная её часть подкрепляется ребрами. Применяются неклассические модели, позволяющие увеличивать её прочность и являющимися незаменимыми для передачи усилий, близких к сосредоточенным. С этой точки зрения снижение материалоемкости конструкций без уменьшения их несущей способности, приобретают исключительно важное значение в конструкторском и экономическом отношении. Во многих зарубежных странах как США, Англия, Франция, Германия, Япония и в других развитых государствах, для развития и усовершенствования методов проектирования таких отраслей, как строительство, машиностроение и кораблестроение, исследованиям динамического напряженно-деформированного состояния, расчету и проблеме повышения несущей способности конструкций, усиленных ребрами жесткости и находящихся под воздействием кратковременных динамических нагрузок уделено особое внимание.

В мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на изучение динамического поведения подкрепленных ребрами жесткости пластин и оболочек, находящихся под действием различных внешних динамических нагрузок. Такие элементы используются в аэрокосмических, подземных и подводных инженерных конструкциях. В этом направлении, в частности, созданию математических моделей изучения динамического поведения элементов, моделирующих работу несущих элементов различных инженерных конструкций и совершенствованию современных методов расчета уделяется отдельное внимание. Вместе с тем, разработка математической модели, алгоритма и программы расчета для определения нестационарного состояния таких элементов, в частности сферических оболочек и круглых пластин, считается необходимой.

В нашей Республике в области строительства и техники созданию модели и алгоритма расчета тонких упругих и упруго-пластических ребристых конструкций, находящихся под действием различных динамических нагрузок и разработке мероприятий по широкому их применению в производство приковано особое внимание. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах поставлены задачи, в том числе «... модернизации производства, техническое и технологическое обновление, производства ..., ... поэтапное внедрение ресурсосберегающих и эффективных современных технологий ...»¹. Выполнение этих заданий, в том числе

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» №УП-4947 от 7 февраля 2017 г.

создание математических моделей изучения процессов деформирования конструкций, с целью, повышения несущей их способности с помощью крепления оптимальным числом ребер и арматур, считаются одними из важнейших задач.

Выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах» от 7 февраля 2017 года и постановлениях №ПП-3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» от 9 августа 2017 года, №ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, №ПП-3502 «О мерах по обеспечению в 2018-2022 годах генеральными планами населенных пунктов, улучшению деятельности проектных организаций, а также повышению качества подготовки специалистов в сфере градостроительства» от 2 февраля 2018 года, а также в других нормативно - правовых документах, относящихся к данной сфере деятельности в определенной степени служить диссертационное исследование.

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

Степень изученности проблемы. В нашей стране и за рубежом задачи динамического деформирования ребристых элементов конструкций исследованы В.З.Власовым, А.И.Лурье, Т.Мавлоновым, Р.И.Халмурадовым, Ю.П.Жигалко, В.В. Карповым, Л.И. Маневичем, И.Я.Амиро, В.А.Заруцким и другими. При динамических расчетах ребристых пластин и оболочек важную роль играют исследования собственных колебаний. R.J. Stuart, J.F.Carney, A. К.Бодунов, А.А.Полозков, Г.Ф.Макмак, R.K.Jain, Takahashi Shin и другие проводили такие исследования.

Некоторые вопросы применения численных методов решения задач динамики прямоугольных и круглых пластин и сферических оболочек, подкрепленных ребрами жесткости, рассмотрены в работах Ш.У.Галиева, А.Б. Каршиева. Относительно новым и перспективным направлением исследований поведения ребристых элементов конструкций являются разработка численного вычисления требуемых параметров, чем занимались S.Finnveden, L.Garvic, K.Wilner, K.Knothe, Z.Strzyzakovsk. Идеи, лежащие в основе некоторых численных разработок, связаны со спектральным конечным элементом или волновыми методами конечных элементов, рассмотренных в работах L.Houillon, M.N.Ichchou, L.Jezequel, В. Mace, L.Yinke, D.Duhamel, M.J. Brennan. Подробным анализом научных работ, посвященных тематике численных расчетов различных аспектов ребристых структур, занимались S.Benerjee, T.Kundu и внесли большой вклад численному расчету ребристых структур.

На сегодняшний день проблемы при разработке алгоритмов и методов решения задач нелинейного деформирования ребристых пластин и оболочек с учетом упруго-пластических свойств материалов в достаточной степени не изучены.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Самаркандского государственного университета №25/37 «Исследование колебаний и устойчивости дискретно-непрерывных систем, взаимодействующих с деформируемой средой» (2000-2017 гг.), а также в рамках проектов №21/41 «Исследование взаимодействия элементов конструкций регулярной и нерегулярной структуры со средой и связанными полями» (2007-2011 гг.) и ОТ-Ф-4-90 «Расчет деформирования трехслойных вязкоупругих пластин при динамических нагружениях» (2017-2020 гг.).

Целью исследований является совершенствование модели нелинейного деформирования ребристых круглых пластин и сферических оболочек, находящихся под действием различных динамических нагрузок и разработка методик и алгоритмов численного решения нелинейных уравнений колебания.

Задачи исследования:

разработка метода и алгоритма определения динамической реакции взаимодействующих подкрепляющих элементов в виде ребер постоянного поперечного сечения на нестационарные колебания и на напряженно-деформированное состояние пластин и оболочек;

разработка методики численного решения уравнений колебания ребристой сферической оболочки на случай учета геометрической нелинейности между компонентами деформации и перемещения;

разработка программной среды обеспечения численного решения уравнений колебания ребристой круглой пластинки на случай учета упруго-пластических свойств её материалов;

создание новых алгоритмов расчета круглых пластин и сферических оболочек, учитывающих влияния подкрепляющих ребер, их мест расположения и дискретности количества при внешних динамических, в частности импульсных и взрывных нагрузках, действующих на неконтактирующей с ребром внешней поверхности пластинки или оболочки;

решение ряда задач о динамическом напряженно-деформированном состоянии ребристых круглых пластин и сферических оболочек при воздействии на них внешних нестационарных импульсных, мгновенно возрастающих и других нагрузках.

Объектом исследований являются, круглые пластинки и сферические оболочки, подкрепленные дискретным числом кольцевых ребер жесткости.

Предметом исследований являются процесс нелинейного деформирования ребристой круглой пластинки и сферической оболочки, под действием импульсных, взрывных и других динамических нагрузок, процесс влияния ребер жесткости.

Методы исследований: методы нелинейной теории упругости, численный метод конечных разностей решения нелинейных дифференциальных уравнений, метод учета пластических деформаций и другие.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработаны метод и алгоритм определения динамической реакции взаимодействующих подкрепляющих элементов в виде ребер постоянного поперечного сечения на нестационарные колебания и на напряженно-деформированное состояние пластин и оболочек;

разработана методика численного решения уравнений колебания ребристой круглой пластинки и сферической оболочки на случай учета геометрической нелинейности между компонентами деформации и перемещения;

разработано программное средство численного решения уравнений колебания ребристой круглой пластинки на случай учета упругопластических свойств её материалов;

созданы новые алгоритмы расчета круглых пластин и сферических оболочек, учитывающих влияния подкрепляющих ребер, их мест расположения и дискретности количества при внешних динамических, в частности импульсных и взрывных нагрузках, действующих на неконтактирующей с ребром внешней поверхности пластинки или оболочки;

даны численные решения ряда задач о напряженно-деформированном состоянии ребристых круглых пластин и сферических оболочек при воздействии на них внешних нестационарных импульсных, мгновенно возрастающих и других нагрузок.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан алгоритм, на основе которого можно вести уточненный расчет геометрически нелинейного деформирования круглых пластин и сферических оболочек, подкрепленных дискретным числом кольцевых ребер жесткости при действии внешних динамических, в частности, импульсных, мгновенно возрастающих, а также при медленно возрастающих во времени нагрузок.

разработана программная среда для расчёта напряженно-деформированного состояния (усилия, моменты, напряжения и перемещения) ребристых круглых пластин и сферических оболочек;

разработана методика расчета ребристых пластин и оболочек, применяемых для перекрытия строительных сооружений малых размеров и межэтажных перекрытий зданий;

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается использованием общеизвестных и многократно апробированных теорий движения пластин и оболочек, учитывающих деформацию поперечного сдвига и геометрически нелинейную зависимость между деформациями и перемещениями, правильность принятых уравнений движения рассматриваемых систем и их решений подтверждаются соответствием, в частных случаях, с уравнениями типа С.П.Тимошенко и их решениями.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования состоит в развитии теории расчета нелинейного деформирования круглых пластин и сферических оболочек, подкрепленных дискретным числом кольцевых ребер жесткости.

Практическая значимость результатов исследования обосновывается созданием необходимой теоретической предпосылки для научно-обоснованного решения задач о напряженно-деформированном состоянии круглых пластин и сферических оболочек, подкрепленных кольцевыми ребрами жесткости при действии внешних динамических нагрузок. Кроме того, они в силу того, что носят достаточно общий характер, могут быть распространены, на случаи учета большего числа физико-механических (реологических, анизотропных, электро-магнитоупругих и др.) свойств материала пластин, оболочек и ребер. Полученные результаты могут быть использованы при качественном и количественном анализе практических нелинейных задач в области строительства и техники.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов расчета нелинейного деформирования ребристых пластин и оболочек при действии различных динамических нагружениях с помощью разработанных численных методик и алгоритмов, а также результатов созданных программ:

методика определения динамической реакции взаимодействующих подкрепляющих элементов в виде ребер постоянного поперечного сечения на нестационарные колебания и на напряженно-деформированное состояние пластин и оболочек внедрена в ООО «Мензула тасвир сервис» на процесс определения напряженно-деформированного состояния пологих сферических оболочек, подкрепленных ребрами жесткости (справка министерство Строительства Республики Узбекистан №1186/30-01 от 8 июня 2018 г.). В результате осуществлена оценки деформированного состояния сферического купола, подкрепленного ребрами жесткости с определением возможных его прогибов, которая в конечном итоге привела к экономии материала до 15%;

методика и алгоритм численного решения задач о динамически деформированном состоянии ребристых сферических оболочек при воздействии на них внешних нестационарных импульсных нагрузок внедрена в ООО «Мензула тасвир сервис» и использована для проверки выполнения условия прочности материала элемента кровельной конструкции здания (справка министерство Строительства Республики Узбекистан №1186/30-01 от 8 июня 2018 г.). В результате способ подкрепления определенных зон концентрации напряжений ребрами жесткости позволил повысить несущую способность конструкции на 10-12%;

программное средство численного решения уравнения колебания круглой ребристой пластинки внедрена в ООО «Сармоя курувчи сервис» (справка министерства Строительства Республики Узбекистан №1186/30-01 от 8 июня 2018 г.) для определения наиболее опасных для практики значений изгибающих моментов и перерезывающих сил в сечениях пластинки, подкрепленной одной или двумя кольцевыми ребрами. В результате, уста-

новление ребер с учетом показаний расчетов послужило снижению значений указанных силовых факторов от 40% до 60% и облегчению веса конструкции на 15-20%;

алгоритм расчета круглых пластин при внешних динамических, в частности, импульсных нагрузках действующих на неконтактирующей с ребром внешней поверхности пластинки внедрена в ООО «Сармоя курувчи сервис» (справка министерство Строительства Республики Узбекистан №1186/30-01 от 8 июня 2018 г.) для определения значения напряжении, позволяющий проверить условие прочности материала. При этом определены значения напряжения, позволяющие осуществить проверку соответствия материала условиям прочности. В результате, установки ребер в точках $2/5$ и $3/5$ частей радиуса пластинки, позволили экономить материальные средства и трудозатраты до 30% по сравнению с неподкрепленной пластинкой, а также оптимальное расположение ребер позволили повысить несущую способность ребристой пластины на 12-15%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждены на 3 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано 14 научных трудов: 5 научных статей, в том числе 4 в республиканских и 1 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских (PhD) диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации состоит из 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении дана развернутая характеристика и обоснование актуальности проблемы, поставлена цель диссертационной работы, сформулированы основные положения научной новизны диссертации, которые выносятся на защиту. Выделены главные вопросы, подлежащие разработке, дана характеристика научной и практической значимости полученных в работе результатов, способов обоснования их достоверности. Кратко охарактеризованы все главы диссертации.

В первой главе диссертации, названной «**Нелинейные соотношения и уравнения ребристых пластин и оболочек**» изложены основные уравнения и соотношения геометрически нелинейной теории пластин и оболочек в декартовой прямоугольной и цилиндрической системах координат. Приведен общий обзор научных работ, посвященных различным аспектам теории и расчета круглых пластин и сферических оболочек, подкрепленных ребрами жесткости. Осуществлены также постановки задач о нелинейном деформировании ребристых сферических оболочек и круглых пластин с учетом упругих и упругопластических свойств их материала.

В параграфе 1.1 приведены обзор работ, посвященных исследованиям по расчету элементов инженерных конструкций, в виде подкрепленных пластин и оболочек на действие различных нагрузок. При этом нагрузки считаются вызванными источниками различной природы, в частности, действием статических и динамических нагрузок, а также акустических и нестационарных волн, распространяющихся в среде, окружающей рассматриваемый элемент или содержащейся (заполняющей) в его полости.

В параграфе 1.1 приведены геометрически нелинейные соотношения и уравнения движения ребристых оболочек. Напряженно-деформированное состояние самой оболочки без подкреплений описывается на основе теории гибких оболочек типа Тимошенко С.П. Наряду с уравнениями равновесия и движения оболочек приведены интегральные соотношения для всех усилий и моментов, действующих в сечениях самой оболочки и ребер.

В параграфе 1.2 приведены геометрически нелинейные соотношения и уравнения движения для ребристых пластин. Здесь обосновано применение разрывных функций, в частности, функции Хевисайда и дельта функции Дирака для описания ребер с пластинкой или оболочкой.

В параграфе 1.3 сформулированы граничные и начальные условия в зависимости от способа закрепления краев, необходимых для создания математической модели прикладных задач о динамическом деформировании ребристых пластин и оболочек. Граничные условия в общем случае для пластинки и оболочки приведены отдельно для каждого из видов закрепления: жесткое и упругое защемления, шарнирное опирание и свободный край. Кроме того, все четыре вида граничных условий для круглой пластинки сформулированы отдельно.

Во второй главе диссертации, названной **«Нелинейное деформирование, сферических оболочек подкрепленных ребрами жесткости»** ставятся и решаются нелинейные задачи о колебаниях сферических оболочек, подверженных действию импульсных нагрузок. Рассмотрены наиболее актуальные проблемы расчета оболочек неоднородной структуры: учет дискретности расположение ребер, кратковременность приложенных нагрузок и учет геометрической нелинейности при динамических расчетах. Осуществлена математическая формулировка задач динамического деформирования ребристых оболочек.

Для решения задач применены численные методы, в частности, метод конечных разностей. Обосновано применение этого метода в задачах импульсного деформирования ребристых оболочек и изложены численные схемы интегрирования уравнений. Приведены конечно-разностные аналоги использованных дифференциальных соотношений.

В параграфе 2.1 приведено обоснование применения метода конечных разностей в задачах импульсного деформирования ребристых оболочек и изложены численные схемы интегрирования уравнений колебания. Приведем конечно-разностные аналоги используемых дифференциальных соотношений. Для описания напряженно-деформированного состояния оболочки ис-

пользована уточненная теория типа Тимошенко, уравнения колебания которой имеют следующий вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} (h + \bar{F}) + \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \bar{S} \right] &= 0; \quad \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} (h + \bar{F}) + \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0; \\ N_x R_x + N_y R_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial w}{\partial y} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q - \frac{\gamma}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} (h + \bar{F}) &= 0; \quad (1) \\ \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \bar{S} \right] &= 0; \quad \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_y - \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J} \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0. \end{aligned}$$

где u, v, w – перемещения, ψ_x, ψ_y – углы поворота нормали к срединной поверхности; γ, g – удельный вес материала оболочки и ребер и ускорение силы тяжести; N_x, N_y – нормальные усилия; N_{xy} – касательные усилия; M_x, M_y – изгибающие моменты; M_{xy} – крутящий момент; Q_x, Q_y – поперечные силы; h – толщина обшивки; R – радиус кривизны оболочки;

$$\begin{aligned} \bar{F} &= \sum_{j=1}^m F^j(x, y) \delta(x - x_j) + \sum_{i=1}^n F^i(x, y) \delta(y - y_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V^{ij} \delta(x - x_j) \delta(y - y_i); \\ \bar{S} &= \sum_{j=1}^m S^j(x, y) \delta(x - x_j) + \sum_{i=1}^n S^i(x, y) \delta(y - y_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S^{ij} \delta(x - x_j) \delta(y - y_i); \\ \bar{J} &= \sum_{j=1}^m J^j(x, y) \delta(x - x_j) + \sum_{i=1}^n J^i(x, y) \delta(y - y_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m J^{ij} \delta(x - x_j) \delta(y - y_i); \end{aligned}$$

F^j, S^j, J^j – соответственно площадь поперечного или продольного сечения элемента j -го ребра, шириной, равной единице, и высотой $h^j(x, y)$, статический момент и момент инерции этого сечения относительно оси координат. Аналогично для элемента i -го ребра имеем $F^i, S^i, J^i, S^{ij}, J^{ij}$ – объем элемента общей части пересечения ребер с площадью основания, равной единице, статический момент и момент инерции этого элемента относительно координатной поверхности.

Для интегрирования этих уравнений применена явная конечно-разностная схема. Срединная поверхность оболочки покрыта сеткой, состоящей из четырехугольных ячеек. Схема основана на определении перемещений и углов поворота в узлах, а деформаций, усилий, моментов и поперечных сил – в центре элемента. В конечном итоге решение дифференциальных уравнений (1) приведено к вычислениям по рекуррентным формулам.

В параграфе 2.2 исследована динамическая деформация локально-ребренной сферической оболочки с учетом геометрической нелинейности. В цилиндрической системе координат рассматривается пологий сферический оболочки, подкрепленный кольцевым ребром жесткости. Ребро имеет прямоугольное поперечное сечение и прикреплен к внутренней поверхности оболочки. На внешнюю поверхность купола действует импульсная нагрузка P , изменяющаяся во времени. Считается, что конструкция состоит из слоя обшивки и ребра. Сечение ребра не изменяется по угловой координате. Материалы обшивки и ребра одинаковые и подчиняются закону Гука. Для описа-

ния НДС оболочки используется нелинейная теория гибких пологих оболочек типа Тимошенко.

Перемещения произвольной точки нормали к срединной поверхности оболочки с координатой z равны:

$$u^z = u + z\psi; \quad w^z = w,$$

и при учете осесимметричности задачи $v^z = v = 0$, где u, v, w – перемещения точек срединной поверхности оболочки вдоль осей координат; ψ – угол поворота отрезка нормали к срединной поверхности оболочки.

Деформации удлинения в срединной поверхности возьмем в виде

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2; \quad \varepsilon_2 = u/r - w/R; \quad (2)$$

а деформации произвольной точки по толщине оболочки имеют вид:

$$\varepsilon_1^z = \varepsilon_1 + z \frac{\partial \psi}{\partial r}; \quad \varepsilon_2^z = \varepsilon_2 + z \frac{\psi}{r}. \quad (3)$$

Связь между напряжениями действующими в точках обшивки, и деформациями записывается так:

$$\sigma_1^0 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1^z + \mu \varepsilon_2^z); \quad \sigma_2^0 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2^z + \mu \varepsilon_1^z); \quad \sigma_{13}^0 = \frac{E}{2(1 + \mu)} \varepsilon_{13}^z, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{13}^z = f(z) \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \psi \right)$; E, μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала оболочки; H – высота ребра; $f(z)$ – функция, характеризующая закон распределения напряжений σ_{13}^0 по толщине оболочки $f(z) = f_o(z)$ для гладкой части оболочки; $f(z) = f_1(z)$ в точках, где расположены ребра;

$$f_o(z) = 6 \left[0,25 - \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right], \quad k^2 = \frac{5}{6}; \quad f_1(z) = \frac{3h(h+2H)}{2(h+H)^2} \cdot \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \left[1 - \frac{2z}{h+2H} \right]$$

Усилия, поперечные силы и моменты, приходящиеся на единицу длины сечения, действующие в сечении ребристой оболочки, имеют следующий вид:

$$N_1 = N_1^0 + N_1^R; \quad N_2 = N_2^0 + N_2^R; \quad M_1 = M_1^0 + M_1^R; \quad M_2 = M_2^0 + M_2^R; \quad Q = Q^0 + Q^R.$$

Здесь верхний индекс «0» относится к обшивке, а «R» к ребре. Усилия, поперечные силы и моменты, относящиеся к обшивке, находятся по формулам:

$$N_1^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1^0 dz = \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2); \quad N_2^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2^0 dz = \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1);$$

$$M_1^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1^0 z dz = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \mu \frac{\psi}{r} \right); \quad M_2^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2^0 z dz = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\psi}{r} + \mu \frac{\partial \psi}{\partial r} \right);$$

$$Q^0 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{13}^0 dz = \frac{5}{6} \frac{Eh}{2(1 + \mu)} \varepsilon_{13}.$$

Для определения усилий, моментов и перерезывающих сил, действующих в сечениях ребер, вся конструкция рассматривается как оболочка сту-

пенчато-переменной толщины. Высота ребра $H(r)$ и его местоположение задано с помощью единичной столбчатой функции $\delta(r - r_0)$:

$$H(r) = h^R \delta(r - r_0).$$

Здесь $\delta(r - r_0) = \{0 (r < a, r > b); 1 (a \leq r \leq b)\}$; $a_i = r_i - c_i / 2$, $b_i = r_j - c_i / 2$, r_i - координата срединной точки отрезка контакта обшивки и ребра; h^R , c - высота и ширина ребра.

Напряжения, действующие в ребре, определены по формулам:

$$\sigma_1^R = G_1 (\varepsilon_1^z + \mu_1 \varepsilon_2^z); \quad \sigma_2^R = G_2 (\varepsilon_2^z + \mu_2 \varepsilon_1^z); \quad \sigma_{13}^R = G_{13} \varepsilon_{13}^z, \quad (5)$$

где $G_1 = \frac{E_1}{1 - \mu_1 \mu_2}$; $G_2 = \frac{E_2}{1 - \mu_1 \mu_2}$; $G_{13} = \frac{5}{6} \cdot \frac{E}{2(1 + \mu)}$; $E_1, E_2, \mu_1, \mu_2, G_{13}$ - упругие постоянные материала ребра (считается, что в G_{13} входит k^2)

Усилия, моменты и поперечные силы, действующие в сечениях ребра, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} N_1^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_1^R dz = A_{11} (\varepsilon_1 + \mu_2 \varepsilon_2) + B_{11} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \mu_2 \frac{\psi}{r} \right); \quad N_2^R = \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_2^R dz = A_{22} (\varepsilon_2 + \mu_1 \varepsilon_1) + B_{22} \left(\frac{\psi}{r} + \mu_1 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right); \\ M_1^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_1^R z dz = B_{11} (\varepsilon_1 + \mu_2 \varepsilon_2) + C_{11} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \mu_2 \frac{\psi}{r} \right); \quad M_2^R = \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_2^R z dz = B_{22} (\varepsilon_2 + \mu_1 \varepsilon_1) + C_{22} \left(\frac{\psi}{r} + \mu_1 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right); \quad (6) \\ Q^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_{13}^R dz = D_{13} \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \psi \right). \end{aligned}$$

Здесь,

$$\begin{aligned} A_{11} &= G_1 F; \quad A_{22} = G_2 F; \quad B_{11} = G_1 S; \quad B_{22} = G_2 S; \\ C_{11} &= G_1 J; \quad C_{22} = G_2 J; \quad D_{13} = G_{13} H(x, y); \\ F &= F^R(r) \delta(r - r_0); \quad S = S^R(r) \delta(r - r_0); \quad J = J^R(r) \delta(r - r_0); \end{aligned}$$

$F^R(r)$, $S^R(r)$, $J^R(r)$ - соответственно, площадь поперечного сечения ребра, шириной, равной единице, и высотой h^R в сечении $r = const$, статический момент и момент инерции этого сечения относительно оси координат.

С учетом осесимметричности задачи уравнения движения оболочки записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} (N_1 r)' - N_2 &= r \rho \left[\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} (h + F) + \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} S \right]; \quad (rQ)' + [N_1 r(w' + r/R)] = r \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} (h + F) - rP; \\ (rM_1)' - M_2 - rQ &= r \rho \left[\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} (h^3/12 + J) + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} S \right], \quad (7) \end{aligned}$$

где ρ - плотность материала оболочки; h - толщина гладкой оболочки.

Граничными условиями для рассматриваемой задачи будут:

а) условия жесткого защемления на краях оболочки:

$$u = w = \psi = 0; \quad (8)$$

б) условия симметрии в центре оболочки:

$$u = \frac{\partial w}{\partial r} = \psi = 0 \quad \text{при} \quad r = 0; \quad (9)$$

Начальные условия, характеризующие состояние оболочки при $t = 0$, считаются нулевыми:

$$u = w = 0 . \quad (10)$$

Таким образом, полная математическая постановка задачи о динамическом деформировании ребристой оболочки заключается в совместном решении систем уравнений (1)-(7) при заданных граничных- (8), (9) и начальных- (10) условиях.

Рассчитано напряженно-деформированное состояние жестко защемленной ребристой сферической оболочки под равномерно распределенной нагрузкой $P = P_0 e^{-t/\alpha}$, где $P_0 = 2,5 \text{ МПа}$, $\alpha = 10^{-3} \text{ с}$.

Геометрические и упругие характеристики оболочки следующие: $R=2 \text{ м}$; $R_0 = 0,5 \text{ м}$; $h=0,01 \text{ м}$; $E=75600 \text{ МПа}$; $\nu = 0,3$; $\rho = 2640 \text{ кг / м}^3$; ребро кольцевое с высотой $h^R = 0,04 \text{ м}$ и $\xi = 0,0333 \text{ м}$. Рассчитаны случаи расположения ребра с координатой $r = 0,10 \text{ м}$ (близко к полюсу) и $r = 0,40 \text{ м}$ (близко к краю). С целью оценки влияния ребра на характер деформирования оболочки на рис.1 произведено сравнение кривых прогибов со случаем неподкрепленной оболочки (обшивки).

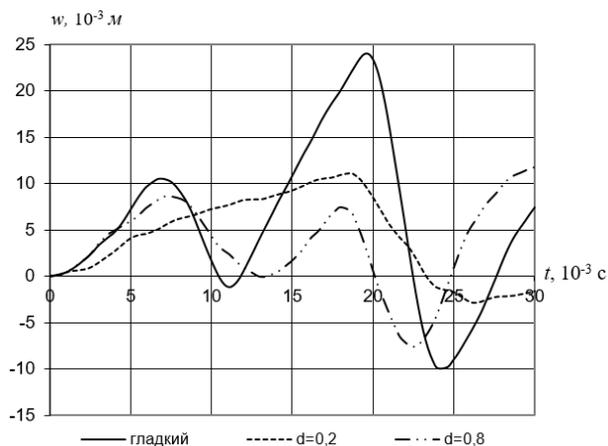


Рис.1. Прогибы в центральной точке неподкрепленной и подкрепленной оболочки с ребром, расположенным в точке $r = 0,1 \text{ м}$ ($d=0,2$), и $r = 0,4 \text{ м}$ ($d=0,8$)

Видно, что ребро существенно изменяет характер деформирования по сравнению с неподкрепленной оболочкой. В случае расположения ребра вблизи полюса период и максимальная амплитуда колебаний увеличиваются, а частота уменьшается почти в два раза. Ребро, расположенное вблизи края, приводит к уменьшению максимальной амплитуды колебаний. Полученные результаты показывают, что ребро, расположенное вблизи полюса приводит к существенному уменьшению изгибных деформаций в полюсной части оболочки.

Расположение ребра ближе к краю также приводит к перераспределению прогибов по радиусу по сравнению со случаем неподкрепленной оболочки. Обобщая вышесказанные, можно утверждать, что ребро, расположенное вблизи полюса уменьшает максимальные значения амплитуды, и частоты колебаний полюсной точки, а также изгибных деформаций в центральной части оболочки.

В параграфе 2.3 рассмотрена обобщенная задача о нелинейной деформации пологого сферической оболочки на случай подкрепления его дискретным числом кольцевых ребер жесткости. Ребра имеют одинаковое четырехугольное поперечное сечение и прикреплены к внутренней поверхности оболочки. На внешнюю поверхность оболочки действует импульсная нагрузка P ,

изменяющаяся во времени по экспоненциальному закону. Исследовано влияние изменения геометрических характеристик (ширины и толщины) и количества ребер на напряженно-деформированное состояние рассматриваемой оболочки.

В третьей главе диссертации, названной «**Нелинейное деформирование дискретно-ребренных круглых пластин, под действием динамических нагрузок**» исследовано нелинейное деформирование круглых ребристых пластин, под действием динамических нагрузок. Произведены расчеты напряженно-деформированного состояния круглой, ребренной по кругу пластинки при действии импульсной, мгновенно и постепенно нарастающей динамических нагрузках с учетом геометрической нелинейности между перемещением и деформацией. Конструкция состоит из обшивки и подкрепленных ребер, материалы которых одинаковы и подчиняются закону Гука.

Параграф 3.1 посвящен нелинейным колебаниям локально-ребренной круглой пластинки под действием импульсной нагрузки и численному исследованию напряженно-деформированного состояния круглой пластинки, подкрепленная кольцевым ребром жесткости и заземленная по краям и с учетом нелинейного ее деформирования. Ребро имеет постоянное четырехугольное поперечное сечение и прикреплено к внутренней поверхности пластинки. На внешнюю поверхность пластинки действует импульсная нагрузка P , изменяющаяся во времени по экспоненциальному закону.

Рассчитаны перемещения и усилия в сечениях как неподкрепленной, так и ребристой пластины в случаях расположения ребра по окружностям с радиусами $r_0 = 0,1; 0,25; 0,4 \text{ м}$. На рис.2 представлены зависимости прогиба центральной точки w для неподкрепленной и подкрепленной пластинки ребрами жесткости, в точках $r_0 = 0,1; 0,25; 0,4 \text{ м}$.

С целью оценки влияния ребра на характер деформирования пластинки по времени произведено сравнение кривых прогибов подкреплённой пластинки со случаем неподкрепленной обшивки.

Из графиков следуют, что наибольшее значение перемещения достигается в случае неподкрепленной пластинки при $t = 12,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ($w = 56,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}$); для подкрепленной пластинки в точках $r_0 = 0,1 \text{ м}$ при $t = 14,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ($w = 43,54 \cdot 10^{-3} \text{ м}$); $r_0 = 0,25 \text{ м}$ при $t = 14,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ($w = 36,51 \cdot 10^{-3} \text{ м}$); $r_0 = 0,4 \text{ м}$ при $t = 12,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ ($w = 48,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}$). Видно, что наибольший прогиб имеет неподкрепленная пластинка.

Наименьший прогиб достигается при расположении ребра на середине расстояния от центра до края пластинки.

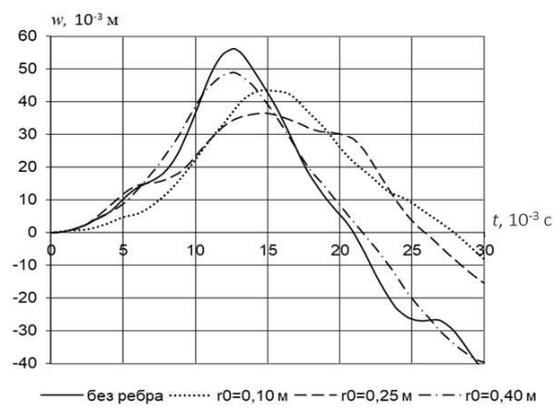


Рис.2 Прогибы центральной точки неподкрепленной и подкрепленной пластинок в случаях расположения ребра в точках $r_0 = 0,1; 0,25; 0,4 \text{ м}$

В параграфе 3.2 исследовано влияние числа и мест расположения ребер на напряженно-деформированное состояние круглой пластинки, подкрепленной дискретным числом ребер жесткости и защемленная по краю при нелинейном деформировании под действием импульсной силы. Для описания напряженно-деформированного состояния пластинки используется нелинейная теория колебания пластинок типа С.П.Тимошенко. Рассмотрены несколько вариантов изменения количества ребер и их геометрических характеристик.

Установлено, что увеличение количества ребер и изменения их геометрических характеристик существенно сказываются, на напряженно-деформированное состояние пластинки и приводят к существенному изменению его параметров - снижению прогибов и увеличению усилий, моментов. Во всех вариантах форма колебания прогиба близки друг к другу и имеют синусоидальную форму. Сделан вывод о том, что подкрепляя ребрами пластинки и варьируя их места расположениями и другими геометрическими характеристиками, при заданных параметрах толщины и жесткости пластины можно уменьшить её вес.

Параграф 3.3 посвящен расчету дискретно-ребренной пластинки на действие кратковременных мгновенно и постепенно нарастающих во времени нагрузок следующего вида:

- нагрузка с мгновенным нарастанием

$$f(t) = \begin{cases} 1 - t / \theta & npi \quad 0 \leq t \leq \theta, \\ 0 & npi \quad t > \theta \end{cases}$$

- нагрузка с постепенным нарастанием:

$$f(t) = \begin{cases} t / \theta_1 & npi \quad 0 < t \leq \theta_1, \\ 1 - (t - \theta_1) / \theta_2 & npi \quad \theta_1 < t \leq \theta_1 + \theta_2 = \theta, \\ 0 & npi \quad t > \theta \end{cases}$$

где $f(t)$ - функция, характеризующая изменение динамической нагрузки во времени, θ - время действия нагрузки, θ_1 - время нарастания и θ_2 - время убывания постепенно нарастающей нагрузки.

Приведены результаты расчетов изменения прогиба центральной точки по времени подкрепленной и неподкрепленной пластинок для различных случаев действия внешней нагрузки и в зависимости от количество подкрепляющих ребер.

Аналогичная, но сильно сглаженная картина зависимости прогиба наблюдается и при подкреплении пластинки четырьмя ребрами. При этом достигается снижение значения прогиба соответственно до 50%, 84% и 48% в случаях действия мгновенно нарастающей, экспоненциальной и постепенно нарастающей нагрузок. Кроме того, заметно увеличение времени достижения максимального значения прогиба при действии всех трех видов внешних нагрузок.

Подкрепление пластинки ребрами жесткости при действии мгновенно нарастающей нагрузки амплитудой 2,5 МПа позволяет существенно умень-

шить прогибы центральной точки при подкреплении: а) одним ребром на $\approx 30\%$, б) двумя ребрами на $\approx 40\%$, в) четырьмя ребрами на $\approx 53\%$.

Подкрепление пластинки ребрами жесткости при действии постепенно нарастающей нагрузки амплитудой 2,5 МПа также снижает прогибы центральной точки при подкреплении: а) одним ребром на $\approx 20\%$, б) двумя ребрами на $\approx 30\%$, в) четырьмя ребрами на $\approx 50\%$.

В четвертой главе диссертации, названной «**Динамическое упругопластическое деформирование ребристых круглых пластин и сферических оболочек**» посвящена исследованию динамического поведения ребристых сферических оболочек и круглых пластин с учетом упругопластических деформаций на основе геометрически нелинейной теории.

Параграф 4.1 посвящен изложению основных соотношений и уравнений нелинейных уравнений теории оболочек и пластин с учетом пластических деформаций. Приведены нелинейные зависимости деформаций от перемещений в виде (2). Для описания динамического деформирования за пределом упругости используется теория пластического течения. Ориентируясь на шаговый метод решения задач, время нагружения разбивается на L малых, занумерованных в порядке возрастания шагов. Приращение пластической деформации на k -ом шаге обозначается как

$$\Delta_k \varepsilon_a^p (k = 1, 2, \dots, L; \alpha = x, y, xy, xz, yz.)$$

Рассматриваются шаг нагружений равный L . Полная деформация ε_a представляется как сумма упругой и пластической составляющих

$$\varepsilon_a = \varepsilon_a^y + \sum_{k=1}^L \Delta_k \varepsilon_a^p.$$

На L -м шаге связь между напряжениями, действующими в точках обшивки, и деформациями записаны с учетом пластических деформаций, например

$$\sigma_x^o = \frac{E}{1 - \mu^2} \left[\varepsilon_x^z + \mu \varepsilon_y^z - \sum_{k=1}^L (\Delta_k \varepsilon_x^p + \mu \Delta_k \varepsilon_y^p) \right]; \quad \sigma_{xy}^o = \frac{E}{2(1 + \mu)} \left(\varepsilon_{xy}^z - \sum_{k=1}^L \Delta_k \varepsilon_{xy}^p \right);$$

Кроме того, приведены формулы для всех усилий, моментов и перерезывающих сил для оболочки и для ребер. Учет влияния ребер осуществляется, рассматривая ребристую конструкцию как оболочку или пластины ступенчато-переменной толщины.

В параграфе 4.2 предложена математическая модель и схема численного расчёта упругопластического деформирования ребристых пластин при импульсном нагружении. Полученные результаты представлены в графиках прогиба центральной точки подкрепленной четырьмя ребрами оболочки и неподкрепленной оболочки при амплитуде внешней нагрузки равной 2,5 МПа. Для неподкрепленной пластинки учет пластической деформации приводит к повышению значений прогиба до 32% в момент достигается максимума на графике. При подкреплении пластинки 4-мя ребрами графики прогибов в упругом и упругопластическом случаях сливаются. Это показывает,

что при внешних нагрузках с небольшими амплитудами, для расчета подкрепленных четырьмя ребрами пластинки можно пренебречь пластической деформацией. При внешней нагрузке с амплитудой 5 МПа и выше пренебречь влиянием пластической деформации на расчеты прогиба нельзя. Как показывают результаты, чем больше амплитуда внешней нагрузки, тем больше значения прогиба, полученного по упругопластической модели по сравнению с упругой моделью.

В параграфе 4.3 решена задача об упругопластическом деформировании сферической оболочки под действием импульсной нагрузки. Полученные результаты представлены в графиках прогиба центральной точки подкрепленной четырьмя ребрами оболочки и неподкрепленной оболочки при амплитуде внешней нагрузки равной 2,5 МПа. Для неподкрепленной оболочки учет пластической деформации приводит к повышению значений прогиба до 200% в момент достигается максимума на графике. При подкреплении оболочки 4-мя ребрами графики прогибов в упругом и упругопластическом случаях почти сливаются. При внешней нагрузке с амплитудой 5 МПа и выше пренебречь влиянием пластической деформации на расчеты прогиба нельзя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Решением задачи динамического расчета ребристых оболочек и пластин, на действие внешних импульсных, мгновенно и постепенно нарастающих динамических нагрузок с учетом влияния взаимодействующей системы ребер, разработан алгоритм и модель численного расчета напряженно-деформированного состояния системы;

2. Решением задачи о деформации локально-ребренной сферической оболочки с учетом геометрической нелинейности показано, что ребро существенно изменяет характер деформирования по сравнению с неподкрепленной оболочкой. В случае расположения ребра вблизи полюса период и максимальная амплитуда колебаний увеличиваются, а частота уменьшается почти в два раза. Ребро, расположенное вблизи края, приводит к уменьшению максимальной амплитуды колебаний;

3. Решение задачи о нелинейной деформации дискретно ребренной сферической оболочки при действии различных динамических нагрузок позволяет обосновать увеличение жесткости оболочки, за счет увеличения толщины подкрепляющих ребер при постоянном значении их поперечного сечения, а также не существенное влияние разрывов напряжений в местах расположения ребер на деформированное состояние оболочки.

4. Результаты численного решения прикладных задач о напряженно-деформированном состоянии ребристых сферических оболочек и круглых пластин с учетом числа и оптимального размещения ребер по отношению к неподкрепленным конструкциям позволили сэкономить расход материалов до 15% и увеличить несущую способность конструкции на 12-15%.

5. Результаты решения задачи о нелинейных колебаниях локально-ребренной круглой пластинки под действием импульсной нагрузки показали скачкообразное изменение продольных усилий в точках расположения ребра и малых их окрестностях, и позволили оценить плавное изменение и стремление к нулю продольного усилия в неподкрепленной пластинке.

6. Численное решение уравнения колебания круглой ребристой пластинки с учетом упруго-пластических свойств материала, определение наиболее опасных для практики значений изгибающих моментов и перерезывающих сил в сечениях пластинки, подкрепленной одной или двумя кольцевыми ребрами, а также установление ребер с учетом результатов расчетов, послужило снижению значений указанных силовых факторов от 40% до 60% и облегчению веса конструкции на 15-20%;

7. Разработанные в диссертации аналитико-численные методы позволяют решать родственные прикладные задачи расчета ребристых элементов конструкций, применяемых в строительстве гражданских и промышленных объектов и в технике, а также задачи расчета четырехугольных пластин и оболочек с нарушениями регулярности структуры.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
SCIENCES DSc30.08.2018.FM/T.02.09 UNDER
SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

NISHONOV UTKIR ANJIBOYEVICH

**NONLINEAR DEFORMATION OF RIBBED PLATS AND SPHERICAL
SHELLS**

01.02.04 – Solid Mechanics

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Samarkand – 2019

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number №B2018.1.PhD/FM167

The dissertation has been prepared at Samarkand State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.samdu.uz and on the website of "ZiyoNet" Information and educational portal www.ziyo.net.

Scientific adviser: **Khalmuradov Rustam Ibragimovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Abdikarimov Rustamxan Alimxanovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Docent

Mamasoliev Kozokbay
Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Docent

Leading organization: **Samarkand branch of the Tashkent University of Information Technology**

The defense will take place «__» _____ 2019 at ____ at the meeting of scientific council DSc30.08.2018.FM/T.02.09 at Samarkand State University (Address: 140104, Samarkand, University street, 15, Tel.: (8366) 2351938. Fax: (8366) 2351938. E-mail: sasu_info@edu.uz).

The thesis is available in the Information and Resource Center of Samarkand State University (registration number ____). (Address: 140104, Samarkand, University street, 15, Tel.: (8366) 2351938. Fax: (8366) 2351938).

Abstract of dissertation sent out on «__» _____ 2019 y.
(mailing report №__ on «__» _____ 2019 y.).

A.B.Axmedov
Deputy Chairman of scientific council for
awarding degree, Doctor of Physics
and Mathematics Sciences, Docent

A.Abdirashidov
Scientific secretary of scientific council for
awarding degree, Doctor of Physics
and Mathematics Sciences, Docent

Kh.Kh.Khudaynazarov
Chairman of scientific council seminar at the
scientific council for the awarding academic
degree, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is improvement of model of nonlinear deformation of ribbed circular plates and spherical shells which are under the influence of various dynamic loadings and development of technique and algorithms of the numerical solution of the nonlinear vibration equations.

The object of research are circular plates and spherical shells, supported by discrete number of annular stiffening ribs.

Scientific novelty of the research is as follows:

The method and algorithm of definition of dynamic reaction of interacting reinforced elements in the form of ribs of constant cross-section on nonstationary vibrations and on the stress-strain state of plates and shells are developed;

technique has been developed for the numerical solution of the vibration equations of the ribbed circular plate and spherical shell in the case of taking into account the geometric nonlinearity between components and displacement;

the software of the numerical solution of the vibration equations of a ribbed circular plate on an account case elastoplastic properties of its materials is developed;

created new algorithm of calculating round plates and spherical shells has been improved, taking into account the effects of reinforcing ribs, their locations and discreteness of the number under external dynamic, in particular, pulsed, explosive and other loads acting on the outer surface of the plate or shell that is no in contact with the ribs;

numerical solutions of some problems about the is stressed-strain state dynamic deformation of ribbed circular plates and spherical shells are given under influence of exterior nonstationary pulse, instantly increasing and other loadings.

Implementation of the research results.

On base of on calculations of nonlinear deformation of ribbed plates and shells under various dynamic loads by developed numerical methods and algorithms, as well as the results of the created programs:

the technique of definition of a dynamic response of interacting reinforcing elements in the form of ribs of constant cross-section on nonstationary vibrations and on is stressed-strain state of plates and shells was introduced at “Menzula Tasvir Servic” LLC on the process of determining the stress-strain state of gentle spherical shells, supported by stiffeners (reference Ministry of Construction of the Republic of Uzbekistan № 1186 / 30-01 of June 8, 2018). As a result of the research and assessment was made of the deformed state of a spherical dome, supported by stiffeners with the definition of its possible deflections, which ultimately led to material savings of up to 15%;

the technique method of numerical solution of problem about of dynamical deformation of ribbed spherical shells under influence of external pulse loading was introduced in “Menzula Tasvir Service” LLC and used to verify compliance with the strength conditions of the material element of the roof structure of the building (reference Ministry of Construction of the Republic of Uzbekistan No. 1186 / 30-01 dated June 8, 2018). In result served increase the bearing capacity of

the structure by 10-12%, by reinforcing certain zones of stress concentration with stiffeners;

software for numerical solution of vibration equations circular ribbed plates was introduced into, taking into LLC “Sarmoya Quruvchi Servic” (reference of the Ministry of Construction of the Republic of Uzbekistan No. 1186/30-01 of June 8, 2018). for practice values of bending moments and shear forces in sections of circular plates supported by one and two concentric stiffening ribs. In result, the establishment of ribs made it possible to reduce the values of the indicated power factors from 40% to 60% and to eased the weight of the structure by 15-20%;

computation algorithm for circular plate under influence of pulse loading on no contacting, surface with ribs was introduced at “Sarmoya Quruvchi Servic” LLC (reference 1186 / 30-01 dated June 8, 2018). Thus determined the stress values, which allowed the material to be tested for compliance with the strength conditions. As a result of installing the ribs at the points of $2/5$ and $3/5$ of the plate radius, material savings material and labor costs up to 30% were achieved as well as the optimal location of the ribs increased the load-carrying of the ribbed plate by 12 -15%.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Бердиев Ш. Д., Нишонов У.А., Яхшиликков Б. Математическая модель и схема численного расчета упругопластического деформирования ребристых пластин при импульсном нагружении//Меъморчилик ва курилиш муаммолари илмий-техник журнали. - 2015. - №2. - 91-94 б. (05.00.00; № 14.).
2. Kalmuradov R.I., Khudoynazarov Kh., Nishonov U. Nonlinear vibrations ribbed circular plate under influence of pulse loading//International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 5, Issue 3, Mar 2018. P. 5289-5296. (05.00.00; № 8.).
3. Халмурадов Р.И., Нишонов У.А. Колебания пластин, подкрепленных ребрами жесткости//Механика муаммолари Ўзбекистон журнали. - 2018. - №2. - 29-37 б. (01.00.00, №4).
4. Каршиев А. Б., Нишонов У.А. Численное исследование влияния изменения геометрических размеров и места расположения ребер на напряженно-деформированное состояние оболочки при импульсном нагружении// Механика муаммолари Ўзбекистон журнали. - 2005. - №5-6. - 42-46 б.
5. Каршиев А.Б., Нишонов У.А. Упругое деформирование ребристой сферической оболочки под действием импульсной нагрузки//СамДУ «Илмий тадқиқотлар ахборотномаси» журнали. - 2005. - №5. - 39-42 б.
6. Халмурадов Р. И., Каршиев А. Б., Нишонов У.А. Исследование моделей ребристой пластины подверженной импульсному нагружению // Ўзбекистон Республикаси жанубий минтақасида ишлаб чиқаришни механика фани ютуқлари ва таълим билан ўзаро интеграциялашувнинг ҳолати ва истиқболлари. Республика илмий–амалий конференцияси мақолалар тўплами. 2-3 май 2003. – Қарши, №2. 15-16 б.
7. Халмурадов Р. И., Нишонов У.А. Напряженно-деформированное состояние ребренной пологой сферической оболочки//Механика муаммолари ва иншоотлар сейсמודинамикаси: Халқаро конференция материаллари, 27-28 май 2004. – Тошкент, 2004. - С.313-315.
8. Нишонов У.А. Влияния изменения геометрических характеристик ребер на динамическое напряженно-деформированное состояние пологой сферической оболочки//Замонавий илм-фан ва технологиялардан энг муҳим муоммолари. Республика илмий–амалий конференцияси мақолалар тўплами, 14-15 май 2004. - Жиззах, 2004. - С.46-48.
9. Каршиев А. Б., Нишонов У.А. Численное исследование деформированного состояния ребренного сферического купола при импульсном нагружении// Машиналар механикасининг ҳозирги замон муаммолари. Ер усти транспорт тизимини ривожлантиришнинг долзарб муаммолари. Хорижлик олимлар иштирокидаги Республика илмий-техник конференциялари маърузалар тўплами, 7-8 октябрь 2004. – Тошкент, 2004. - 272-274 б.

10. Каршиев А. Б., Нишонов У.А. Расчёт ребренного сферического купола с учетом дискретности расположения ребер//Вычислительная механика деформируемого твердого тела: Труды Международной научно-технической конференции с 31 января по 2 февраля 2006. - Москва, 2006. - С.214-216.
11. Каршиев А. Б., Нишонов У.А. Расчёт ребренной круглой пластинки с учетом мест расположения ребер//Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию академик Т.Ш. Ширинкулова. 28-29 июня 2007 года. – Самарканд, 2007. - С. 156-160.
12. Khudoynazarov Kh.Kh., Karshiev A.B., Nishonov U.A. Nonlinear modelling elastic deformation of ribbed plate//Samarkand State University and Malaysian Mathematical Sciences Society Joint Mathematics Meeting, 2011, Sciences. 2-3 jūn, 2011. - Samarkand, 2011. – P. - 152-154.
13. Нишонов У.А., Исмоилов Х.Ф. Эластик-пластик доиравий пластинканинг унга махкамланган халқалар жойлашишдан боғлиқ кучланган деформацияланган холати//Ўзбекистонда озиқ-овқат дастурини амалга оширишда қишлоқ хўжалик фани ютуқлари ва истиқболлари: Республика илмий-амалий конференцияси материаллари, 20-21 ноябрь 2015. - Самарқанд, 2015. - 86-89 бетлар
14. Халмуратов Р.И., Худойназаров Х.Х., Нишонов У.А. Нелинейная деформация дискретно ребренной круглой пластинки под действием кратковременной нагрузки//“Деформацияланувчан қаттиқ жисмлар механикаси” мавзусидаги республика илмий-амалий анжуман материаллар тўплами. – Тошкент, 2018 й. 25 октябр. 29-37 б.

Автореферат Самарқанд давлат университетининг
“СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси” журнали тахририятида
тахрирдан ўтказилди (06.03.2019 йил).

Гувоҳнома №10-3512

07.03.2019 йилда босишга рухсат этилди.
Шартли босма табағи 2,2. Қоғоз бичими 60x84_{1/16}.
“Times” гарнитураси. Адади 100 нусха. Буюртма №07/03.

СамДЧИ нашр-матбаа маркази босмахонасида чоп этилди.
Манзил: 140104, Самарқанд ш., Бўстонсарой кўчаси, 93