ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ АХБОРОТ-КОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИЛМИЙ-ИННОВАЦИОН МАРКАЗИ

АНАРОВА ШАҲЗОДА АМАНБАЕВНА

МУРАККАБ КОНФИГУРАЦИЯЛИ СТЕРЖЕНЛАРНИНГ ФАЗОВИЙ ЮКЛАНИШ МАСАЛАЛАРИНИНГ ЧИЗИҚЛИ ВА ГЕОМЕТРИК НОЧИЗИҚЛИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАРИ ВА ЕЧИШ АЛГОРИТМЛАРИ

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2018

УДК 539.3

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the abstract Doctoral (DSc) Dissertation

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ АХБОРОТ-КОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИЛМИЙ-ИННОВАЦИОН МАРКАЗИ

АНАРОВА ШАХЗОДА АМАНБАЕВНА

МУРАККАБ КОНФИГУРАЦИЯЛИ СТЕРЖЕНЛАРНИНГ ФАЗОВИЙ ЮКЛАНИШ МАСАЛАЛАРИНИНГ ЧИЗИҚЛИ ВА ГЕОМЕТРИК НОЧИЗИҚЛИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАРИ ВА ЕЧИШ АЛГОРИТМЛАРИ

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2018

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.1.DSc/T123 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион марказида бажарилган.

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

Илмий маслахатчи:	**Юлдашев Таджимат** техника фанлари доктори
Расмий оппонентлар:	**Усманов Ришат Ниязбекович** техника фанлари доктори, профессор
	Хужаев Исматулла Кушаевич техника фанлари доктори
	Нормуродов Чори Бегалиевич физика-математика фанлари доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	**Тошкент темир йўл муҳандислари институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «12» июль соат 9⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (100 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2018 йил «28» июнь куни тарқатилди.
(2018 йил «26» июнь даги 8 рақамли реестр баённомаси.)

Р.Х.Хамдамов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Ф.М.Нуралиев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д.

Н.Равшанов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда иншоот ва конструкциялар элементларининг фазовий юкланишлардаги чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалалари ечишни математик моделлаштириш ва автоматлаштирилган тизимини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу жиҳатдан, стержень типидаги конструкцияларни кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатларини баҳолашнинг автоматлаштирилган тизимларини яратиш, фазовий юкланишлардаги стерженларнинг деформацион жараёнларини замонавий ахборот технологиялари асосида ўрганиб, уларни такомиллаштириш асосий вазифалардан бўлиб қолмоқда. Дунёнинг ривожланган мамлакатлари, жумладан, АҚШ, Франция, Канада, Япония, Хитой, БАА, Эрон, Россия Федерацияси, Украина, Қозоғистон ва бошқа мамлакатларда стержень типидаги конструкцион материалларнинг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва дастурий таъминотини яратиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда фазовий юкланишлардаги стерженларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ҳал этишнинг математик моделларини қуриш, ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқиш, стерженлардаги деформацион жараёнларни баҳолаш учун автоматлаштирилган тизимларни яратишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан, фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чўзилиш (қисилиш)даги, эгилган буралишдаги, бўйлама эгилишдаги ва бўйлама буралишдаги деформацион жараёнларини баҳолаш, кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини аниқлашнинг математик моделларини қуриш, ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқиш ва автоматлаштирилган воситаларини яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Шу билан бирга мураккаб конфигурацияли фазовий юкланган стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларни ечишнинг математик моделларини ва алгоритмларини ишлаб чиқишни илмий асослаш зарур ҳисобланади.

Республикамизда стрежень типидаги конструкцияларни лойиҳалаш ва ҳисоблаш жараёнларини математик моделлаштириш, замонавий компьютер технологияларидан фойдаланиб, конструкцияларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолаш ҳамда технологик тизимларини ишлаб чиқиш ва автоматлаштирилган дастурий таъминотларни яратиш бўйича кенг қамровли ишлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... иқтисодиёт, ижтимоий соҳага, бошқариш тизимига информацион-коммуникацион технологияларни жорий этиш, ... муҳандислик-коммуникация ва ижтимоий инфратузилмани ривожлантириш ҳамда модернизация қилиш»[1] вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни

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

амалга оширишда лойихалаш жараёнига замонавий ахборот технологиялари асосида фазовий юкланган стерженларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатининг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалалари ечиш учун умумлашган математик моделлар, хисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва автоматлаштирилган тизимлар яратиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ва 2018 йил 19 февралдаги ПФ-5349-сон «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлар тўғрисида»ги Фармонлари, 2013 йил 27 июндаги ПҚ-1989-сон «Ўзбекистон республикаси Миллий ахборот-коммуникация тизимини янада ривожлантириш тўғрисида»ги Қарори хамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларга мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш, ва ахборот-коммуникация технологияларни ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи[2]. Қурилиш ва машинасозликдаги стерженсимон конструкцияларнинг элементларини фазовий юкланишлардаги масалаларини ечиш учун математик моделлари ва алгоритмик-дастурий воситаларини ишлаб чиқаришга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассалари, жумладан, Program Development Company (АҚШ), Institut National des Sciences Appliquees de Lyon (Франция), Университет Сайтамы (Япония), Mechanical National University of Technology (Аргентина), Mechanical University of Technology, Mechanical Engineering Department, Petroleum Institute Abu Dhabi (Бирлашган Араб Амирлиги), Amirkabir University of Technology, Sharif University of Technology (Эрон), Миллий транспорт институти (Украина), Northeast Petroleum University, Daqing drilling engineering institute of technology, School of Petroleum Engineering, University of Petroleum, Petroleum Engineering, Institute of Yanshan University (Хитой), Россия Фанлар академиясининг машинасозлик муаммолари институти, И.М.Губкин номидаги Россия Давлат нефть ва газ университети (Россия федерацияси), Қозоғистон миллий университети

[2] Диссертация мавзуси бўйича илмий тадқиқотлар шарҳи www.iiergs.org, www.jocpr.com, www.elsevier.com/locate/nlm, http://scholarsmine.mst.edu/masters_theses, www.iust.ac.ir, journal homepage: www.elsevier.com/locate/compstruct, www.elsevier.com/locate/isvi, http://fibb-utn.academia.edu, https://www.researchgate.net, https://ar.linkedin.com ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

(Қозоғистон), Тошкент ахборот технологиялари университети (Ўзбекистон)да илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацияланиш жараёнларини математик моделлаштириш ва ҳисоблашнинг автоматлаштирилган тизимларини такомиллаштириш ҳамда яратиш муаммоларига оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: айланма балкаларнинг динамик функционал хусусиятлари модели такомиллаштирилган (Mechanical National University of Technology, Аргентина), Тимошенконинг композит балкалари айланма эркин тебранишларининг чизиқсиз масалалари ишлаб чиқилган, ўзгартирилган жуфт кучланишлар назарияси асосида С.П.Тимошенко балкасининг чизиқсиз масалалари ишлаб чиқилган (Amirkabir University of Technology ва Sharif University of Technology, Эрон), бурғулаш колоннасининг динамик ҳаракати ўрганилиб, экспериментал ускуналари такомиллаштирилган ва ишлаб чиқилган (Institut National des Sciences Appliquees de Lyon, Франция), С.П.Тимошенко эгилган балкасида чизиқсиз стационар тўлқинлар учун моделлар яратилган, А.П.Филиповнинг стерженлар тизимида эластиклик деформациялар назариясига асосан стерженларда эгувчи-буровчи, бўйлама-эгилувчи ва бўйлама буровчи тўлқинлар ҳаракатининг моделлари ишлаб чиқилган (Россия Фанлар академиясининг Машинасозлик муаммолари институти, Россия федерацияси).

Дунёда қурилиш, самолётсозлик, ракетасозлик, кемасозлик, машинасозлик ва нефть қазиб олиш соҳаларидаги стерженсимон конструкцияларнинг элементларини фазовий юкланишлардаги деформация жараёнлари масалаларини ечиш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: С.П.Тимошенко балкаларидаги деформацион жараёнларни чизиқли ва чизиқсиз математик моделлари ва ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш, такомиллаштириш ва дастурий таъминотини яратиш; стерженсимон конструкцияларнинг элементларини кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатининг геометрик ва физик чизиқсиз деформацион жараёнларини моделлаштириш, стерженларнинг интенсив эгилган буралишдаги, бўйлама эгилишдаги ва бўйлама буралишдаги тебранишларини тўғри чизиқли тарқалишини тўлиқ тадқиқ қилиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Чизиқсиз эластиклик назарияси доирасида уч ўлчовли деформацияланувчи муҳитларнинг деформацияланиш муаммоларига қатор монографиялар ва журналлар мақолалари бағишланган. Чизиқсиз эластиклик назариясининг ривожланишида бир қатор олимлар: В.А.Еремеев, Н.В.Зволинский, Л.М.Зубов, М.И.Карякин, В.А.Левин, А.И.Лурье, Н.Ф.Морозов, В.В.Новожилов, С.Антман, А.Грин, Р.Ривлин, К.Трусделл, Ерофеев, Л.Хаджиева, К.Ф.Черных, С.Антман, H.Arvin, M.Asghari, А.Грин, A.Mamandi, M.T.Piovan, Р.Ривлин, К.Трусделл, J.W.Hijmissen ва бошқалар илмий тадқиқотлар олиб борганлар ҳамда катта ҳисса қўшганлар.

Республикамизда стержень типидаги конструкцияларни назарий асосларини такомиллаштириш ва ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш бўйича бир қатор олимлар илмий тадқиқот ишларини олиб боришган, жумладан академик В.Қ.Қобулов томонидан конструкция элементларининг чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацияланиш жараёнларини аниқлаштирилган назарияси ишлаб чиқилган ва амалий масалаларни ечишга алгоритмик ёндашувлар таклиф этилган. Ўзбекистонда туташ муҳитлар механикаси масалаларини алгоритмлаш ва автоматлаштириш учун алгоритмик тизимлар яратиш дастлаб академик В.Қ.Қобулов томонидан таклиф этилган ҳамда алгоритмлаш назарияси ишлаб чиқилган, академик Т.Бўриев, К.Ш.Бобомуродов, Ф.Б.Бадалов, Б.Курманбаев, Т.Юлдашев, Ш.А.Назиров, Х.Эшматов, Б.Мардонов ва уларнинг шогирдлари томонидан ривожлантирилган.

Соҳага оид тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, фазовий юкланишлардаги мураккаб конфигурацияли стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацияланиш жараёнларини математик моделлаштириш ва ҳисоблашнинг автоматлаштирилган тизимларини яратиш муаммолари ҳозирги кунда етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий тадқиқот муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент ахборот технологиялари ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион марказининг илмий тадқиқот ишлари режасининг Ф4-ФА-Ф005- «Мураккаб конфигурациялар учун математик физика кўп ўлчамли ночизиқли масалалар синфлари ечимлар алгоритмик усулларини ишлаб чиқиш ва тадқиқот қилиш» (2012-2016), БВ-М-Ф4-004- «Бошқариш тизимлари назариясида алгоритмлаш принципларини ишлаб чиқиш» (2017-2020), БА-А5-014- «Мураккаб фрактал тузилишларни R - функция ва арифметик хусусиятлар назариясига асосан аналитик баён этишнинг автоматлаштирилган технологиясини ишлаб чиқиш» (2017-2018) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида ўрганилган.

Тадқиқотнинг мақсади мураккаб конфигурацияли фазовий юкланишлардаги статик ва динамик чизиқли ва геометрик ночизиқли стерженларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати масалаларининг тадқиқоти учун математик модель, ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Остроградский-Гамильтон тамойили ва эластиклик деформацияси ҳамда Власов-Джанелидзе-Кабуловлар томонидан аниқлаштирилган назарияларга асосида бўйлама, кўндаланг, буровчи кучларнинг биргаликда таъсиридаги стерженлар нуқталарининг кўчишини статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз жараёнларининг математик моделларини ишлаб чиқиш;

R-функция (RFM) ва кетма-кет яқинлашиш усуллари ёрдамида мураккаб конфигурацияли кўндаланг кесими ихтиёрий призматик жисмларнинг турли шаклдаги коваклари билан кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини қисилган буралиш масалаларида ҳисоблашнинг сонли-аналитик алгоритмларини ишлаб чиқиш;

фазовий юкланган стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ечиш учун ҳисоблаш (сонли) алгоритмларини ишлаб чиқиш;

кўндаланг кесими ихтиёрий призматик жисмларни кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини R-функция (RFM) ва кетма-кет яқинлашиш усулларига асосан ҳисоблаш жараёнини автоматлаштирувчи мавжуд дастурий мажмуа тузилмасини такомиллаштириш;

стерженларнинг чегаравий масалаларини ечиш жараёнини автоматлаштириш ва ҳисоблаш экспериментини ўтказиш учун чекли айирмалар усули асосида стерженлар тебраниши жараёнини тадқиқи учун дастурий мажмуа тузилмасини яратиш.

Тадқиқотнинг объекти мураккаб конфигурацияли стерженларнинг фазовий юкланишлардаги статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацион жараёнлари олинган.

Тадқиқотнинг предметини мураккаб конфигурацияли фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацион ҳолатининг тадқиқ этиш учун математик моделлар, сонли-аналитик алгоритмлар, алгоритмик дастурий мажмуаларни ташкил қилади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида математик ва сонли моделлаштириш, тизимли таҳлил, назарий механика, вариацион ҳисоблаш математикаси, алгоритмлаштириш, тузилмали дастурлаш технологиялари ва ҳисоблаш экспериментларини ўтказиш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

эластиклик деформацияси ва Власов-Джанелидзе-Кабуловлар томонидан аниқлаштирилган назарияларга асосан фазовий юкланишлардаги стерженлар бўйлама, кўндаланг, буровчи кучларнинг биргаликда таъсиридаги тебранишларининг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз жараёнларини умумлашган математик модели Остроградский-Гамильтон вариацион тамойили ёрдамида ишлаб чиқилган;

фазовий юкланишлардаги стерженларнинг кўндаланг эгилишини, қисилган буралишини ҳисобга олган ҳолда статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацион жараёнларининг математик моделлари ишлаб чиқилган;

фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ечиш учун чекли айирмалар усули асосида ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

R-функция (RFM) ва кетма-кет яқинлашиш усулларидан биргаликда фойдаланиб турли шаклдаги коваклари билан кўндаланг кесими ихтиёрий призматик жисмларнинг қисилган буралиш масалаларини ечиш учун тақрибий-аналитик алгоритм ишлаб чиқилган;

R-функция (RFM) ва кетма-кет яқинлашиш усулларини биргаликда қўллаш орқали мураккаб конфигурацияли призматик жисмларнинг чизиқли масалаларини ечиш ва ҳисоблаш тажрибаларини бажариш учун дастурлар мажмуи тузилмаси такомиллаштирилган;

фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини чекли айирмалар усулида ечиш ва ҳисоблаш тажрибаларини бажариш учун дастурлар мажмуи тузилмаси яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

чекланган деформацияда стерженлар тебранишининг умумлашган чизиқли ва геометрик чизиқсиз моделлари ишлаб чиқилган;

R-функция (RFM) ва кетма-кет яқинлашиш усулларига асосан қисилган буралиш масалаларида кўндаланг кесими ихтиёрий призматик жисмларнинг турли шаклдаги коваклари билан ҳисоблашнинг тақрибий-аналитик алгоритми ишлаб чиқилган;

чекли айирмали усулига асосан фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ечиш учун сонли алгоритм ишлаб чиқилган;

ишлаб чиқилган математик моделларнинг сонли ва тақрибий-аналитик алгоритмлар ишончлилигини асослайдиган, стерженлар чегаравий масалаларини ечиш жараёнини автоматлаштиришга ва ҳисоблаш эксперименти ўтказиш имконини берувчи дастурий мажмуа яратилган.

Тадқиқот натижаларнинг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги масаланинг математик қўйилиши ва уни ечиш учун қўлланилган Остроградский-Гамильтон вариацион тамойилининг қатъийлиги, фазовий юкланган стерженлар масаласининг коррект қўйилиши, масалани ечишда R-функция (RFM), Бубнов-Галеркин ҳамда кетма-кет яқинлашиш усуллари, ҳамда чекли айирмали усулларидан фойдаланиш, ҳисоблаш алгоритмларининг яқинлашишини тадқиқ қилиш, шунингдек, аниқ аналитик ечим билан таҳлилий ечимни таққосий солиштириш орқали олинган натижаларнинг мувофиқлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти стерженларнинг фазовий юкланиш масалаларининг чизиқли ва геометрик чизиқсиз жараёнларининг умумлашган математик моделларини Остроградский-Гамильтон тамойили асосида ишлаб чиқиш, В.Рвачев R-функция (RFM), Бубнов-Галеркин ва кетма-кет яқинлашиш усулларини, ҳамда чекли айирмали усулларни биргаликда қўллаган ҳолда ҳисоблаш алгоритмларини яратиш, шунингдек кўндаланг кесими мураккаб конфигурацияли фазовий юкланган стерженларнинг деформацияланганлик-кучланганлик ҳолатига боғлиқ масалаларни ечиш жараёнларини автоматлаштириш имконини берувчи алгоритмик-дастурий воситаларни яратиш билан баҳоланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти фазовий юкланишлардаги мураккаб конфигурацияли стержен типидаги конструкциялар учун лойиҳа ҳисоб ишларини олиб боришда материал, иш кучи ва вақт сарфини камайтириш, бажарилган иш сифати ва меҳнат унумдорлигини ошириш, шунингдек, лойиҳа жараёнларини самарали ташкил этиш имкониятлари, мураккаб конфигурацияли фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларни ечишнинг математик моделларини ва алгоритмларини амалиётга татбиқи билан баҳоланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Мураккаб конфигурацияли стерженларнинг фазовий юкланишлардаги масалаларининг чизиқли ва геометрик чизиқсиз математик моделлари ва ечиш алгоритмлари, дастурий мажмуалар бўйича олинган натижалар асосида:

эластиклик деформацияси ва Власов-Джанелидзе-Кабуловлар томонидан аниқлаштирилган назариялар асосида фазовий юкланган стерженлар бўйлама, кўндаланг, буровчи тебранишлардаги нуқталарининг кўчишини чизиқли ва геометрик чизиқсиз жараёнларини умумлашган математик модели, ҳисоблаш алгоритми ва дастурлар мажмуи «Қашқадарё Пармалаш ишлари» акциядорлик компаниясига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 2 апрелдаги 33-8/2238-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида ишлаб чиқилган дастурий таъминот мураккаб шаклли стерженларнинг чидамлилик сифатини 10%га ошириш, автоматлаштирилган ҳисоблаш жараёнининг вақтини 4-5 мартага камайтириш имконини берган;

мураккаб конфигурацияли стерженларнинг фазовий юкланишлардаги масалаларининг чизиқли ва геометрик чизиқсиз математик моделлари ва ечиш алгоритмлари асосида яратилган «Мураккаб конфигурацияли эластик призматик жисмларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоб-китоб қилувчи автоматлашган тизим» номли дастурий таъминот «Uzbekneftgaz» Миллий Холдинг компанияси «Uztransgaz» Акциядорлик компанияси, «Transgazinjiniring» Унитар корхонасида Ер ости газни сақлаш «Газли» объектининг №841, №842 қудуқларини конструкцион-лойиҳалаш жараёнида қўлланилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 2 апрелдаги 33-8/2238-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида бурғулаш ускуналарининг стерженли тизимларини ишлаш жараёнини автоматлаштириш, мураккаб конфигурацияли стерженли тизимларни кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш орқали ишлаб чиқариш 15%га ошириш ва компьютерда ҳисоблаш ишларини самарадорлигини ошириш ҳисобидан ишчи кучини 5-7 мартага камайтириш имконини берган;

эластиклик деформацияси ва Власов-Джанелидзе-Кабуловлар томонидан аниқлаштирилган назариялар асосида фазовий юкланган стерженлар бўйлама, кўндаланг, буровчи тебранишлардаги нуқталарининг кўчишини чизиқли ва геометрик чизиқсиз жараёнларини математик моделлари ва ҳисоблаш алгоритмлари асосида яратилган «Эластик призматик жисмларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини буралиш масаларида хисоб-китоб қилиш» номли дастурий таъминот «Геология давлат қўмитаси»нинг «Геотехтаъминот» давлат корхонасида геологоразведка экспедицияларидаги бурғулаш колонналари ишларидаги маълумотларни кайта ишлаш жараёнини автоматлаштиришга имкон яратган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 2 апрелдаги 33-8/2238-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида экспериментларни ўтказиш тезлигини 5-6 мартага ошириш имконини берган;

мураккаб конфигурацияли стерженларнинг фазовий юкланишлардаги масалаларининг чизиқли ва геометрик чизиқсиз математик моделлари ва ечиш алгоритмлари «Нефть ва газ саноати Ўзбекистон илмий муҳандислик жамияти»га бурғулаш ускуналаридаги стерженли тизимларнинг ишлаш жараёнига ва стерженли конструкцияларни лойиҳалашга жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 2 апрелдаги 33-8/2238-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида мураккаб шаклли стерженларнинг чидамлилик сифатини 10%га ошириш, ҳисоблаш вақтини 5-6 мартага камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқотнинг назарий ва амалий натижалари 6 та халқаро ва 11 та республика илмий-амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича жами 38 та илмий иш чоп этилган бўлиб, жумладан 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, 10 таси республика ва 1 таси хорижий журналларда нашр қилинган, ҳамда 4 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувохномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 198 саҳифани ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯ ИШИНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссетация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, объекти ва предмети белгилаб берилган. Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларининг устувор йўналишларига мослиги аниқланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларининг амалиётга татбиқи рўйхати, ишнинг апробацияси, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизикли ва геометрик чизиқсиз масалаларининг математик моделлари»** деб номланган биринчи бобида стержен типидаги конструкция элементларининг чизикли ва геометрик чизиқсиз деформацияланиши жараёнларини математик моделлаштириш бўйича адабиёт манбалари шарҳи ва таҳлили келтирилган.

Бўйлама, кўндаланг ва буровчи кучларнинг биргаликдаги таъсирида фазовий юкланишлардаги стерженлар нуқталарининг кўчишини чизикли ҳамда чизиқсиз масалаларининг математик моделларини Остроградский-Гамильтон вариацион тамойили асосида ишлаб чиқилган. Моделларни ишлаб чиқаришда Коши геометрик муносабатлари, Гук қонуни ва тўғри чизикли координаталар тизими ишлатилади.

Остроградский-Гамильтон вариацион тамойили қуйидагича кўринишда ёзилади:

$$\delta\int_{t}(K-\Pi+A)dt=0. \tag{1}$$

Бу ерда K, П - кинетик энергия ва потенциал энергиялар ва A - ташқи кучлар бажарган иш.

Эластик деформация ва Власов-Джанелидзе-Қобуловларнинг аниқлаштирилган назариялар асосида бўйлама, кўндаланг ва буровчи кучларнинг биргаликдаги таъсирини ҳисобга олган ҳолда фазовий юкланишлардаги стержень нуқталарининг кўчишини қуйидаги тенгликлар кўринишида ифодалаш мумкин:

$$\left.\begin{aligned}
&u_1(x,y,z,t)=u(x,t)-z\alpha_1(x,t)-y\alpha_2(x,t)+\varphi(y,z)\times\\
&\times\vartheta(x,t)+a_1(z)\beta_1(x,t)+a_2(y)\beta_2(x,t);\\
&u_2(x,y,z,t)=v(x,t)+z\theta(x,t);\\
&u_3(x,y,z,t)=w(x,t)-y\theta(x,t).
\end{aligned}\right\}. \tag{2}$$

бу ерда u_1, u_2, u_3 - кўчиш векторининг ташкил этувчилари; u, v, w - стержень марказий нуқталарининг кўчиши; α_1, α_2 - соф эгилишда марказий чизиқка уринманинг оғиш бурчаклари, ϑ - стержень узунлиги бўйича буралиш бурчаги; β_1, β_2 - кўндаланг силжиш бурчаклари; θ - буралиш бурчаги; a_1, a_2 - берилган функциялар; φ - буралишнинг Сен - Венан функцияси.

Коши муносабатига кўра ва (2) формулани ҳисобга олиб, фазовий юкланишлардаги деформация компоненталари қуйидаги кўринишда аниқланади:

$$\varepsilon_{11}=\frac{\partial u}{\partial x}-z\frac{\partial \alpha_1}{\partial x}-y\frac{\partial \alpha_2}{\partial x}+\varphi\frac{\partial \vartheta}{\partial x}+a_1\frac{\partial \beta_1}{\partial x}+a_2\frac{\partial \beta_2}{\partial x},$$

$$\varepsilon_{12}=-\alpha_2+\vartheta\frac{\partial \varphi}{\partial y}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial y}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}+z\frac{\partial \theta}{\partial x}, \qquad (3)$$

$$\varepsilon_{13}=-\alpha_1+\vartheta\frac{\partial \varphi}{\partial z}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial z}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}-y\frac{\partial \theta}{\partial x}.$$

Гук қонунини (2) ва (3) формулаларга асосан қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$\sigma_{11}=E\varepsilon_{11}=E\left(\frac{\partial u}{\partial x}-z\frac{\partial \alpha_1}{\partial x}-y\frac{\partial \alpha_2}{\partial x}+\varphi\frac{\partial \vartheta}{\partial x}+a_1\frac{\partial \beta_1}{\partial x}+a_2\frac{\partial \beta_2}{\partial x}\right),$$

$$\sigma_{12}=G\varepsilon_{12}=G\left(-\alpha_2+\vartheta\frac{\partial \varphi}{\partial y}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial y}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}+z\frac{\partial \theta}{\partial x}\right), \qquad (4)$$

$$\sigma_{13}=G\varepsilon_{13}=G\left(-\alpha_1+\vartheta\frac{\partial \varphi}{\partial z}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial z}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}-y\frac{\partial \theta}{\partial x}\right).$$

Остроградский-Гамильтон тамойили асосида фазовий юкланган стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалалари учун математик модель ишлаб чиқилди.

Стерженларнинг тебраниш тенгламалари

$$-\rho F\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+\rho S_y\frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2}-\rho S_\varphi\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial t^2}-$$

$$-\rho S_{a_1}\frac{\partial^2 \beta_1}{\partial t^2}-\rho S_{a_2}\frac{\partial^2 \beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial N_x}{\partial x}+q(u,x,t)=0,$$

$$S_y\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-I_y\frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2}-I_{zy}\frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2}+I_{z\varphi}\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial t^2}+I_{za_1}\frac{\partial^2 \beta_1}{\partial t^2}+$$

$$+I_{za_2}\frac{\partial^2 \beta_2}{\partial t^2}-\frac{\partial M_y}{\partial x}+Q_z+M(\alpha_1,x,t)=0,$$

$$S_z\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-I_{yz}\frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2}-I_z\frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2}+I_{y\varphi}\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial t^2}+I_{ya_1}\frac{\partial^2 \beta_1}{\partial t^2}+$$

$$+I_{ya_2}\frac{\partial^2 \beta_2}{\partial t^2}-\frac{\partial M_z}{\partial x}+Q_y+M(\alpha_2,x,t)=0,$$

$$-F\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}-S_y\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_y}{\partial x}+q(v,x,t)=0,$$

$$-F\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}-S_z\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_z}{\partial x}+q(w,x,t)=0,$$

$$-I_\rho\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}-S_y\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}+S_z\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}-I_\rho\frac{\partial M_x}{\partial x}+M(\theta,x,t)=0,$$

$$-S_{\alpha_1}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+I_{\alpha_1 z}\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+I_{y\alpha_1}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}-I_{\alpha_1\varphi}\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}-I_{\rho\alpha_1^2}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}-$$

$$-I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_{\alpha_1}}{\partial x}-Q_{\beta_1}+M(\beta_1,x,t)=0,$$

$$-S_{\alpha_2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+I_{\alpha_2 z}\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+I_{y\alpha_2}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}-I_{\alpha_2\varphi}\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}-I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}-$$

$$-I_{\alpha_2^2}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_{\alpha_2}}{\partial x}-Q_{\beta_2}+M(\beta_2,x,t)=0,$$

$$-S_{\varphi}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+I_{\varphi z}\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+I_{\varphi y}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}-I_{\varphi}\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}-I_{\alpha_1\varphi}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}-$$

$$-I_{\alpha_2\varphi}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_{\varphi}}{\partial x}-Q_{\vartheta}+M(\vartheta,x,t)=0, \qquad (5)$$

Табиий бошланғич шартлар қуйидагича:

$$\left[F\frac{\partial u}{\partial t}-S_y\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}-S_z\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}+S_\varphi\frac{\partial\vartheta}{\partial t}+S_{\alpha_1}\frac{\partial\beta_1}{\partial t}+S_{\alpha_2}\frac{\partial\beta_2}{\partial t}\right]\delta u\Big|_t=0,$$

$$\left[-S_y\frac{\partial u}{\partial t}+I_y\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}+I_{zy}\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}-I_\varphi\frac{\partial\vartheta}{\partial t}-I_{\alpha_1}\frac{\partial\beta_1}{\partial t}-I_{\alpha_2}\frac{\partial\beta_2}{\partial t}\right]\delta\alpha_1\Big|_t=0,$$

$$\left[-S_z\frac{\partial u}{\partial t}+I_{zy}\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}+I_z\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}-I_{y\varphi}\frac{\partial\vartheta}{\partial t}-I_{y\alpha_1}\frac{\partial\beta_1}{\partial t}-I_{y\alpha_2}\frac{\partial\beta_2}{\partial t}\right]\delta\alpha_2\Big|_t=0,$$

$$\left[S_\varphi\frac{\partial u}{\partial t}-I_{z\varphi}\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}-I_{y\varphi}\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}+I_\varphi\frac{\partial\vartheta}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_1}\frac{\partial\beta_1}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_2}\frac{\partial\beta_2}{\partial t}\right]\delta\vartheta\Big|_t=0,$$

$$\left[S_{\alpha_1}\frac{\partial u}{\partial t}-I_{z\alpha_1}\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}-I_{y\alpha_1}\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_1}\frac{\partial\vartheta}{\partial t}+I_{\alpha_1^2}\frac{\partial\beta_1}{\partial t}+I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial\beta_2}{\partial t}\right]\delta\beta_1\Big|_t=0,$$

$$\left[S_{\alpha_2}\frac{\partial u}{\partial t}-I_{z\alpha_2}\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}-I_{y\alpha_2}\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_2}\frac{\partial\vartheta}{\partial t}+I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial\beta_1}{\partial t}+I_{\alpha_2^2}\frac{\partial\beta_2}{\partial t}\right]\delta\beta_2\Big|_t=0,$$

$$\left[F\frac{\partial v}{\partial t}+S_y\frac{\partial\theta}{\partial t}\right]\delta v\Big|_t=0,\quad \left[F\frac{\partial w}{\partial t}-S_z\frac{\partial\theta}{\partial t}\right]\delta w\Big|_t=0,$$

$$\left[S_y\frac{\partial v}{\partial t}-S_z\frac{\partial w}{\partial t}+I_p\frac{\partial\theta}{\partial t}\right]\delta\theta\Big|_t=0, \qquad (6)$$

Табиий чегаравий шартлар қуйидагича:

$$\left[-N_x+P_1\right]\delta u\Big|_x=0,\ \left[-Q_y+P_2\right]\delta v\Big|_x=0,\ \left[-Q_z+P_3\right]\delta w\Big|_x=0,$$

$$\left[-M_x+M(zP_2-yP_3)\right]\delta\theta\Big|_x=0,\ \left[-M_\varphi+M(\varphi P_1)\right]\delta\vartheta\Big|_x=0,$$

$$\left[-M_{\alpha_1}+M(a_1P_1)\right]\delta\beta_1\Big|_x=0,\ \left[-M_{\alpha_2}+M(a_2P_1)\right]\delta\beta_2\Big|_x=0,$$

$$\left[-M_y - M(zP_1)\right]\delta\alpha_1\Big|_x = 0, \left[M_z - M(yP_1)\right]\delta\alpha_2\Big|_x = 0, \qquad (7)$$

Власов-Джанелидзе-Қобуловларнинг аниқлаштирилган назарияси асосида буровчи тебранишларнинг таъсирини ҳисобга олсак фазовий юкланишдаги стержень нуқталарининг кўчишини қуйидагича гипотеза кўринишида ифодалаш мумкин:

$$u_1 = \varphi(y,z)\frac{\partial\theta}{\partial x}, \quad u_2 = z\theta, \quad u_3 = -y\theta; \qquad (8)$$

$\dfrac{\partial\theta}{\partial x}$ - буралишнинг нисбий бурчаги.

Статик масалалар θ ва φ га нисбатан тенгламалар мос чегаравий шартлари билан чиқарилади.

$$\frac{\partial^4\theta}{\partial x^4} - r^2\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} = 0, \qquad (9)$$

$$x = 0 \text{ да}: \quad \theta = 0, \frac{\partial\theta}{\partial x} = 0,$$

$$x = l : \text{да}: \quad \frac{\partial^3\theta}{\partial x^3} - r^2\frac{\partial\theta}{\partial x} + \beta_{1H} = 0, \quad \frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} = 0. \qquad (10)$$

$$\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}\right) + \bar{\psi}_1\varphi = 0; \qquad (11)$$

$$z = \pm a \text{ да} \quad \left(\frac{\partial\varphi}{\partial z} - y\right) = 0,$$

$$y = \pm b \text{ да} \quad \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y} + z\right) = 0. \qquad (12)$$

Бунда коэффициентлар – бир ёки икки каррали интегралли ифодалардир. Уларни ҳисоблаш учун Гаусс усули ишлатилади.

Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг эгилган буралишдаги, бўйлама эгилишдаги ва бўйлама буралишдаги нуқталарининг кўчишини масаланинг чизиқсиз қўйилишида қараймиз, бунда кўчишларни қуйидаги кўринишда ифодалаб оламиз:

$$\left.\begin{array}{l} u_1(x,y,z,t) = u(x,t) - z\alpha_1(x,t) - y\alpha_2(x,t), \\ u_2(x,y,z,t) = v(x,t) + z\theta(x,t), \qquad u_3(x,y,z,t) = w(x,t) - y\theta(x,t). \end{array}\right\} \qquad (13)$$

Коши муносабатларини шакллантириб оламиз:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u_3}{\partial x}\right)^2\right],$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\partial u_1}{\partial x}\frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x}\frac{\partial u_2}{\partial y} + \frac{\partial u_3}{\partial x}\frac{\partial u_3}{\partial y},$$

$$\varepsilon_{13}=\frac{\partial u_1}{\partial z}+\frac{\partial u_3}{\partial x}+\frac{\partial u_1}{\partial x}\frac{\partial u_1}{\partial z}+\frac{\partial u_2}{\partial x}\frac{\partial u_2}{\partial z}+\frac{\partial u_3}{\partial x}\frac{\partial u_3}{\partial z}.$$

Вариацион тенглама (1)дан қуйидаги тенгламаларни ва уларга мос бошланғич ва чегаравий шартларни оламиз:

Стерженлар тебранишлари тенгламалари:

$$-\rho F\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+\rho S_y\frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2}+\frac{\partial N_x}{\partial x}+\frac{\partial R_1}{\partial x}+\left(\overline{F}_1+\overline{q}_1\right)=0,$$

$$-\rho F\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}-\rho S_y\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_2}{\partial x}+\frac{\partial R_2}{\partial x}+\left(\overline{F}_2+\overline{q}_2\right)=0,$$

$$-\rho F\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_3}{\partial x}+\frac{\partial R_3}{\partial x}+\left(\overline{F}_3+\overline{q}_3\right)=0,$$

$$\rho S_y\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-\rho I_y\frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2}-\rho I_{yz}\frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_y}{\partial x}+\frac{\partial R_4}{\partial x}-\left(M_y\left(\overline{F}_1\right)+M_y\left(\overline{q}_1\right)\right)=0,$$

$$\rho S_z\frac{\partial u}{\partial t}-\rho I_{yz}\frac{\partial \alpha_1}{\partial t}-\rho I_z\frac{\partial \alpha_2}{\partial t}+\frac{\partial M_z}{\partial x}+\frac{\partial R_5}{\partial x}-\left(M_z\left(\overline{F}_1\right)+M_z\left(\overline{q}_1\right)\right)=0,$$

$$-\rho S_y\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+\rho I_\rho\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}+\frac{\partial M_x}{\partial x}+\frac{\partial R_6}{\partial x}+\left(M_x\left(F_{23}\right)+M_x\left(q_{23}\right)\right)=0. \quad (14)$$

Умумлашган бошланғич шартлар қуйидагича:

$$\left[\rho F\frac{\partial v}{\partial t}+\rho S_y\frac{\partial \theta}{\partial t}\right]\delta v\Big|_t=0,\quad \left[\rho F\frac{\partial w}{\partial t}-\rho S_z\frac{\partial \theta}{\partial t}\right]\delta w\Big|_t=0,$$

$$\left[\rho S_y\frac{\partial v}{\partial t}-\rho S_z\frac{\partial w}{\partial t}+\rho I_\rho\frac{\partial \theta}{\partial t}\right]\delta\theta\Big|_t=0. \quad (15)$$

Табиий чегаравий шартлар қуйидагича:

$$\left[-N_x+R_1+\overline{\varphi}_1\right]\delta u\big|_x=0,\quad \left[-Q_2+R_2+\overline{\varphi}_2\right]\delta v\big|_x=0,$$

$$\left[-Q_3+R_3+\overline{\varphi}_3\right]\delta w\big|_x=0,\quad \left[-M_y+R_4+M_y\left(\varphi_1\right)\right]\delta\alpha_1\big|_x=0,$$

$$\left[-M_z+R_5+M_z\left(\varphi_1\right)\right]\delta\alpha_2\big|_x=0,\quad \left[-M_x+R_6+M_x\left(\varphi_{23}\right)\right]\delta\theta\big|_x=0. \quad (16)$$

Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг кўндаланг эгилишдаги нуқталарининг кўчиши масаласини чизиқсиз қўйилишида қараймиз, бунда кўчишларни қуйидаги кўринишда ифодалаб оламиз:

$$u_1(x,y,z,t)=u-z\alpha,\quad u_2=0,\quad u_3(x,y,z,t)=w. \quad (17)$$

Коши муносабатлари (17)га асосан қуйидаги кўринишни олади:

$$\varepsilon_{11}=\frac{\partial u_1}{\partial x}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_3}{\partial x}\right)^2,\ \varepsilon_{13}=\frac{\partial u_1}{\partial z}+\frac{\partial u_3}{\partial x}+\frac{\partial u_3}{\partial x}\frac{\partial u_3}{\partial z}.$$

Стерженларнинг тебраниш тенгламалари табиий чегаравий ва бошланғич шартлари билан чизиқсиз ҳолатнинг хусусий ҳоли учун ишлаб чиқилди.

Стержень тебраниши тенгламалари:

$$-\frac{\partial^2\bar{u}^k}{\partial\bar{t}^2}+\frac{\partial^2\bar{u}^k}{\partial\bar{x}^2}+\frac{l^2}{EFa}\left(f_1+\bar{q}_1\right)=0,$$

$$-\frac{\partial^2\bar{w}^k}{\partial\bar{t}^2}+\frac{1}{2(1+\mu)}\frac{\partial^2 w^k}{\partial\bar{x}^2}+\Phi_2^{k-1}+\frac{l^2}{EFa}\left(f_3+\bar{q}_3\right)=0,$$

$$-\frac{I_y}{Fa^2}\frac{\partial^2\alpha^k}{\partial\bar{t}^2}+\frac{I_y}{Fa^2}\frac{\partial^2\alpha^k}{\partial\bar{x}^2}-\frac{l^2}{EFa^2}\left(M\left(f_1\right)+M\left(\bar{q}_1\right)\right)=0. \tag{18}$$

бунда

$$\Phi_2^{k-1}=\frac{\partial^2\bar{w}^{k-1}}{\partial\bar{x}^2}\left(\frac{l}{a}\frac{\partial\bar{u}^{k-1}}{\partial\bar{x}}\right)+\frac{\partial\bar{w}^{k-1}}{\partial\bar{x}}\left(\frac{l}{a}\frac{\partial^2\bar{u}^{k-1}}{\partial\bar{x}^2}\right).$$

Умумлашган бошлангич шартлар:

$$\left[\frac{\partial\bar{u}^k}{\partial\bar{t}}\right]t_0\delta\bar{u}\Bigg|_{\bar{T}}=0,\quad \left[\frac{\partial\bar{w}^k}{\partial\bar{t}}\right]t_0\delta\bar{w}\Bigg|_{\bar{T}}=0,\quad \left[\frac{I_y}{Fa^2}\frac{\partial\alpha^k}{\partial t}\right]t_0\delta\alpha\Bigg|_{\bar{T}}=0. \tag{19}$$

Табиий чегаравий шартлар:

$$\left[-\frac{l\partial\bar{u}^k}{\partial\bar{x}}+\frac{l^2}{EFa}\bar{\varphi}_1\right]\delta\bar{u}\Bigg|_{\bar{x}}=0,$$

$$\left[-\frac{1}{2(1+\mu)}\left(l\frac{\partial\bar{w}^k}{\partial\bar{x}}\right)-\bar{\Phi}^{k-1}+\frac{l^2}{EFa}\bar{\varphi}_3\right]\delta\bar{w}\Bigg|_{\bar{x}}=0,$$

$$\left[-\frac{I_y l\partial\alpha^k}{Fa^2\partial\bar{x}}+\frac{l^2}{EFa^2}M\left(\varphi_1\right)\right]\delta\alpha\Bigg|_{\bar{x}}=0. \tag{20}$$

бунда

$$\bar{\Phi}_2^{k-1}=\frac{\partial\bar{w}^{k-1}}{\partial\bar{x}}\left(a\frac{\partial\bar{u}^{k-1}}{\partial\bar{x}}\right).$$

Шу тарзда Остроградский-Гамильтон вариацион тамойили асосида фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз дифференциал тенгламаларсистемалари орқали ифодаланувчи математик моделлари ишлаб чиқилди.

Юқорида келтирилган математик моделлар тенгламаларини ечишда қуйидаги кўринишдаги ўлчовсиз катталиклардан фойдаланилган:

$$u=a\bar{u},\ v=a\bar{v},\ w=a\bar{w},\ x=l\bar{x},\ t=t_0\bar{t}\ .$$

Диссертациянинг «**Ихтиёрий кесимли стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ечиш алгоритмлари**» деб номланган иккинчи бобида фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статик ва динамик, чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини марказий чекли айирмалар усули, R-функция ва кетма-кет яқинлашиш усулларида сонли ҳисоблаш алгоритмлари, тақрибий-аналитик алгоритми ишлаб чиқилган. Геометрик ва аралаш чегаравий шартлар шакллантирилган.

Тебраниш тенгламалари (5), (14), (18), бошланғич шарт (6), (15), (19)лар ва чегаравий шарт (7), (16), (20)ларни вектор кўринишда ифодалаб оламиз.

$$A\frac{d^2\vec{U}}{dt^2}+\bar{A}\frac{d^2\vec{U}}{dx^2}+B\frac{d\vec{U}}{dx}+C\vec{U}+\vec{F}=0; \tag{21}$$

$$\left[-A\frac{d\vec{U}}{dt}Et_0\right]\delta\vec{U}\Big|_{t}=0; \tag{22}$$

$$\left[\left(\bar{A}\frac{d\vec{U}}{dx}+B\vec{U}+\vec{\Phi}_{rp}\right)El\right]\delta\vec{U}\Big|_{x}=0; \tag{23}$$

$$M\frac{d^2\vec{U}^k}{d\bar{t}^2}+A\frac{d^2\vec{U}^k}{d\bar{x}^2}+B\frac{d\vec{U}^k}{d\bar{x}}+\mathrm{E}\vec{\Phi}^{k-1}+D\vec{F}=0; \tag{24}$$

$$\left[-\bar{M}\frac{d\vec{U}^k}{d\bar{t}}Et_0\right]\delta\vec{U}\Big|_{\bar{t}}=0, \quad (25) \qquad \left[\left(\bar{A}\frac{d\vec{U}^k}{d\bar{x}}+\bar{B}\vec{U}^k+\bar{\vec{\Phi}}^{k-1}+\bar{D}\vec{\Phi}(\varphi)\right)El\right]\delta\vec{U}\Big|_{\bar{x}}=0. \tag{26}$$

$$M\frac{d^2\vec{U}^k}{dt^2}+A\frac{d^2\vec{U}^k}{dx^2}+E\vec{\Phi}^{k-1}+D\vec{F}=0, \tag{27}$$

$$\left[-M\frac{d\vec{U}^k}{dt}\right]Et_0\delta\vec{U}\Big|_{T}=0, \quad (28) \qquad \left[\bar{A}\frac{d\vec{U}^k}{dx}+E\bar{\vec{\Phi}}^{k-1}+\bar{D}\vec{F}(\varphi)\right]El\delta\vec{U}\Big|_{\bar{x}}=0. \tag{29}$$

Чегаравий масала (21)-(29)ни марказий чекли айирмалар усулида аппроксимациялаб, қуйидаги алгебраик тенгламалар системасига эга бўламиз:

$$\vec{U}_{i,j+1}=-\tilde{A}\vec{U}_{i-1,j}+\tilde{B}\vec{U}_{i,j}-\tilde{C}\vec{U}_{i+1,j}-\vec{U}_{i,j-1}-\tilde{\vec{F}}_{i,j}. \tag{30}$$

1) $i=1, j=0$ да $\vec{U}_{1,1}=\frac{1}{2}\left[A_1\vec{U}_{1,0}+B_1\vec{U}^0_{2,0}+2\tau A^{-1}\dot{\vec{U}}^0_{1,0}+\mathrm{P}_{0,0}-\tilde{\vec{F}}_{1,0}\right]$

тенглама ечилади.

2) $i=i, j=0$ да $\vec{U}_{i,1}=\frac{1}{2}\left[-\tilde{A}\vec{U}^0_{i-1,0}+\tilde{B}\vec{U}^0_{i,0}-\tilde{C}\vec{U}^0_{i+1,0}+2\tau A^{-1}\dot{\vec{U}}^0_{i,0}-\tilde{\vec{F}}_{i,0}\right]$

тенглама ечилади.

3) $i=N-1, j=0$ да $\vec{U}_{N-1,1}=\frac{1}{2}\left[\bar{A}_1\vec{U}^0_{N-2,0}+\bar{B}_1\vec{U}^0_{N-1,0}+2\tau A^{-1}\dot{\vec{U}}^0_{N-1,0}+\bar{\mathrm{P}}_{N,0}-\tilde{\vec{F}}_{N-1,0}\right]$

тенглама ечилади.

4) $i=1, j=1$ да $\vec{U}_{1,2}=A_1\vec{U}_{1,1}+B_1\vec{U}_{2,1}\vec{U}^0_{1,0}+\mathrm{P}_{0,1}-\tilde{\vec{F}}_{1,1}$ тенглама ечилади.

5) $i=i, j=1$ да $\vec{U}_{i,2}=-\tilde{A}\vec{U}_{i-1,1}+\tilde{B}\vec{U}_{i,1}-\tilde{C}\vec{U}_{i+1,1}-\vec{U}^0_{i,0}-\tilde{\vec{F}}_{i,0}$

тенглама ечилади.

6) $i=N-1, j=1$да $\vec{U}_{N-1,2}=\bar{A}_1\vec{U}_{N-2,1}+\bar{B}_1\vec{U}^0_{N-1,1}-\vec{U}^0_{N-1,0}+\bar{P}_{N,1}-\tilde{\vec{F}}_{N-1,1}$

тенглама ечилади.

7) $i=1, j=j$ да $\vec{U}_{i,j+1}=-\tilde{A}\vec{U}_{0,j}+\tilde{B}\vec{U}_{1,j}-\tilde{C}\vec{U}_{2,j}-\vec{U}_{1,j-1}-\tilde{\vec{F}}_{1,j}$

тенглама ечилади.

8) $i=i, j=j$ да (30) тенглама ечилади.

9) $i=N-1, j=j$ да $\bar{U}_{N-1,j+1}=\bar{A}_1\bar{U}_{N-2,j}+\bar{B}_1\bar{U}_{N-1,j}-\bar{U}_{N-1,j-1}+\bar{P}_{N,j}-\bar{\bar{F}}_{N-1,j}$ тенглама ечилади. Шу тартибда чегаравий масалалар (21)-(29) ҳал этилади.

Кўндаланг кесими мураккаб бўлган призматик жисмларнинг ҳаракат тенгламалари (9), (11)ларни чегаравий шарт (10), (12)лар билан интеграллаш учун R-функция ва кетма-кет яқинлашиш усуллари ишлатилади.

Мазкур алгоритмнинг бажариш тартиби қуйидагича:

1) нолинчи яқинлашишда $\bar{\psi}_1=0$ фараз қилиниб, кисилган буралиш функцияси учун (11) тенглама чегаравий шарт (12) билан ечилади.

2) φ нинг бу ечимидан фойдаланиб (9), (10)ларнинг коэффициентлари ва θ ҳисобланади.

3) θ нинг бу ечимидан фойдаланиб буралиш функцияси φ ҳисобланади ва (11) тенглама чегаравий шарт (12) билан қайта ечилади.

4) Бу ечимдан фойдаланиб (9), (10)ларнинг коэффициентлари ҳисобланади.

Бу жараён $\left|\varphi^{i+1}(z,y)-\varphi^{i}(z,y)\right|\le\varepsilon$ шарти қаноатлантирилганга қадар давом эттирилади.

(8) ва (9) тенгламаларнинг коэффициентлари ҳисобланган деб фараз қилиб, (8) нинг ечимини қуйидаги кўринишда қурамиз:

$$\theta=c_1+c_2x+c_3sh(rx)+c_4ch(rx),$$

Бундай тарзда тўғри бурчакли кесимга эга призматик жисмлар учун ечим қурилади. Ўзгармас c_1, c_2, c_3, c_4 ларнинг қийматлари $x=0$ ва $x=l$ чегаравий шартлар асосида аниқланади.

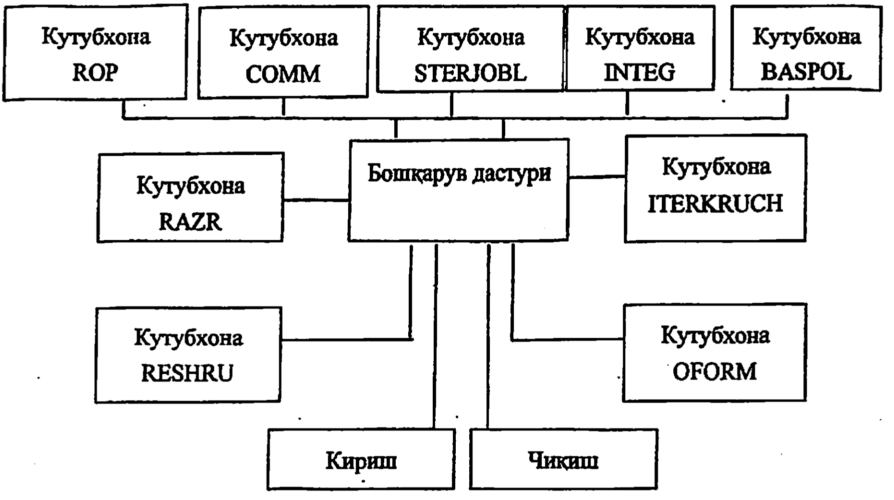
Призматик жисмнинг кўндаланг кесими мураккаб кўринишга эга бўлган ҳолатда, φ нинг кўринишини R-функция усулида қуриб олинади. Кейин R-функция (RFM) усули ёрдамида ечимнинг тузилиши ҳам қуриб олинади. Бунда чегаравий масаланинг ечимининг тузилиши қуйидагича бўлади: $\varphi\equiv\Phi-\omega D_l\Phi+\varphi_0\omega$, бу ерда $\Phi=\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{l}C_{ij}Z_i(z)Y_j(y)$ - ечим тузулишининг аниқмас коэффициенти. Бунда C_{ij}-аниқмас коэффициентлар бўлиб Бубнов-Галеркин усулидан топилади, $Z_i(z), Y_j(y)$ - базис кўпҳадларнинг тўлиқ системаси.

Диссертациянинг **«Фазовий юкланишларда кесими мураккаб конфигурацияли стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ечишни автоматлаштириш»** деб номланган учинчи боби- кесими мураккаб конфигурацияли фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ечиш учун дастурий мажмуа яратилган.

Дастурий мажмуа қуйидаги блоклардан ташкил топган (1-расм):

1. ROP – R-амаллар ва картежлар кутубхонаси;
2. COMM – типлар ва константалар кутубхонаси;
3. INTEG – интеграл ости ифодаларни ҳисоблаш кутубхонаси;

4. STERJOBL – соҳа геометрияси функциялари ва уларнинг етарли тартибдаги ҳосилалари кутубхонаси;
5. BASPOL – тузилмавий формулалар кутубхонаси;
6. ITERKRUCH – итерацион жараёнлар кутубхонаси;
7. RAZR – дискрет тенглама элементларини шакллантириш кутубхонаси;
8. RESHRU – дискрет тенгламаларни ечиш кутубхонаси;
9. OFORM – ҳисоблаш натижаларини расмийлаштириш кутубхонаси;
10. Бошқарув дастури қисми.



1-расм. Дастурий воситалар мажмуаси тузилиши

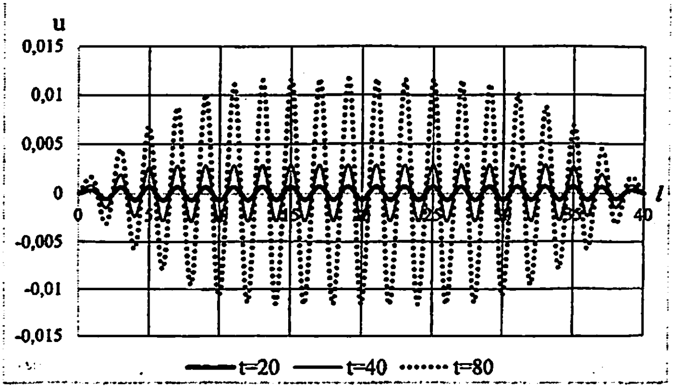
Ушбу дастурий воситалар мажмуи Java дастурлаш тилида яратилган. Дастурлар мажмуи ҳар бир кутубхонаси класслардан иборат.

Дастурий воситалар мажмуидан фойдаланиш йўриқномаси келтирилган.

Диссертациянинг **«Мураккаб конфигурацияли фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларининг сонли таҳлили»** деб номланган тўртинчи бобида кесими тўртбурчакли ва ихтиёрий бўлган призматик жисмларнинг турли коваклари билан қисилган буралиш масалалалари ечилган. R-функция усулининг сонли яқинлашиши қисилган буралиш масалаларида, фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларининг тебранишлари тадқиқ қилинган. Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалалари ҳал этилган. Ечимларнинг тўғрилигини асослаш учун чегаравий шартлари икки томондан маҳкамланган ва бир томони маҳкамланган, иккинчи томони эркин бўлган фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва чизиқсиз масалалари тадқиқ қилинган ҳамда ечимлар таққосланган.

Икки томондан маҳкамланган масалаларида стерженларни ҳисоблаш учун геометрик ва механик параметрларнинг қуйидаги қийматларидан фойдаланилди: Юнг модули $E=2\times10^5$ Πa, Пуассон коэффициенти $\nu_1=0{,}3$ (юмшоқ пўлат учун), стерженнинг узунлиги $l=10$ $м$, каралаётган кўндаланг кесим $a=0{,}02$ $м$, $b=0{,}02$ $м$, сиртдаги кучлар $q_1=0{,}015$ Н, $q_2=0{,}01$ Н, $q_3=0{,}02$ Н, $M=0{,}012$ Н.

Қуйида олинган натижалар график кўринишда келтирилди:

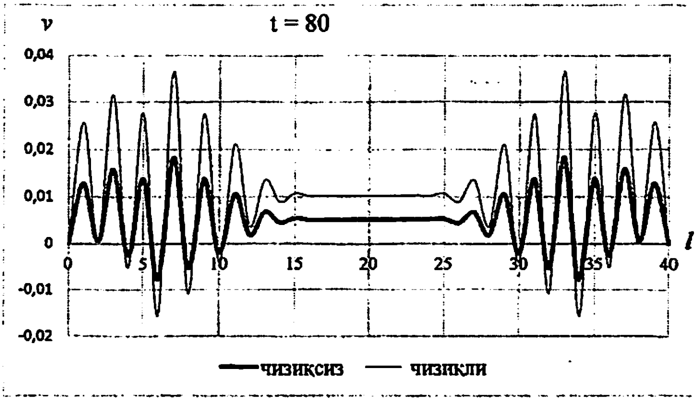


2 - расм. Бўйлама кўчиш $u\times10^6$ тўлқинларининг узунлиги l=10 $м$ бўлган стерженда турли вақтлардаги тарқалиши

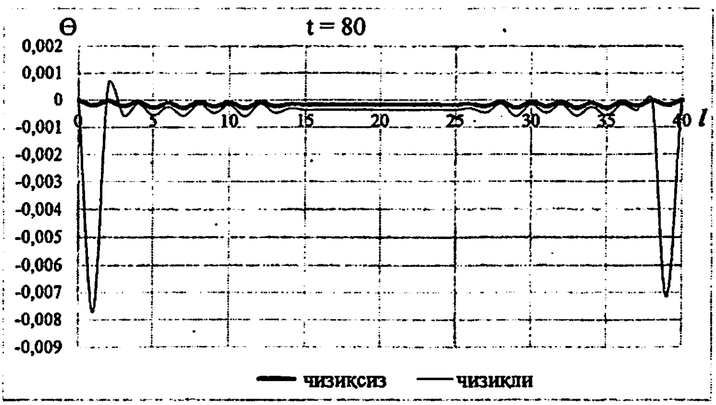
2 - расмда бўйлама кўчиш u натижаларининг стерженнинг узунлиги l=10 $м$ бўйича t=20 $с$, 40 $с$, 80 $с$ вақтлардаги тарқалиши графиклари келтирилган. Графиклардан кўриниб турибдики, вақтнинг турли қийматларида стерженнинг узунлиги бўйича турли нуқталарда турли қийматларга эга бўлади: стерженнинг марказий нуқталарига яқинлашгани сари ўсувчи синисоида амплитудаси пайдо бўлади.

2-расмдан кўриниб турибдики, бўйлама кўчиш u энг катта қийматларга стерженнинг ўрталарида эришади. Стерженнинг четкаларига қараб кўчишнинг қийматлари камайиб боради. t=20 $с$ да бўйлама кўчиш u энг кичик қийматга эришади ва t=40 $с$ да секинлик билан қийматлар ўсиб боради ҳамда t=80 $с$ да энг катта қийматларга эга бўлади.

3-расмда икки томондан маҳкамланган стерженларнинг чизиқли ва чизиқсиз масалалари учун кўндаланг тебранишлар вақтнинг t=80 $с$ қийматдаги графиги келтирилган. 3-расмдан кўриниб турибдики, $v(x,t)$ кўндаланг тебраниш энг катта қийматларга стерженнинг маҳкамланган четларида эришади ва стерженнинг ўрталарига томон аста секинлик билан камайиб боради.



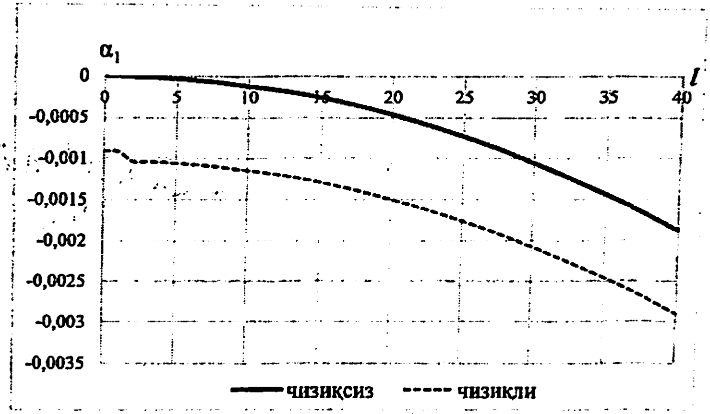
3 - расм. Кўндаланг тебраниш $v \times 10^4$ нинг стержен узунлиги бўйича вақтнинг t=80 c моментида тарқалиши



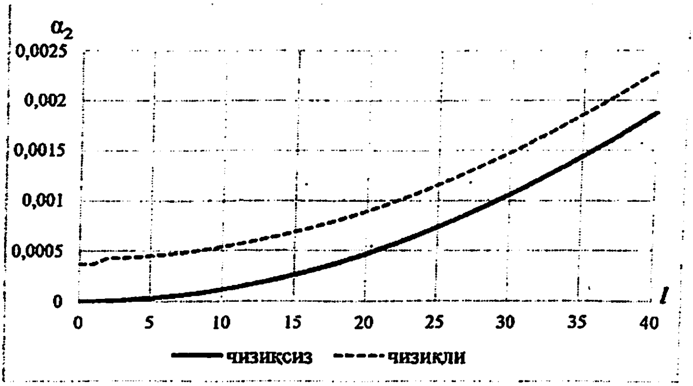
4-расм. Буралиш бурчаги $\theta \cdot 10^3$ нинг стержен узунлиги бўйича вақтнинг t=80 c моментида тарқалиши

4-расмда буралиш бурчаги θ нинг икки томондан маҳкамланган стерженларнинг чизиқли ва чизиқсиз масалалари учун буралиш бурчаги тебранишлари вақтнинг t=80 c қийматдаги графиги келтирилган. 4-расмдан кўриниб турибдики, θ буралиш бурчаги тебраниши энг катта қийматларга стерженнинг маҳкамланган четларида эришади.

Бир томондан маҳкамланган, иккинчи томондан эркин бўлган масала учун қидирилаётган параметрларнинг графикларини таққослашни келтирамиз.



5-расм. Оғиш бурчаги α_1 натижаларини чизиқли ва чизиқсиз масалаларини стерженнинг узунлиги бўйича таққослаш



6-расм. Оғиш бурчаги α_2 натижаларини чизиқли ва чизиқсиз масалаларини стерженнинг узунлиги бўйича таққослаш

5 ва 6 расмларда оғиш бурчакларининг графикларини стержень узунлиги бўйича чизиқли ва чизиқсиз масалаларида таққослаш келтирилган. Расмлардан кўриниб турибдики, натижаларнинг фарқи мос равишда 0,001ва 0.0005 ни ташкил этади.

Буралиш бурчаги θ нинг чизиқли ва чизиқсиз масалалари учун натижалари таққосланганда айнан оғиш бурчакларининг графикларини такрорлайди. Улар орасидаги сонли қийматларнинг фарқи ўртача 0,0001ни ташкил қилади.

Бўйлама кўчиш $u(x,t)$, вертикал кўчишлар $v(x,t)$ ва $w(x,t)$ларда сонли қийматлари таққосланганда фарқи ўртача 0,00003ни ташкил этади.

ХУЛОСА

«Мураккаб конфигурацияли стерженларнинг фазовий юкланишлардаги масалаларининг чизиқли ва геометрик ночизиқли математик моделлари ва ечиш алгоритмлари» мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Остроградский-Гамильтон умумлаштирилган вариацион тамойилига, эластик деформация ва Власов-Джанелидзе-Қобуловлар томонидан аниқлаштирилган назарияларга асосан фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларининг статикаси ва динамикаси учун умумлашган математик модель ишлаб чиқилди. Ушбу модель бўйлама, кўндаланг ва буровчи кучларнинг биргаликдаги таъсирини ҳисобга олган ҳолда стерженларнинг чизиқли ва чизиқсиз деформацияланиши жараёнларини тўла ифодалашга хизмат қилади.

2. Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг қисилган буралишини ҳисобга олгандаги математик модели табиий бошланғич ва чегаравий шартлари билан ишлаб чиқилди. Мазкур модель қисилган буралиш масалаларида призматик жисмларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини тадқиқи учун хизмат қилади.

3. Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг кўндаланг эгилишни ҳисобга олгандаги чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларининг математик модели ишлаб чиқилди. Ушбу модель эгилган буралишдаги, бўйлама эгилишдаги, бўйлама буралишдаги ва кўндаланг буралишдаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацион жараёнларини батафсил баён этиш учун хизмат қилади.

4. Марказий чекли айирмалар усули асосида фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статик ва динамик чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ечиш учун ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган алгоритмлар асосида тест масалалари ечилган, олинган натижалар ишончлилик ва аниқлик критерияларини баҳолашга имкон беради

5. R-функция (RFM) ва кетма-кет яқинлашиш усулларига асосан қисилган буралиш масалалари учун ҳал этувчи тенгламалар системасини интеграллаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган алгоритмлар асосида тест мисоллари ишланган, олинган натижалар ишончлилик ва аниқлик критериялари баҳолашга имкон беради.

6. Фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалаларини ҳисоблаш учун дастурий таъминот яратилди. Ушбу дастурий таъминот бўйлама, кўндаланг ва буровчи кучларнинг биргаликдаги таъсирида стерженларнинг чизиқли ва геометрик чизиқсиз деформацион жараёнларини кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатининг тадқиқи учун хизмат қилади.

7. R-функция (RFM) ва кетма-кет яқинлашиш усуллари асосида мураккаб конфигурацияли фазовий юкланишлардаги стерженларнинг чизиқли масалаларини ечиш ва ҳисоблаш тажрибаларини бажариш учун

дастурлар мажмуи тузилмаси такомиллаштирилди. Мазкур дастурий таъминот қисилган буралиш масалаларида призматик жисмларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини тадқиқи учун хизмат қилади.

8. Яратилган дастурий таъминотлар асосида фазовий юкланишлардаги стерженларнинг тебраниш жараёнларига оид чизикли масалалар тадқиқ этилди, фазовий юкланишлардаги стерженларнинг статикаси ва динамикаси чизиқли ва геометрик чизиқсиз масалалари тадқиқ қилинди, турли шаклли коваклари бўлган кўндаланг кесими ихтиёрий призматик жисмларнинг қисилган буралиш масалаларида ечилди. Мазкур ечимлар амалиётда учрайдиган ҳаётий масалаларни аниқ тадқиқ қилишга хизмат қилади.

9. Турли коваклари бўлган кўндаланг кесими ихтиёрий призматик жисмларнинг қисилган буралиш масалалари учун тўртинчи тартибли дифференциал тенгламалар системалари ечилди. R-функция (RFM) усули билан кўндаланг кесими классик шаклдаги сонли ечимлар олиниб аниқ ечимлар билан солиштирилди. Ушбу ечимлар амалиётда учрайдиган ҳаётий масалаларни аниқ тадқиқ қилишга хизмат қилади.

10. Стержень типидаги конструкция материалларининг лойиҳа ҳисоб ишлари учун амалиётда кўп келадиган чизикли ва геометрик чизиқсиз масалалари шакллантирилиб, улар устида сонли тажрибалар ўтказилди. Бунда тўққизта параметрга боғлиқ тўққизта чизиқли ва олтита параметрга боғлиқ олтита геометрик чизиқсиз иккинчи тартибли дифференциал тенгламалар системалари ечилди. Сонли натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, координата ўқлари бўйича кўчиш векторининг барча параметрларини ҳисобга олган ҳолда иккинчи тартибли дифференциал тенгламалари системасини ечиш қаралаётган объектнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ва физика-механик хусусиятларини тўла ифодалаш имконини беради. Бу эса ўз навбатида муҳандис-лойиҳачиларга тегишли амалий таклиф ва тавсияларни беришда фундаментал асос бўлиб хизмат қилади.

11. Ишлаб чиқилган математик моделлар ва дастурий таъминот «Қашқадарё пармалаш ишлари» Акционерлик компаниясида стерженли конструкцияларни лойиҳалаш жараёнига, «Uzbekneftgaz» Миллий Холдинг компанияси «Uztransgaz» Акциядорлик компанияси «Transgazinjiniring» Унитар корхонаси газни ер остида сақлаш иншооти «Газли» объектининг №841, №842 қудуқларини лойиҳалаш жараёнига, Геология давлат қўмитасининг «Геолтехтаъминот» Давлат корхонаси илмий тадқиқот ишларига, Нефть ва газ саноати Ўзбекистон илмий муҳандислар жамиятида стерженли конструкцияларни лойиҳалаш жараёнига жорий қилинган. Илмий тадқиқот натижалари ҳисоб жараёнлари вақтини 4-5 мартага ва ҳисоблаш ҳатолигини 16 % камайтирган. Бу лойиҳалаш жараёнининг сифати ва тезлигини ошириш учун хизмат қилади.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSC.27.06.2017.T.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

АНАРОВА ШАХЗОДА АМАНБАЕВНА

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НАГРУЖЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

05.01.07 – Математические моделирование. Численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc) ДИССЕРТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Ташкент – 2018

Тема докторской диссертации по техническим наукам (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2017.1.DSc/T123.

Диссертация выполнена в научно-инновационном центре информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий.

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

Научный консультант:	**Юлдашев Таджимат** доктор технических наук
Официальные оппоненты:	**Усманов Ришат Ниязбекович** доктор технических наук, профессор
	Хужаев Исматулла Кушаевич доктор технических наук
	Нармурадов Чари Бегалиевич доктор физика-математических наук, профессор
Ведущая организация:	**Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта**

Защита диссертации состоится «12» июля 2018 г. в 9^{00} часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 109). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «28» июня 2018 года.
(протокол рассылки № 8 от «26» июня 2018 г.).

Р.Х.Хамдамов
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

Ф.М.Нуралиев
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н.

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

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется разработке математической модели и автоматизированной системы расчета линейных и геометрически нелинейных задач элементов сооружений и конструкций при пространственном нагружении. В связи с этим создание автоматизированной системы оценивания напряженно-деформированного состояния конструкций типа стержней при исследовании деформационных процессов пространственно-нагруженных стержней на базе современных информационных технологий, а также их усовершенствование – одни из основных задач. В развитых странах мира, в том числе США, Франции, Канаде, Японии, Китае, ОАЭ, Иране, России, Украине, Казахстане и др. важное значение имеют разработка математических моделей, вычислительных алгоритмов и создание программного обеспечения расчета материалов конструкций типа стержня.

В мире проводятся научные исследования, направленные на построение математических моделей, разработку вычислительных алгоритмов решения линейных и геометрически нелинейных задач напряженно-деформированного состояния стержней при пространственном нагружении, создание автоматизированной системы для оценки деформационных процессов в стержнях. В этом направлении важнейшими задачами считаются: построение математических моделей, определяющих напряженно-деформированное состояние, разработка вычислительных алгоритмов и создание автоматизированных систем для оценки деформационного процесса продольно-изгибного, продольно-крутильного и изгибно-крутильного колебания стержней при пространственном нагружении. В связи с этим востребована разработка математических моделей и алгоритмов решения задач линейных и геометрически нелинейных стержней сложной кофигурации при пространственном нагружении.

В Республике Узбекистан проводятся широкомасштабные мероприятия по проектированию конструкций типа стержня и математическому моделированию процессов вычисления с использованием современных компьютерных технологий оценки напряженно-деформированного состояния конструкций, а также по разработке технологических систем и созданию автоматизированного программного обеспечения. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи, в частности «... внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления, ... развитию и модернизации дорожно-транспортной, инженерно-коммуникационной и социальной инфраструктуры»[1] . При выполнении этих задач важными вопросами являются разработка обобщенных математических

---

[1] Указ Президента Республики Узбекистан "О стратегии действий по дальнейшему Развитию Республики Узбекистан". УП-4947 от 7 февраля 2017 года

моделей, вычислительных алгоритмов и создание автоматизированной системы для решения линейных и геометрически нелинейных задач напряженно-деформированного состояния стержней при пространственном нагружении на базе современных информационных технологий применительно к процессу проектирования.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему Развитию Республики Узбекистан» и № УП-5349 от 19 февраля 2018 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-1989 от июня 2013 г. «О мерах по дальнейшему развитию Национальной информационно-коммуникационной системы Республики Узбекистан» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики IV - «Развитие информатизации информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации[2] . Научные исследования, направленные на разработку математических моделей и алгоритмического-программного обеспечения для решения задач пространственных нагружений конструкций типа стержней в строительстве и машиностроении, ведутся в ведущих научных центрах мира и высших образовательных учреждениях, в том числе Program Development Company (США), Institut National des Sciences Appliquees de Lyon (Франция), Университете Сайтамы (Япония), Mechanical National University of Technology (Аргентина), Mechanical University of Technology, Mechanical Engineering Department, Petroleum Institute Abu Dhabi (ОАЭ), Daqing drilling engineering institute of technology, School of Petroleum Engineering, University of Petroleum, Petroleum Engineering, Institute of Yanshan University (Китай), Институте проблем машиностроения Российской Академии наук, Российском Государственном университете нефти и газа имени И.М.Губкина (Российская федерация), Национальном университете Казахстана (Казахстан), Ташкентском университете информационных технологий (Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире по математическому моделированию и усовершенствованию автоматизированних систем расчета вычислений статики и динамики, линейных и нелинейных деформационных

[2] Обзор научных исследований по теме диссертации составлен на основании www.ijergs.org, www.jocpr.com, www.elsevier.com/locate/nlm, http://scholarsmine.mst.edu/masters_theses, www.just.ac.ir, journal homepage: www.elsevier.com/locate/compstruct, www.elsevier.com/locate/jsvi, http://frbb-utn.academia.edu, https://www.researchgate.net, https://ar.linkedin.com и других источников.

процессов стержней при пространственном нагружении, получен ряд научных результатов, в том числе: усовершенствованы модели динамических функциональных свойств вращающихся балок (Mecánicos Universidad Tecnológica Nacional, Аргентина), разработаны нелинейные задачи свободных колебаний вращающихся композитных балок С.П.Тимошенко, разработана нелинейная задача балки С.П.Тимошенко на основе модифицированной теории парных напряжений (Amirkabir University of Technology и Sharif University of Technology, Иран), изучено динамическое поведение бурильной колонны, усовершенствована и разработана экспериментальная установка (Institut National des Sciences Appliquees de Lyon, Франция), получено нелинейное решение вибрации для наклоненной балки С.П.Тимошенко под действием движущейся силы, разработаны математические модели колебания изгибно-крутильных, продольно-изгибных и продольно-крутильных волн на основе теории упругого деформирования А.П.Филипова в системе стержня (Институт проблем машиностроения Российской академии наук, РФ).

В мире для решения задач деформационных процессов элементов конструкций типа стержней в строительстве, авиации, ракетостроении, кораблестроении, машиностроении, нефтедобывающей отрасли проводятся исследования по следующим перспективным направлениям: разработка математических моделей и вычислительных алгоритмов, усовершенствование и создание программного обеспечения линейных и нелинейных деформационных процессов в балке С.П.Тимошенко, моделирование напряженно-деформированного состояния элементов конструкций типа стержней, учитывающих деформационные процессы, геометрическую и физическую нелинейности, полное исследование интенсивных изгибно-крутильных, продольно-изгибных и продольно-крутильных колебаний, распространяющихся в стержнях.

Степень изученности проблемы. Вопросам деформирования трехмерных деформируемых сред в рамках нелинейной теории упругости посвящен ряд монографий и журнальных публикаций. Значительный вклад в развитие нелинейной теории упругости внесли такие ученые, как А.Еремеев, В.И.Ерофеев, Н.В.Зволинский, А.С.Зинченко, Л.М.Зубов, М.И.Карякин, В.А.Левин, С.В.Левяков, А.И.Лурье, Н.Ф.Морозов, В.В.Новожилов, Р.Б.Нургазиев, Л.А.Хаджиева, К.Ф.Черных, С.Антман, H.Arvin, M.Asghari, А.Грин, A.Mamandi, M.T.Piovan, Р.Ривлин, К.Трусделл, J.W.Hijmissen и др.

В нашей республике рядом ученых проведены научно-исследовательские работы по совершенствованию теоретических основ и развитию разработки методов расчета стержневых систем, в том числе академиком В.К.Кабуловым разработана уточненная теория линейных и нелинейных процессов деформирования элементов конструкций и предложен алгоритмический подход к решению прикладных задач. Вопросы алгоритмизации и автоматизации решения задач механики сплошных сред в Узбекистане впервые были поставлены академиком В.К.Кабуловым и далее усовершенствованы такими учеными, как Т.Буриев, К.Ш.Бобомуродов, Ф.Б.Бадалов, Б.Курманбаев, Т.Юлдашев, Ш.А.Назиров, Х.Эшматов, Б.Мардонов, и их последователями.

Проведенный анализ исследований в этой области показывает, что проблемы моделирования и создания автоматизированных систем расчета статики и динамики, линейных и геометрически нелинейных деформационных процессов пространственно-нагруженных стержней сложной конфигурации до сих пор не достаточно изучены.

Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с научно-исследовательскими планами Научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий в рамках научно-исследовательских проектов Ф4-ФА-Ф005 «Разработка и исследование алгоритмических методов решения классов многомерных нелинейных задач математической физики для областей сложной конфигурации» (2012-2016), БВ-МВ-4-004 «Разработка принципов алгоритмизации и теории управляющих систем» (2017-2020), БА-А5-014 «Разработка автоматизированной технологии аналитического описания сложных фрактальных структур на основе теории R-функций и арифметических свойств» (2017-2018).

Целью исследования является разработка математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для исследования статики и динамики линейных и геометрически нелинейных задач напряженно-деформированного состояния стержней сложной конфигурации при пространственном нагружении.

Задачи исследования:

разработка математических моделей статики и динамики, линейных и геометрически нелинейных процессов перемещения точек стержней при совместном действии продольных, поперечных и крутильных сил на основе принципа Остроградского-Гамильтона и упругих деформаций, а также уточненной теории Власова-Джанелидзе-Кабулова;

разработка численно-аналитического алгоритма расчета призматических тел произвольного сечения с полостью различной формы в задачах стесненного кручения на базе методов R-функции Рвачева (RFM) и последовательных приближений;

разработка численных алгоритмов решения задач статики и динамики, линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении;

усовершенствование существующего программного обеспечения, автоматизирующего весь процесс исследования напряженно-деформированного состояния призматических тел произвольного сечения с полостью на основе методов R-функций Рвачева (RFM) и последовательных приближений;

создание структуры программного комплекса для исследования процесса колебания стержней на основе метода конечных разностей, для процесса автоматизации решения краевых задач стержней и для проведения вычислительного эксперимента.

Объектом исследования являются деформационные процессы статики и динамики стержней сложной конфигурации при пространственном нагружении в линейных и геометрически нелинейных постановках.

Предметом исследования являются математические модели, численно-аналитические алгоритмы и алгоритмически-программные комплексы для исследования линейного и геометрически нелинейного напряженно-деформированного состояния стержней сложной конфигурации при пространственном нагружении.

Методы исследования. В процессе исследования применяются методы математического и численного моделирования, системного анализа, теоретической механики, математики, вариационного исчисления, алгоритмизации, структурно-программной технологии и методы проведения вычислительных экспериментов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе теории упругих деформаций и уточненной теории Власова-Джанелидзе-Кабулова, а также с помощью вариационного принципа Остроградского-Гамильтона разработана обобщенная математическая модель статики и динамики линейных и геометрически нелинейных процессов перемещения точек стержней при совместном действии продольных, поперечных и крутильных сил;

разработаны математические модели статики и динамики линейных и геометрически нелинейных задач процессов деформации пространственно-нагруженных стержней с учетом поперечного сдвига и стесненного кручения;

на основе конечных разностей разработан вычислительный алгоритм расчета статики и динамики, линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении;

разработаны приближенно-аналитические алгоритмы расчета на базе методов R-функций (RFM) и последовательных приближений призматических тел произвольного сечения с полостью различной формы в задачах стесненного кручения;

усовершенствована структура программного обеспечения для проведения вычислительного эксперимента и решения линейных задач призматических тел произвольного сечения с полостью на основе методов R-функций Рвачева (RFM) и последовательных приближений;

создана усовершенственная структура программного комплекса для расчета и проведения вычислительных экспериментов по статике и динамике линейных и геометрически нелинейных задач пространственного нагружения стержней методом конечных разностей.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

- разработаны обобщенные линейные и геометрически нелинейные математические модели колебания стержней при конечных деформациях;
- разработаны приближенно-аналитические методы и алгоритмы расчета призматических тел произвольного сечения с полостью различной формы в задачах стесненного кручения на базе методов R-функции (RFM) и последовательных приближений;

на основе метода конечных разностей разработан численный алгоритм для решения статики и динамики линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении;

создана структура программного комплекса, позволяющая автоматизировать процессы решения краевых задач стержня, проведен вычислительный эксперимент, обосновывающий достоверность разработанных математических моделей.

Достоверность результатов исследования обосновывается корректностью математической постановки задач, строгостью применения вариационного принципа Остроградского-Гамильтона, корректной постановкой задачи пространственного нагружения стержней применением методов решения задач на основе методов R-функции (RFM), Бубнова-Галеркина, последовательных приближений и конечных разностей, а также путем сравнения полученных приближенных решений с точными решениями в аналогичных постановках.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что на основе принципа Остроградского-Гамильтона разработаны обобщенные математические модели линейных и геометрически нелинейных задач пространственно-нагруженных стержней, созданы вычислительные алгоритмы с применением методов R-функции В.Рвачева (RFM), Бубнова-Галеркина, последовательных приближений и конечных разностей, а также проводится их оценка с созданием алгоритмическо-программного обеспечения, автоматизирующего весь процесс решения задач напряженно-деформированного состояния призматических тел произвольного сечения.

Практическая значимость результатов исследований оценивается уменьшением временных и материальных затрат, повышением качества выполненных работ и производительности труда при проведении проектных расчетов конструкций типа стержней сложной конфигурации при пространственном нагружении, эффективным проведением процесса проектирования, а также внедрением математических моделей и вычислительных алгоритмов расчета линейных и геометрически нелинейных пространственно-нагруженных стержней сложной конфигурации в практику.

Внедрение результатов исследования. На основе разработанных обобщенной математической модели линейных и геометрически нелинейных задач пространственно-нагруженных стержней и вычислительных алгоритмов получены следующие результаты по созданному программному обеспечению:

разработанные обобщенные математические модели, вычислительные алгоритмы и программные комплексы на основе теории упругих деформаций и уточненной теории Власова-Джанелидзе-Кабулова, линейных и геометрически нелинейных процессов перемещения точек стержней при совместном действии продольных, поперечных и крутильных сил внедрены на территориальных объектах АК «Кашкадарё пармалаш ишлари» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций № 33-8/2238 от 2 апреля 2018 года). Внедрение научных результатов работы, т.е. программного обеспечения, позволило увеличить на 10% прочностные качества стержней со сложной формой и сократить время автоматизированного процесса расчета в 4-5 раз;

программный комплекс, созданный на основе математических моделей и вычислительных алгоритмов линейных и геометрически нелинейных задач пространственно-нагруженных стержней со сложной конфигурацией «Автоматизированная система расчёта напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел со сложной конфигурацией» внедрен в проектно-конструкторской деятельности в Национальной холдинговой компании «Uzbekneftgaz» Акционерной компании «Uztransgaz» Унитарного предприятия «Transgazinjiniring» на скважинах № 841, 842 подземного хранилища газа «Газли» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций № 33-8/2238 от 2 апреля 2018 года). Внедрение полученных научных результатов позволило автоматизировать процесс работы стержневых систем буровых инструментов и показало, что расчет напряженно-деформированного состояния стержневых систем со сложной конструкционной формой дает возможность увеличить производительность на 15% и снижает трудоёмкость в 5-7 раза за счет повышения оперативности расчетных работ на компьютере;

программный комплекс, созданный на основе математической модели и вычислительных алгоритмов, и программный комплекс на основе теории упругих деформаций и уточненной теории Власова-Джанелидзе-Кабулова статики и динамики, линейных и геометрически нелинейных процессов перемещения точек стержней при совместном действии продольных, поперечных и крутильных колебаний «Расчет напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел в задачах кручения» внедрены в научных исследованиях Государственного предприятия «Геолтехснаб» Государственного комитета геологии (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций № 33-8/2238 от 2 апреля 2018 года). Внедрение полученных научных результатов позволило увеличить быстродействие проведения экспериментов в 5-6 раза;

математические модели и алгоритмы решения линейных и геометрически нелинейных задач пространственно-нагруженных стержней со сложной конфигурацией внедрены в Узбекистанском научно-инженерном обществе нефтяной и газовой промышленности (УзНИОНГП) в процессе проектирования и расчета стержневых систем в бурильных установках (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций № 33-8/2238 от 2 апреля 2018 года). Внедрение научных результатов исследования позволило увеличить на 10% прочностные качества стержней со сложной формой и сократить время вычислительного процесса в 5-6 раз.

Апробация результатов исследования. Теоретические и прикладные результаты данного исследования докладывались и обсуждались на 8 международных и 11 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации. По теме исследования опубликованы 38 научных работ, из них 1 монография, научные статьи в 4 зарубежных и 11 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получены 4 свидетельства о регистрации программных средств для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертация содержит 198 страниц и состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, результаты апробации работы, сведения о публикации результатов работы и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Математические модели линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении»** приведен обзор и анализ литературных источников по математическому моделированию линейных и геометрически нелинейных процессов элементов конструкций типа стержней.

На основе вариационного принципа Остроградского-Гамильтона разработаны математические модели геометрически линейных и нелинейных задач перемещения точек стержня при пространственном нагружении и совместном действии продольных, поперечных и крутильных колебаний. При разработке моделей применяются геометрические соотношения Коши, закон Гука и прямолинейные системы координат.

В общем виде выписываем вариационный принцип Остроградского-Гамильтона:

$$\delta\int_{t_1}^{t_2}(K-\Pi+A)dt=0, \qquad (1)$$

где *K*, *П* - кинетическая и потенциальная энергии; *A* - работа внешних объемных и поверхностных сил.

На основе теории упругих деформаций и уточненной теории Власова-Джанелидзе-Кабулова перемещения точек стержня при пространственном нагружении под совместным действием продольных, поперечных и крутильных сил представляем в виде

$$\left.\begin{aligned}
&u_1(x,y,z,t)=u(x,t)-z\alpha_1(x,t)-y\alpha_2(x,t)+\varphi(y,z)\times\\
&\times\vartheta(x,t)+a_1(z)\beta_1(x,t)+a_2(y)\beta_2(x,t),\\
&u_2(x,y,z,t)=v(x,t)+z\theta(x,t),\\
&u_3(x,y,z,t)=w(x,t)-y\theta(x,t),
\end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где u_1,u_2,u_3 – компоненты вектора перемещений; u,v,w – перемещения срединной линии стержня; α_1,α_2 – углы поворота сечений при чистом изгибе; ϑ – угол кручения по длине стержня; β_1,β_2 – углы поперечного сдвига; θ – угол закручивания; a_1,a_2 – заданные функции; φ(y,z) – функция кручения Сен-Венана.

На основе соотношения Коши с учетом формулы (2) компоненты деформации при пространственном нагружении определяются в следующем виде:

$$\begin{aligned}
&\varepsilon_{11}=\frac{\partial u}{\partial x}-z\frac{\partial\alpha_1}{\partial x}-y\frac{\partial\alpha_2}{\partial x}+\varphi\frac{\partial\vartheta}{\partial x}+a_1\frac{\partial\beta_1}{\partial x}+a_2\frac{\partial\beta_2}{\partial x},\\
&\varepsilon_{12}=-\alpha_2+\vartheta\frac{\partial\varphi}{\partial y}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial y}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}+z\frac{\partial\theta}{\partial x},\\
&\varepsilon_{13}=-\alpha_1+\vartheta\frac{\partial\varphi}{\partial z}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial z}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}-y\frac{\partial\theta}{\partial x}.
\end{aligned} \qquad (3)$$

На основе формул (2) и (3) закон Гука представляем следующим образом:

$$\begin{aligned}
&\sigma_{11}=E\varepsilon_{11}=E\left(\frac{\partial u}{\partial x}-z\frac{\partial\alpha_1}{\partial x}-y\frac{\partial\alpha_2}{\partial x}+\varphi\frac{\partial\vartheta}{\partial x}+a_1\frac{\partial\beta_1}{\partial x}+a_2\frac{\partial\beta_2}{\partial x}\right),\\
&\sigma_{12}=G\varepsilon_{12}=G\left(-\alpha_2+\vartheta\frac{\partial\varphi}{\partial y}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial y}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}+z\frac{\partial\theta}{\partial x}\right),\\
&\sigma_{13}=G\varepsilon_{13}=G\left(-\alpha_1+\vartheta\frac{\partial\varphi}{\partial z}+\beta_1\frac{\partial a_1}{\partial z}+\beta_2\frac{\partial a_2}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}-y\frac{\partial\theta}{\partial x}\right).
\end{aligned} \qquad (4)$$

На основе вариационного принципа Остроградского-Гамильтона разработана математическая модель линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении.

Уравнения колебания стержня:

$$
\begin{aligned}
&-\rho F\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+\rho S_y\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}-\rho S_\varphi\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}-\\
&-\rho S_{\alpha_1}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}-\rho S_{\alpha_2}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial N_x}{\partial x}+q(u,x,t)=0,\\
&-F\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}-S_y\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_y}{\partial x}+q(v,x,t)=0,\\
&-F\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}-S_z\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_z}{\partial x}+q(w,x,t)=0,\\
&S_y\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-I_y\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}-I_{zy}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}+I_{z\varphi}\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}+I_{z\alpha_1}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}+\\
&+I_{z\alpha_2}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}-\frac{\partial M_y}{\partial x}+Q_z+M(\alpha_1,x,t)=0,\\
&S_z\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-I_{yz}\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}-I_z\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}+I_{y\varphi}\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}+I_{y\alpha_1}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}+\\
&+I_{y\alpha_2}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}-\frac{\partial M_z}{\partial x}+Q_y+M(\alpha_2,x,t)=0,\\
&-I_\rho\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2}-S_y\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}+S_z\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}-I_\rho\frac{\partial M_x}{\partial x}+M(\theta,x,t)=0,\\
&-S_\varphi\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+I_{\varphi z}\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+I_{\varphi y}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}-I_\varphi\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}-I_{\alpha_1\varphi}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}-\\
&-I_{\alpha_2\varphi}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_\varphi}{\partial x}-Q_\vartheta+M(\vartheta,x,t)=0,\\
&-S_{\alpha_1}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+I_{\alpha_1 z}\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+I_{y\alpha_1}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}-I_{\alpha_1\varphi}\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}-I_{\rho\alpha_1^2}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}-\\
&-I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_{\alpha_1}}{\partial x}-Q_{\beta_1}+M(\beta_1,x,t)=0,\\
&-S_{\alpha_2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+I_{\alpha_2 z}\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+I_{y\alpha_2}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}-I_{\alpha_2\varphi}\frac{\partial^2\vartheta}{\partial t^2}-I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial^2\beta_1}{\partial t^2}-\\
&-I_{\alpha_2^2}\frac{\partial^2\beta_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_{\alpha_2}}{\partial x}-Q_{\beta_2}+M(\beta_2,x,t)=0.
\end{aligned}
\qquad (5)
$$

Обобщенные начальные условия следующие:

$$
\left[F\frac{\partial u}{\partial t}-S_y\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}-S_z\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}+S_\varphi\frac{\partial\vartheta}{\partial t}+S_{\alpha_1}\frac{\partial\beta_1}{\partial t}+S_{\alpha_2}\frac{\partial\beta_2}{\partial t}\right]\delta u\Big|_t=0,
$$

$$\left[-S_y\frac{\partial u}{\partial t}+I_y\frac{\partial \alpha_1}{\partial t}+I_{zy}\frac{\partial \alpha_2}{\partial t}-I_\varphi\frac{\partial \vartheta}{\partial t}-I_{\alpha_1}\frac{\partial \beta_1}{\partial t}-I_{\alpha_2}\frac{\partial \beta_2}{\partial t}\right]\delta\alpha_1\Big|_t=0,$$

$$\left[-S_z\frac{\partial u}{\partial t}+I_{zy}\frac{\partial \alpha_1}{\partial t}+I_z\frac{\partial \alpha_2}{\partial t}-I_{y\varphi}\frac{\partial \vartheta}{\partial t}-I_{y\alpha_1}\frac{\partial \beta_1}{\partial t}-I_{y\alpha_2}\frac{\partial \beta_2}{\partial t}\right]\delta\alpha_2\Big|_t=0,$$

$$\left[F\frac{\partial v}{\partial t}+S_y\frac{\partial \theta}{\partial t}\right]\delta v\Big|_t=0,\quad \left[F\frac{\partial w}{\partial t}-S_z\frac{\partial \theta}{\partial t}\right]\delta w\Big|_t=0, \tag{6}$$

$$\left[S_{\alpha_1}\frac{\partial u}{\partial t}-I_{z\alpha_1}\frac{\partial \alpha_1}{\partial t}-I_{y\alpha_1}\frac{\partial \alpha_2}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_1}\frac{\partial \vartheta}{\partial t}+I_{\alpha_1^2}\frac{\partial \beta_1}{\partial t}+I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial \beta_2}{\partial t}\right]\delta\beta_1\Big|_t=0,$$

$$\left[S_{\alpha_2}\frac{\partial u}{\partial t}-I_{z\alpha_2}\frac{\partial \alpha_1}{\partial t}-I_{y\alpha_2}\frac{\partial \alpha_2}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_2}\frac{\partial \vartheta}{\partial t}+I_{\alpha_1\alpha_2}\frac{\partial \beta_1}{\partial t}+I_{\alpha_2^2}\frac{\partial \beta_2}{\partial t}\right]\delta\beta_2\Big|_t=0,$$

$$\left[S_y\frac{\partial v}{\partial t}-S_z\frac{\partial w}{\partial t}+I_p\frac{\partial \theta}{\partial t}\right]\delta\theta\Big|_t=0,$$

$$\left[S_\varphi\frac{\partial u}{\partial t}-I_{z\varphi}\frac{\partial \alpha_1}{\partial t}-I_{y\varphi}\frac{\partial \alpha_2}{\partial t}+I_\varphi\frac{\partial \vartheta}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_1}\frac{\partial \beta_1}{\partial t}+I_{\varphi\alpha_2}\frac{\partial \beta_2}{\partial t}\right]\delta\vartheta\Big|_t=0.$$

Естественные граничные условия следующие:

$$\left[-N_x+P_1\right]\delta u\Big|_x=0,\ \left[-Q_y+P_2\right]\delta v\Big|_x=0,\ \left[-Q_z+P_3\right]\delta w\Big|_x=0,$$

$$\left[-M_x+M(zP_2-yP_3)\right]\delta\theta\Big|_x=0,\ \left[-M_\varphi+M(\varphi P_1)\right]\delta\vartheta\Big|_x=0,$$

$$\left[-M_{\alpha_1}+M(a_1P_1)\right]\delta\beta_1\Big|_x=0,\ \left[-M_{\alpha_2}+M(a_2P_1)\right]\delta\beta_2\Big|_x=0,$$

$$\left[-M_y-M(zP_1)\right]\delta\alpha_1\Big|_x=0,\ \left[M_z-M(yP_1)\right]\delta\alpha_2\Big|_x=0. \tag{7}$$

С учетом уточненной теории Власова-Джанелидзе-Кабулова выражения для перемещения точек стержня при крутильных силах представляем в виде гипотез:

$$u_1=\varphi(y,z)\frac{\partial\theta(x,t)}{\partial x},\quad u_2=z\theta(x,t),\quad u_3=-y\theta(x,t), \tag{8}$$

где $\dfrac{\partial\theta(x,t)}{\partial x}$ - относительный угол закручивания.

В статических постановках выводятся уравнения и соответствующие граничные условия относительно θ и φ:

$$\frac{\partial^4\theta}{\partial x^4}-r^2\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}=0, \tag{9}$$

$$\text{при}\quad x=0:\quad \theta=0,\ \frac{\partial\theta}{\partial x}=0,$$

$$\text{при}\quad x=l:\quad \frac{\partial^3\theta}{\partial x^3}-r^2\frac{\partial\theta}{\partial x}+\beta_{1H}=0,\quad \frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}=0; \tag{10}$$

$$\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}\right)+\bar{\psi}_1\varphi=0; \tag{11}$$

$$\begin{aligned} &\text{при}\quad z=\pm a: \quad \left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}-y\right)=0,\\ &\text{при}\quad y=\pm b: \quad \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}+z\right)=0. \end{aligned} \tag{12}$$

Здесь коэффициенты – однократные или двукратные интегралы. Для их вычисления используется метод Гаусса.

Рассмотрим задачу перемещения точек в нелинейной постановке при пространственном нагружении стержней при сгибании с кручением, продольном сгибании и продольном кручении и выразим перемещения в виде

$$\left.\begin{aligned} &u_1(x,y,z,t)=u(x,t)-z\alpha_1(x,t)-y\alpha_2(x,t),\\ &u_2(x,y,z,t)=v(x,t)+z\theta(x,t), \qquad u_3(x,y,z,t)=w(x,t)-y\theta(x,t). \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Сформируем соотношения Коши:

$$\varepsilon_{11}=\frac{\partial u_1}{\partial x}+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial u_3}{\partial x}\right)^2\right],$$

$$\varepsilon_{12}=\frac{\partial u_1}{\partial y}+\frac{\partial u_2}{\partial x}+\frac{\partial u_1}{\partial x}\frac{\partial u_1}{\partial y}+\frac{\partial u_2}{\partial x}\frac{\partial u_2}{\partial y}+\frac{\partial u_3}{\partial x}\frac{\partial u_3}{\partial y},$$

$$\varepsilon_{13}=\frac{\partial u_1}{\partial z}+\frac{\partial u_3}{\partial x}+\frac{\partial u_1}{\partial x}\frac{\partial u_1}{\partial z}+\frac{\partial u_2}{\partial x}\frac{\partial u_2}{\partial z}+\frac{\partial u_3}{\partial x}\frac{\partial u_3}{\partial z}.$$

Из вариационного уравнения (1) получаем следующую систему уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями.

Уравнения колебания стержня:

$$-\rho F\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+\rho S_y\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}+\frac{\partial N_x}{\partial x}+\frac{\partial \mathbf{R}_1}{\partial \mathbf{x}}+\left(\bar{F}_1+\bar{q}_1\right)=0,$$

$$-\rho F\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}-\rho S_y\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_2}{\partial x}+\frac{\partial \mathbf{R}_2}{\partial \mathbf{x}}+\left(\bar{F}_2+\bar{q}_2\right)=0,$$

$$-\rho F\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2}+\frac{\partial Q_3}{\partial x}+\frac{\partial \mathbf{R}_3}{\partial \mathbf{x}}+\left(\bar{F}_3+\bar{q}_3\right)=0,$$

$$\rho S_y\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-\rho I_y\frac{\partial^2\alpha_1}{\partial t^2}-\rho I_{yz}\frac{\partial^2\alpha_2}{\partial t^2}+\frac{\partial M_y}{\partial x}+\frac{\partial \mathbf{R}_4}{\partial \mathbf{x}}-\left(M_y\left(\bar{F}_1\right)+M_y\left(\bar{q}_1\right)\right)=0,$$

$$\rho S_z\frac{\partial u}{\partial t}-\rho I_{yz}\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}-\rho I_z\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}+\frac{\partial M_z}{\partial x}+\frac{\partial \mathbf{R}_5}{\partial \mathbf{x}}-\left(M_z\left(\bar{F}_1\right)+M_z\left(\bar{q}_1\right)\right)=0,$$

$$-\rho S_y\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}+\rho S_z\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+\rho I_\rho\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2}+\frac{\partial M_x}{\partial x}+\frac{\partial \mathbf{R}_6}{\partial \mathbf{x}}+\left(M_x\left(F_{23}\right)+M_x\left(q_{23}\right)\right)=0. \tag{14}$$

Обобщенные начальные условия:

$$\left[\rho F\frac{\partial u}{\partial t}-\rho S_y\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}-\rho S_z\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}\right]\delta u\Big|_t=0,$$

$$\left[-\rho S_y\frac{\partial u}{\partial t}+\rho I_y\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}+\rho I_{yz}\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}\right]\delta\alpha_1\Big|_t=0,$$

$$\left[-\rho S_z\frac{\partial u}{\partial t}+\rho I_{yz}\frac{\partial\alpha_1}{\partial t}+\rho I_z\frac{\partial\alpha_2}{\partial t}\right]\delta\alpha_2\Big|_t=0,$$

$$\left[\rho F\frac{\partial v}{\partial t}+\rho S_y\frac{\partial\theta}{\partial t}\right]\delta v\Big|_t=0,\quad \left[\rho F\frac{\partial w}{\partial t}-\rho S_z\frac{\partial\theta}{\partial t}\right]\delta w\Big|_t=0,$$

$$\left[\rho S_y\frac{\partial v}{\partial t}-\rho S_z\frac{\partial w}{\partial t}+\rho I_\rho\frac{\partial\theta}{\partial t}\right]\delta\theta\Big|_t=0. \tag{15}$$

Естественные граничные условия:

$$[-N_x+R_1+\bar{\varphi}_1]\delta u\big|_x=0,\quad [-Q_2+R_2+\bar{\varphi}_2]\delta v\big|_x=0,$$

$$[-Q_3+R_3+\bar{\varphi}_3]\delta w\big|_x=0,\quad [-M_y+R_4+M_y(\varphi_1)]\delta\alpha_1\big|_x=0,$$

$$[-M_z+R_5+M_z(\varphi_1)]\delta\alpha_2\big|_x=0,\quad [-M_x+R_6+M_x(\varphi_{23})]\delta\theta\big|_x=0. \tag{16}$$

Рассмотрим перемещения точек стержня при нагружении с учетом поперечного изгиба в нелинейных постановках и представляем их в виде

$$u_1(x,y,z,t)=u-z\alpha,\quad u_2=0,\quad u_3(x,y,z,t)=w. \tag{17}$$

Соотношения Коши на основе (17) имеют следующий вид:

$$\varepsilon_{11}=\frac{\partial u_1}{\partial x}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_3}{\partial x}\right)^2,\quad \varepsilon_{13}=\frac{\partial u_1}{\partial z}+\frac{\partial u_3}{\partial x}+\frac{\partial u_3}{\partial x}\frac{\partial u_3}{\partial z}.$$

Выведены уравнения колебания стержня для случая поперечного изгиба в нелинейной постановке с соответствующими начальными и граничными условиями.

Система уравнений колебания стержня:

$$-\frac{\partial^2\bar{u}^k}{\partial\bar{t}^2}+\frac{\partial^2\bar{u}^k}{\partial\bar{x}^2}+\frac{l^2}{EFa}(f_1+\bar{q}_1)=0,$$

$$-\frac{\partial^2\bar{w}^k}{\partial\bar{t}^2}+\frac{1}{2(1+\mu)}\frac{\partial^2 w^k}{\partial\bar{x}^2}+\Phi_2^{k-1}+\frac{l^2}{EFa}(f_3+\bar{q}_3)=0,$$

$$-\frac{I_y}{Fa^2}\frac{\partial^2\alpha^k}{\partial\bar{t}^2}+\frac{I_y}{Fa^2}\frac{\partial^2\alpha^k}{\partial\bar{x}^2}-\frac{l^2}{EFa^2}\left(M(f_1)+M(\bar{q}_1)\right)=0. \tag{18}$$

Здесь $\Phi_2^{k-1}=\dfrac{\partial^2\bar{w}^{k-1}}{\partial\bar{x}^2}\left(\dfrac{l}{a}\dfrac{\partial\bar{u}^{k-1}}{\partial\bar{x}}\right)+\dfrac{\partial\bar{w}^{k-1}}{\partial\bar{x}}\left(\dfrac{l}{a}\dfrac{\partial^2\bar{u}^{k-1}}{\partial\bar{x}^2}\right).$

Обобщенные начальные условия:

$$\left[\frac{\partial \bar{u}^k}{\partial \bar{t}}\right] t_0 \delta \bar{u}\Bigg|_{\bar{t}} = 0, \quad \left[\frac{\partial \bar{w}^k}{\partial \bar{t}}\right] t_0 \delta \bar{w}\Bigg|_{\bar{t}} = 0, \quad \left[\frac{I_y}{Fa^2}\frac{\partial \alpha^k}{\partial t}\right] t_0 \delta \alpha\Bigg|_{\bar{t}} = 0. \tag{19}$$

Естественные граничные условия:

$$\left[-\frac{l\partial \bar{u}^k}{\partial \bar{x}} + \frac{l^2}{EFa}\bar{\varphi}_1\right]\delta \bar{u}\Bigg|_{\bar{x}} = 0,$$

$$\left[-\frac{1}{2(1+\mu)}\left(l\frac{\partial \bar{w}^k}{\partial \bar{x}}\right) - \bar{\Phi}_2^{k-1} + \frac{l^2}{EFa}\bar{\varphi}_3\right]\delta \bar{w}\Bigg|_{\bar{x}} = 0,$$

$$\left[-\frac{I_y l \partial \alpha^k}{Fa^2 \partial \bar{x}} + \frac{l^2}{EFa^2}M(\varphi_1)\right]\delta \alpha\Bigg|_{\bar{x}} = 0. \tag{20}$$

Здесь

$$\bar{\Phi}_2^{k-1} = \frac{\partial \bar{w}^{k-1}}{\partial \bar{x}}\left(a\frac{\partial \bar{u}^{k-1}}{\partial \bar{x}}\right).$$

Таким образом, на основе вариационного принципа Остроградского - Гамильтона разработаны математические модели для линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении, описываемых системами нелинейных дифференциальных уравнений.

При решении уравнений математических моделей использованы безразмерные величины: $u = a\bar{u}$, $v = a\bar{v}$, $w = a\bar{w}$, $x = l\bar{x}$, $t = t_0\bar{t}$.

Во второй главе диссертации **«Алгоритмы решения линейных и геометрически нелинейных задач стержней произвольного сечения»** разработаны вычислительные алгоритмы решения статики и динамики, линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении на основе центральных конечных разностей, методов R-функций Рвачева (RFM) и последовательных приближений. Сформулированы геометрические и смешанные граничные условия.

Дифференциальные уравнения колебания (5), (14), (18) при начальных (6), (15), (19) и граничных (7), (16), (20) условиях представляем в векторном виде:

$$A\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial t^2} + \bar{A}\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial x^2} + B\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + C\bar{U} + \bar{F} = 0, \tag{21}$$

$$\left[-A\frac{\partial \bar{U}}{\partial t}Et_0\right]\delta \bar{U}\Bigg|_t = 0, \tag{22}$$

$$\left[\left(\bar{A}\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + B\bar{U} + \bar{\Phi}_{\varphi}\right)El\right]\delta \bar{U}\Bigg|_x = 0, \tag{23}$$

$$M\frac{\partial^2 \bar{U}^k}{\partial \bar{t}^2} + A\frac{\partial^2 \bar{U}^k}{\partial \bar{x}^2} + B\frac{\partial \bar{U}^k}{\partial \bar{x}} + \mathrm{E}\Phi^{k-1} + D\bar{F} = 0, \tag{24}$$

$$\left[-\bar{M}\frac{\partial\bar{U}^k}{\partial\bar{t}}Et_0\right]\delta\bar{U}\bigg|_{\bar{t}}=0, \tag{25}$$

$$\left[\left(\bar{A}\frac{\partial\bar{U}^k}{\partial\bar{x}}+\bar{B}\bar{U}^k+\bar{\bar{\Phi}}^{k-1}+\bar{D}\bar{\Phi}(\varphi)\right)El\right]\delta\bar{U}\bigg|_{\bar{x}}=0, \tag{26}$$

$$M\frac{\partial^2\bar{U}^k}{\partial t^2}+A\frac{\partial^2\bar{U}^k}{\partial x^2}+E\bar{\Phi}^{k-1}+D\bar{F}=0, \tag{27}$$

$$\left[-M\frac{\partial\bar{U}^k}{\partial t}\right]Et_0\delta\bar{U}\bigg|_{\bar{t}}=0, \tag{28}$$

$$\left[\bar{A}\frac{\partial\bar{U}^k}{\partial x}+E\bar{\bar{\Phi}}^{k-1}+\bar{D}\bar{F}(\varphi)\right]El\delta\bar{U}\bigg|_{\bar{x}}=0. \tag{29}$$

Аппроксимуя краевые задачи (21)-(29) методом центральных конечных разностей, имеем следующие системы алгебраических уравнений:

$$\bar{U}_{i,j+1}=-\tilde{A}\bar{U}_{i-1,j}+\tilde{B}\bar{U}_{i,j}-\tilde{C}\bar{U}_{i+1,j}-\bar{U}_{i,j-1}-\tilde{F}_{i,j}. \tag{30}$$

1) При $i=1, j=0$ решается уравнение

$$\bar{U}_{1,1}=\frac{1}{2}\left[A_1\bar{U}_{1,0}+B_1\bar{U}^0_{2,0}+2\tau A^{-1}\dot{\bar{U}}^0_{1,0}+\mathrm{P}_{0,0}-\tilde{F}_{1,0}\right];$$

2) при $i=i, j=0$ решается уравнение

$$\bar{U}_{i,1}=\frac{1}{2}\left[-\tilde{A}\bar{U}^0_{i-1,0}+\tilde{B}\bar{U}^0_{i,0}-\tilde{C}\bar{U}^0_{i+1,0}+2\tau A^{-1}\dot{\bar{U}}^0_{i,0}-\tilde{F}_{i,0}\right];$$

3) при $i=N-1, j=0$ решается уравнение

$$\bar{U}_{N-1,1}=\frac{1}{2}\left[\bar{A}_1\bar{U}^0_{N-2,0}+\bar{B}_1\bar{U}^0_{N-1,0}+2\tau A^{-1}\dot{\bar{U}}^0_{N-1,0}+\bar{\mathrm{P}}_{N,0}-\tilde{F}_{N-1,0}\right];$$

4) при $i=1, j=1$ решается уравнение $\bar{U}_{1,2}=A_1\bar{U}_{1,1}+B_1\bar{U}_{2,1}\bar{U}^0_{1,0}+\mathrm{P}_{0,1}-\tilde{F}_{1,1}$;

5) при $i=i, j=1$ решается уравнение

$$\bar{U}_{i,2}=-\tilde{A}\bar{U}_{i-1,1}+\tilde{B}\bar{U}_{i,1}-\tilde{C}\bar{U}_{i+1,1}-\bar{U}^0_{i,0}-\tilde{F}_{i,0};$$

6) при $i=N-1, j=1$ решается уравнение

$$\bar{U}_{N-1,2}=\bar{A}_1\bar{U}_{N-2,1}+\bar{B}_1\bar{U}^0_{N-1,1}-\bar{U}^0_{N-1,0}+\bar{P}_{N,1}-\tilde{F}_{N-1,1};$$

7) при $i=1, j=j$ решается уравнение

$$\bar{U}_{i,j+1}=-\tilde{A}\bar{U}_{0,j}+\tilde{B}\bar{U}_{1,j}-\tilde{C}\bar{U}_{2,j}-\bar{U}_{1,j-1}-\tilde{F}_{1,j};$$

8) при $i=i, j=j$ решается уравнение (30);

9) при $i=N-1, j=j$ решается уравнение

$$\bar{U}_{N-1,j+1}=\bar{A}_1\bar{U}_{N-2,j}+\bar{B}_1\bar{U}_{N-1,j}-\bar{U}_{N-1,j-1}+\bar{P}_{N,j}-\tilde{F}_{N-1,j}.$$

Таким образом решаются краевые задачи (21)-(29).

Для интегрирования систем разрешающих уравнений равновесия призматических тел неклассического сечения (9)-(12) используются методы R-функции Рвачева и последовательных приближений.

Последовательность алгоритма заключается в следующем:

1) предполагая, что в нулевом приближении $\overline{\psi}_1 = 0$, решаем уравнения функции кручения (11) с краевыми условиями (12);

2) используя это решение (φ), вычисляем значения коэффициентов уравнений (9), (10) и θ;

3) используя решения (9) и (10), вычисляем коэффициенты уравнений функции кручения и решаем заново (11) и (12);

4) используя это решение, вычисляем коэффициенты уравнений (9), (10) и далее их решаем.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие

$$\left|\varphi^{i+1}(z,y)-\varphi^{i}(z,y)\right| \le \varepsilon.$$

Считая, что коэффициенты уравнений (9) и (10) вычислены, построим их решение в виде

$$\theta = c_1 + c_2 x + c_3 sh(rx) + c_4 ch(rx).$$

Значения постоянных c_1, c_2, c_3, c_4 определяются из условий для $x=0$ и $x=l$.

Таким образом, строится решение для призматических тел прямоугольного сечения.

В случае сложного сечения тела построение формы φ проводится с помощью метода R-функций, и далее строится решение. При этом структура решения краевых задач имеет вид

$$\varphi \equiv \Phi - \omega D_1 \Phi + \varphi_0 \omega,$$

где $D_1 = \dfrac{\partial \Phi}{\partial z}\dfrac{\partial \omega}{\partial z} + \dfrac{\partial \Phi}{\partial y}\dfrac{\partial \omega}{\partial y}$ D_1 - дифференциальный оператор, $\Phi = \sum\limits_{i=0}^{n} \sum\limits_{j=0}^{i} C_{ij} Z_i(z) Y_j(y)$ Φ - неопределенная компонента структуры решений, C_{ij} - неизвестные коэффициенты, определяемые методом Бубнова-Галёркина; $Z_i(z) Y_j(y)$ – полная система базисных полиномов (степенных, тригонометрических, Чебышева и др.).

В третьей главе диссертации **«Автоматизация решения линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении сложной конфигурации в разрезе»** разработан программный комплекс для расчета линейных и геометрически нелинейных задач пространственного нагружения стержней сложной конфигурации.

Структура комплекса программ состоит из следующих блоков (рис. 1):

1. ROP - библиотека модулей для R-операций и картежных операций.
2. COMM - библиотека типов и констант.
3. INTEG - библиотека для определения подынтегральных выражений.
4. STERJOBL - библиотека для функций геометрии области.

5. BASPOL - библиотека для структурных формул.

6. ITERKRUCH - библиотека для процессов итерации.

7. RAZR - библиотека для формирования элементов разрешающего уравнения.

8. RESHRU - библиотека модулей для решения разрешающих уравнений.

9. OFORM - библиотека модулей для оформления результатов расчета.

10. Блок «Управляющая программа».

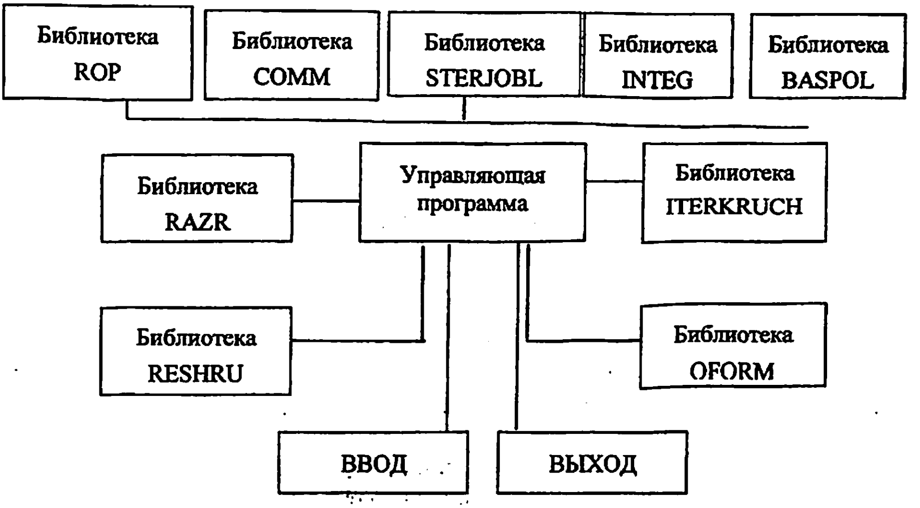


Рис. 1. Структура комплекса программ

Данный КП реализован на языке Java в среде MS WINDOWS. Каждая библиотека КП состоит из класса.

Приведена инструкция к использованию программного обеспечения.

В четвертой главе диссертации **«Численный анализ линейных и геометрически нелинейных задач стержней сложной конфигурации при пространственном нагружении»** решены задачи стесненного кручения призматического тела прямоугольного и произвольного сечения с разными полостями. Исследована численная сходимость метода R-функций в задачах стесненного кручения, колебания пространственно-нагруженных стержней в линейных и нелинейных постановках. Решены линейные и геометрически нелинейные задачи стержней при пространственном нагружении.

Для обоснования достоверности решения линейных и нелинейных задач стержней имеем: а) два конца стержня жестко защемлены; б) один конец защемлен, а второй конец свободный.

Для расчета стержней с двумя защемленными концами использованы следующие значения параметров: модуль Юнга $E=2\times10^5$ $Па$, коэффициент

Пуассона $\nu_1 = 0,3$ (для мягкой стали), длина $l = 10$ *м*, рассматриваемые поперечные сечения $a = 0,02$ *м*, $b = 0,02$ *м*, поверхностные нагрузки $q_1 = 0,015$ Н, $q_2 = 0,01$ Н, $q_3 = 0,02$ Н, $M = 0,012$ Н·*м*.

Полученные результаты приведены ниже в виде графиков.

На рис. 2 приведены графики результатов продольного перемещения u по длине стержня в моменты времени t = 20 *с*, 40 *с*, 80 *с*. Из графиков видно, что в разных значениях t по длине стержня в разных точках имеются разные результаты: ближе к точкам центра стержня появляются возрастающие синусоидальные амплитуды.

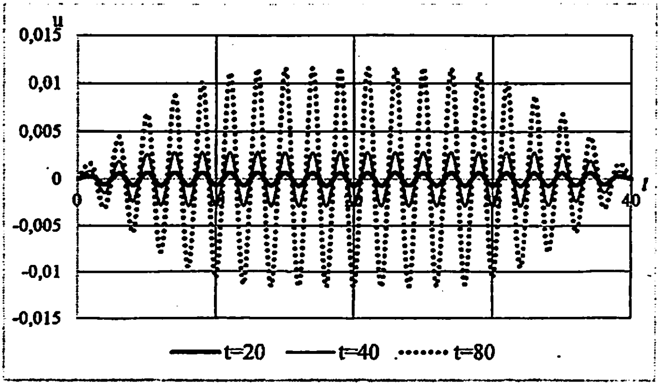


Рис. 2. Распространение продольных колебаний $u \times 10^6$ по длине стержня при l = 10 *м* в разные времена

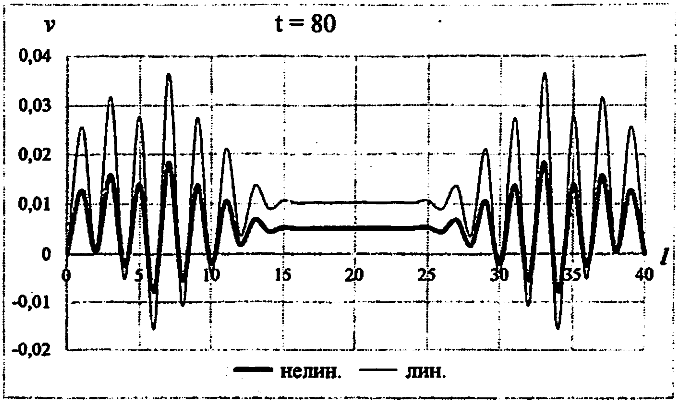


Рис. 3. Распространение поперечных колебаний $v \times 10^4$ по длине стержня в момент времени t = 80 *с*

Согласно рис. 2, у продольного перемещения u самое большое возмущение образуется в середине стержня. Далее значения перемещения уменьшаются по торцам стержня. При $t = 20$ c продольные перемещения u имеют самые малые значения и постепенно увеличиваются при $t = 40$ c, а при $t = 80$ c имеют самое большое значение.

На рис. 3 показаны поперечные колебания $v(x,t)$ стержня в линейных и нелинейных постановках для краевых условий, когда на двух концах стержень жестко защемлен при значении времени $80c$. Из рисунков видно, что у поперечных перемещений $v(x,t)$ самые большие возмущения появляются на торцах стрежня и постепенно уменьшаются в середине стержня.

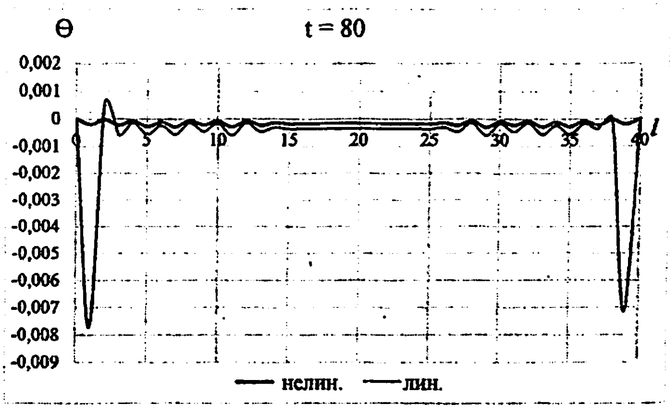


Рис. 4. Распространение колебания угла кручения $\theta \times 10^3$ по длине стержня в разные моменты времени

На рис. 4 приведены графики колебания угла кручения $\theta \cdot 10^3$ стержня в линейных и нелинейных постановках для краевых условий, когда на двух концах стержень жестко защемлен при значении времени $80c$. Данный рисунок демонстрирует локализацию больших амплитуд ближе к торцам стержня.

Рассмотрим другой случай, когда один конец защемлен, а второй свободный. Тогда условия имеют вид, приведенный на рис. 5, 6.

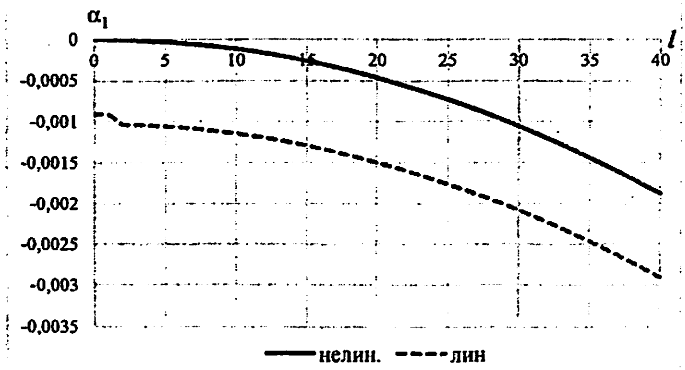


Рис. 5. Сравнение результатов угла наклона α_1 по длине стержня в линейных и нелинейных постановках

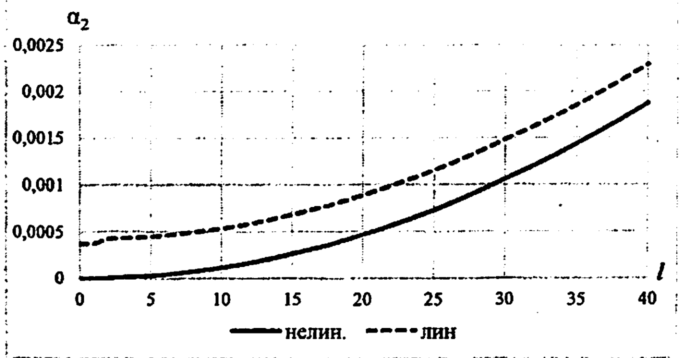


Рис. 6. Сравнение результатов угла наклона α_2 по длине стержня в линейных и нелинейных постановках

На рис. 5, 6 приведено сравнение графиков результатов углов наклона по длине стержня в линейных и нелинейных постановках. Как видно, разница результатов составляет 0,001.

Сравнение результатов угла кручения θ показало аналогичную картину, но разность в среднем составила 0,0001.

А при продольном $u(x,t)$ и вертикальном $v(x,t)$ и $w(x,t)$ перемещениях разница составляет примерно 0,00003. На всех этих рисунках показатели монотонно убывают $\alpha_2(x,t)$, и интервал разности составляет 0,0008. В то же время для вертикального перемещения он составляет 0,004. По этим параметрам показатели оказались монотонно возрастающими.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований диссертационной работы по теме «Математические модели и алгоритмы решения линейных и геометрически нелинейных задач пространственного нагружения стержней сложной конфигурации» сделаны следующие основные выводы:

1. На основе обобщённого вариационного принципа Остроградского-Гамильтона, теории упругих деформаций и уточненной теории Власова-Джанелидзе-Кабулова разработаны обобщенные математические модели для статики и динамики, линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении. Данные модели служат для подробного описания процессов геометрически линейного и нелинейного деформирования стержней с учетом совместного действия продольных, поперечных и крутильных сил.

2. Разработаны математические модели пространственно-нагруженных стержней с учетом стесненного кручения с соответствующими естественными начальными и граничными условиями. Модели служат для описания процессов напряженно-деформированного состояния призматического тела в задачах стесненного кручения.

3. Разработаны математические модели линейных и геометрически нелинейных задач стержней с учетом поперечного изгиба при пространственном нагружении. Данные модели служат для подробного описания процессов линейного и геометрически нелинейного деформирования стержней, изгибно-крутильных, продольно-изгибных и продольно-крутильных колебаний.

4. На основе метода центральных конечных разностей разработан вычислительный алгоритм для расчета статики и динамики линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении. На основе данного алгоритма решены тестовые примеры, полученные результаты оценены по критериям достоверности и точности.

5. Разработаны алгоритмы интегрирования систем разрешающих уравнений на основе методов R-функций (RFM) и последовательных приближений для стесненного кручения. На основе разработанных алгоритмов решены тестовые задачи, полученные результаты позволяют оценивать по критериям достоверности и точности.

6. Разработано программное обеспечение для расчета линейных и геометрически нелинейных задач стержней при пространственном нагружении. Данное программное обеспечение служит для исследования напряженно-деформированного состояния процессов геометрически линейного и нелинейного деформирования стержней с учетом совместного действия продольных, поперечных и крутильных сил.

7. Усовершенствована структура программного комплекса для расчета линейных задач пространственного нагружения стержней со сложной конфигурацией методом R-функций (RFM) и последовательных

приближений. Данный программный комплекс служит для исследования напряженно-деформированного состояния призматического тела в задачах стесненного кручения.

8. На основе созданных программных обеспечений исследованы процессы колебания пространственно-нагруженных стержней в линейных постановках, статика и динамика пространственно-нагруженных стержней в геометрически линейных и нелинейных постановках, решены задачи стесненного кручения призматического тела произвольного сечения с разными полостями. Данные результаты служат для точного исследования жизненных задач, встречающихся в практике.

9. Решены системы дифференциальных уравнений четвертого порядка для задач стесненного кручения с разными полостями произвольного сечения призматического тела. Сравнены аналитические и численные результаты, полученные с использованием метода R-функции (RFM) для классического сечения в разрезе. Данные результаты служат для точного исследования жизненных задач, встречающихся в практике.

10. Сформулированы линейные и геометрически нелинейные задачи конструкционных материалов типа стержня, используемых в практике проектно-изыскательных работ, и проведены численные эксперименты над ними. При этом решены системы из девяти линейных дифференциальных уравнений, связанных с девятью параметрами, и системы из шести нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. Анализ численных результатов показывает, что решение системы дифференциальных уравнений второго порядка с учетом всех параметров вектора перемещений по осям координат обеспечивает возможность подробного описания напряженно-деформированного состояния и физико-механических свойств рассматриваемого объекта. А это в свою очередь служит фундаментальной основой при формировании и выдаче соответствующих прикладных предложений и рекомендаций инженерам-проектировщикам.

11. Разработанные математические модели и программные обеспечения внедрены на объектах: в АК «Кашкадарё пармалаш ишлари» применены в процессах проектирования стержневых систем, в проектно-конструкторской деятельности Национальной холдинговой компании «Uzbekneftgaz» Акционерной компании «Uztransgaz» Унитарного предприятия «Transgazinjiniring», в научных исследованиях ГП «Геолтехснаб» Государственного комитета геологии, в Узбекистанском научно-инженерном обществе нефтяной и газовой промышленности (УзНИОНГП) в процессах проектирования и расчета стержневых систем. Результаты научных исследований обеспечили возможность сокращения времени вычислительного процесса в 4-5 раз и уменьшения погрешности вычислений на 16 %. Это служит для повышения качества и ускорения проектных процессов.

SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES DSc.27.06.2017.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC AND INNOVATION CENTER OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AT THE TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHOLOGIES

ANAROVA SHAHZODA AMANBAYEVNA

MATHEMATICAL MODELS AND ALGORITHMS OF SOLUTIONS OF LINEAR AND GEOMETRICALLY NONLINEAR PROBLEMS OF SPATIAL LOADING OF RODS OF COMPLEX CONFIGURATION

05.01.07 – Mathematical modeling. Numerical methods and software complexes

ABSTRACT OF THE DOCTORAL (DSc) DISSERTATION OF TECHNICAL SCIENCES

Tashkent-2018

The theme of doctoral (DSc) dissertation was registered with the number of B2017.2.DSc/T120 at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation has been prepared at Scientific and Innovation Center of Information and Communication Technologies at the Tashkent University of Information Techologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.tuit.uz and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal www.ziyonet.uz.

Scientific adviser:	**Yuldashev Tadjimat** doctor of technical sciences
Official opponents:	**Usmanov Rishat Niyazbekovich** doctor of technical sciences, professor
	Khujaev Ismatulla Kushayevich doctor of technical sciences
	Narmuradov Chari Begalievich doctor of physical-mathematics sciences, professor
Leading organization:	**Tashkent institute of Railway Transport Engineering**

The defense will take place "12" July 2018 at 900 on the meeting of Scientific council No. DSc.27.06.2017.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation is available at the Information Resourse Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 100). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on "28" June 2018 y.
(mailing report No. 8 on "26" June 2018 y.).

R.Kh.Khamdamov
Chairman of the scientific council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

F.M.Nuraliyev
Scientific secretary of scientific council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences

N.Ravshanov
Chairman of the academic seminar under the scientific council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of the dissertation of doctor of science (DSc))

The aim of research is the development of mathematical models, computational algorithms and software tools for investigating the statics and dynamics of linear and geometrically nonlinear problems of stress-strain state of rods of complex configuration under spatial loading.

The objects of research are strained processes in linear and geometrically nonlinear problems of the statics and dynamics of rods of complex configuration under spatial loading.

Scientific novelty of research is as follows:

on the basis of the theory of elastic strains and the refined Vlasov-Djanelidze-Kabulov theory, and using the Ostrogradsky-Hamilton variation principle, a generalized mathematical model of the statics and dynamics, of linear and geometrically nonlinear processes of displacement of rod points under the joint action of longitudinal, transverse and torsion forces has been developed;

mathematical models of the statics and dynamics, of linear and geometrically nonlinear problems of strain processes in spatially loaded rods with account of transverse shear and constrained torsion have been developed;

on the basis of the method of finite differences, a computational algorithm for solving the statics and dynamics, linear and geometrically nonlinear problems of rods under spatial loading, has been developed;

approximate analytical algorithms for calculation based on the R-function method (RFM) and the method of successive approximations of prismatic bodies of arbitrary cross section with a cavity of various configuration in constrained torsion problems have been developed;

the structure of software complex for carrying out a computational experiment and solving linear problems of prismatic bodies of arbitrary section with a cavity has been improved on the basis of Rvachev's methods of R-functions (RFM) and the method of successive approximations;

an improved structure of software complex for calculating and performing computational experiments in the statics and dynamics, linear and geometrically nonlinear problems of spatial loading of rods by the method of finite differences has been created.

Implementation of research results. On the basis of developed generalized mathematical model of linear and geometrically nonlinear problems of spatially loaded rods and computational algorithms, the following results for the created software are obtained:

generalized mathematical models, computational algorithms and software complexes developed on the basis of the theory of elastic strains and the refined Vlasov-Djanelidze-Kabulov theory, linear and geometrically nonlinear processes of displacement of rod points under the joint action of longitudinal, transverse and torsion forces are implemented on the territorial objects of JSC "Kashkadaryoparmalashishlari". An implementation of scientific results of the software allows to increase by 10% the strength properties of rods of complex configuration, to reduce the time of automated calculation process by 4-5 times;

software complex titled "Automated system for calculating stress-strain state of elastic prismatic bodies of complex configuration", developed on the basis of mathematical models and computational algorithms for linear and geometrically nonlinear problems of spatially loaded rods of complex configuration has been implemented in the design and development activities of the National Holding Company "Uzbekneftgaz" Joint-Stock Company "Uztransgaz" Unitary Enterprise "Transgazinjiniring" at wells No. 841, 842 of underground gas storage "Gazli" (Act of the Ministry of Information Technologies and Communications No. 33-8 / 2238 of April 2, 2018). The implementation of the obtained results allowed to automate the process of operation of the core systems of drilling rigs and stated that the calculation of stress-strain state of the rod systems of complex structural form makes it possible to increase productivity by 15% and to reduce labor intensity by 5-7 times due to increased efficiency of computer calculations;

program complex titled "Calculation of stress-strain state of elastic prismatic bodies in torsion problems" based on mathematical model, computational algorithms and software complex on the basis of the theory of elastic strains and the refined Vlasov-Djanelidze-Kabulov theory of the statics and dynamics, linear and geometrically nonlinear processes the displacement of rod points under combined action of longitudinal, transverse and torsional oscillations are introduced in scientific research of "Geoltekhsnab" State Enterprise of the State Geology Committee of Uzbekistan (Act of the Ministry of Information Technologies and Communications №33-8 / 2238 of April 2, 2018). The implementation of the obtained results allows to increase the rate of the experiments by 5-6 times;

mathematical models and algorithms for solving linear and geometrically nonlinear problems of spatially loaded rods of complex configuration are implemented in the Uzbek Scientific and Engineering Society of Oil and Gas Industry (UzNIONGP) in the process of designing and calculating the core systems in drilling rigs (Act of the Ministry of Information Technologies and Communications No. 33-8 / 2238 of 2 April 2018). The implementation of scientific research results allows to increase the strength properties of rods of complex configuration by 10%, and to reduce the computing time by 5-6 times.

The volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 198 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Анарова Ш.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел произвольного сечения. - Ташкент: Наврўз, 2017. – 112 с.

2. Анарова Ш.А. Численное моделирование пространственно-нагруженных стержней // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2000. - № 5. - С. 52-57 (05.00.00; № 5).

3. Қобулов В.Қ., Анарова Ш.А. Кесими тўғри тўрт бурчак, коваклари ихтиёрий бўлган эластик призматик жисмларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сиқилган буралиш масалаларида ўрганиш // Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг маърузалари журнали. - Тошкент, 2002. - № 6. - 25-27 б. (05.00.00; № 9).

4. Назиров Ш.А., Анарова Ш.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния призматических тел произвольного сечения в задачах стесненного кручения // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2003. - № 3. - С. 22-25 (05.00.00; № 5).

5. Кабулов В.К., Анарова Ш.А. Сравнение влияния полости на напряженное состояние призматических тел произвольного сечения в задачах стесненного кручения // Доклады АН РУз. - Ташкент, 2003. - № 6. - С. 7-10 (05.00.00; № 9).

6. Анарова Ш.А., Юлдашев Т. Математическая модель нелинейных уравнений колебаний стержней при динамическом нагружении // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2014. - № 6. - С. 36-42 (05.00.00; № 5).

7. Анарова Ш.А., Юлдашев Т. Математические модели пространственно-нагруженных стрежней с учетом функции кручения и поперечных сдвигов // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2014. - № 4(32). - С. 76-86 (05.00.00; № 10).

8. Анарова Ш.А. Численная сходимость метода R-функций в углах поперечного сечения на напряженное состояние призматических тел в задачах стесненного кручения // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2015 - № 3(36). - С. 113-120 (05.00.00; № 10).

9. Анарова Ш.А., Назиров А.Ш. Структура комплекса программ для исследования напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел произвольного сечения // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2016. - № 1(37). - С. 51-59 (05.00.00; № 10).

10. Анарова Ш.А. Численное моделирование колебания стержней // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2017. - № 5. - С. 20-34 (05.00.00; № 23).

11. Anarova Sh.A. Algorithm of solution of geometrically nonlinear problem of rods with arbitrary mechanical geometrical characteristics // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology - India, 2017. – Vol. 4, Issue 11. - Pp. 4796-4815 (05.00.00; № 8).

12. Анарова Ш.А., Юлдашев Т. Вывод дифференциальных уравнений колебания стержней при геометрически нелинейной постановке // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2018. - № 2. - С. 72-105 (05.00.00; № 23).

II бўлим (II часть; II part)

13. Nazirov Sh.A., Nuraliev F.M., Anarova Sh.A. Study of Numeric Convergence of the Method of R functions in Problems of Constraint Torsion // American Journal of Computational and Applied Mathematics. – USA, 2012. – Vol. 2 (4). - Pp.189-196.

14. Назиров Ш.А., Юлдашев Т., Анарова Ш.А. Вывод вариационных уравнений колебания тонкостенных стержней при пространственном нагружении // Вопросы вычислительной и прикладной математики: Сб. научн.тр. – Ташкент: Центр РППиАПК при ТУИТ, 2013. – вып.129. – С.155-166.

15. Назиров Ш.А., Юлдашев Т., Анарова Ш.А. Нелинейная математическая модель колебания тонкостенных стержней при пространственном нагружении // Вопросы вычислительной и прикладной математики: Сб. научн.тр. – Ташкент: Центр РПП и АПК при ТУИТ, 2013. – вып. 131. - С. 5-26.

16. Anarova Sh.A., Nuraliev F.M. Study of Stressed State of Elastic Prismatic Bodies of Arbitrary Section with a Cavity in Problems of Constraint Torsion // International Journal of Scientific and Innovative Mathematical Research. – India, 2015. – Vol. 3. - Issue 2. – Pp. 1-15. ISSN 2347-3142.

17. Юлдашев Т., Анарова Ш.А. Вывод математической модели пространственно-нагруженных стержней с учетом функции кручения и поперечных сдвигов // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2015. - № 1. - С. 28-40.

18. Anarova Sh.A., Nuraliev F.M., Dadenova G. Mathematical model of spatially loaded bars with account of torsion function and transverse shears // International Journal of Technical Research and Applications. India, 2016. - Vol. 4, Issue 1. - Pp. 22-32.

19. Анарова Ш.А., Сафаров Ш.Ш. Математическое обеспечение напряженно-деформированного состояния стержней при пространственном нагружении // Проблемы вычислительной и прикладной математики. - Ташкент, 2016. - № 4. - С. 20-34.

20. Курманбаев Б., Анарова Ш.А. Исследование влияния полости на напряженное состояние призматических тел в задачах стесненного кручения // Современные проблемы математической физики и информационных

технологий: Труды международной конференции. - Ташкент, 2005. – Т. 2. - С. 120-124.

21. Курманбаев Б., Назиров Ш.А., Анарова Ш.А. Технология упругого расчета призматических тел произвольного сечения // Современные проблемы математического моделирования: Материалы Республиканской научной конференции. – Ч. 2. - Нукус: КГУ, 2005. - С. 92-95.

22. Курманбаев Б., Назиров Ш.А., Анарова Ш.А. Исследование влияния формы углов сечения в призматических телах с полостью на напряженное состояние // Актуальные проблемы прикладной математики и механики: Тез. докл. Международной конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика НАН Украины Рвачева В.Л. – Харьков, 2006.

23. Назиров Ш.А., Анарова Ш.А. Математическая модель колебания пространственно нагруженных тонкостенных стержней // Современные проблемы механики и математики: Труды Международной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения академика НАН Украины Ярослава Степановича Подстригача и 40-летию созданного им научного учреждения в области механики и математики. 21-25 мая 2013. - Львов, 2013. - С. 81-83.

24. Назиров Ш.А., Юлдашев Т., Анарова Ш.А. Дифференциальные уравнения нелинейных задач стержней с учетом растяжения (сжатия) и изгиба // Современные проблемы дифференциальных уравнений и их приложения: Тез. докл. Республиканской научной конференции. 21-23 ноября 2013. – Ташкент, 2013. - С. 182-184.

25. Анарова Ш.А., Рустамова М.Я. Нелинейные уравнения колебаний стержней // Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий–Аль-Хоразми 2014: Материалы IV Международной научной конференции. 15-17 сентября 2014. – Самарканд, 2014. - С. 76-80.

26. Юлдашев Т., Анарова Ш.А. Вывод вариационных уравнений пространственно-нагруженных стрежней с учетом функции кручения и поперечных сдвигов // Современные методы математической физики и их приложения: Тез. докл. Республиканской научной конференции с участием зарубежных ученых. 15-17 апреля 2015. - Ташкент, 2015. - С. 244-245.

27. Юлдашев Т., Анарова Ш.А. Математическая модель пространственно-нагруженных стрежней с учетом функции кручения // Радиоэлектроника, информационные и телекоммуникационные технологии: проблемы и развитие: Материалы Международной научной конференции. 21-22 мая 2015. - Ташкент, 2015. - С. 14-17.

28. Юлдашев Т., Анарова Ш.А. Математические модели стержней с учетом погонной закрутки и функции кручения // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Материалы Республиканской научно-технической конференции. 7-8 сентября 2015. - Ташкент, 2015. - С. 266-272.

29. Анарова Ш.А., Сафаров Ш.Ш. Вычислительный алгоритм расчета стержней при пространственном динамическом нагружении // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Материалы Республиканской научно-технической конференции. 13-14 сентября 2016. - Джизак, 2016. - С.45-50.

30. Анарова Ш.А. Вычислительный алгоритм расчета нелинейных колебаний стержней при динамическом нагружении // Современные проблемы прикладной математики и информационных технологий-Аль-Хорезми 2016: Материалы V Международной конференции. 9-10 ноября 2016. - Бухара, 2016. - С. 37-40.

31. Анарова Ш.А., Эшкораева Н.Г. Вычислительный алгоритм расчета стержней при пространственном нагружении // Замонавий ахборот-коммуникация жорий этищда дастурий таъминотларни яратиш: муаммо ва ечимлар: Республика илмий-техникавий анжумани материаллари. 2016 йил, 8-9 сентябр. - Самарқанд, 2016. - 82-87 б.

32. Анарова Ш.А., Назиров А.Ш. Моделирование пространственно-нагруженных стержней // Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии реальных отраслей: Материалы Республиканской научно-технической конференции. 6-7 апреля 2017. - Ташкент, 2017. - С. 219-222.

33. Анарова Ш.А., Сафаров Ш.Ш. Математические обеспечение процесса колебания стержней в статической постановке // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Материалы Республиканской научно-технической конференции. 5-6 сентября 2017. - Ташкент, 2017. - С. 98-101.

34. Анарова Ш.А., Эшкараева Н.Г. Процессы решения геометрически нелинейной задачи стержней с произвольными механическими геометрическими характеристиками // Ахборот коммуникация технологиялари ва сонли моделлаштиришнинг амалий масалалари: Республика илмий-техника конференция материаллари. 2017 йил, 8-9 сентябр. - Самарканд, 2017. - 36-42 б.

35. Анарова Ш.А., Нуралиев Ф.М., Назиров А.Ш. Автоматизация системы расчета напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел со сложной конфигурацией // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 04237. 16.02.2017 г.

36. Нуралиев Ф.М., Анарова Ш.А. Расчет напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел в задачах стесненного кручения // АИС РУз. Свидетельство № DGU 04276. 01.03.2017 г.

37. Анарова Ш.А., Нуралиев Ф.М., Норматов И.Х. Автоматизация решения статико-напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел // АИС РУз. Свидетельство № DGU 04578. 13.07.2017 г.

38. Анарова Ш.А., Нуралиев Ф.М. Автоматизация решения напряженно-деформированного состояния упругих призматических тел с полостью со сложной конфигурацией // АИС РУз. Свидетельство № DGU 04778. 27.10.2017 г.

Автореферат «ТАТУ хабарлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди (20.06.2018й.).

Бичими $60x84^{1}/16$. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табоғи:3.75. Адади 100. Буюртма № 20.
Баҳоси келишилган нархда.
«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.