

**“TIQXMMI” MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI  
FUNDAMENTAL VA AMALIY TADQIQOTLAR INSTITUTI  
HUZURIDAGI № DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 RAQAMLI ILMIY  
KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**“TIQXMMI” MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

**NORMO‘MINOV BAHODIR ASHUROVICH**

**O‘ZGARUVCHAN QALINLIKLI QOVUSHQOQ-ELASTIK PLASTINA  
VA QAVARIQ QOBIQLARNING NOCHIZIQLI PARAMETRIK  
TEBRANISHLARINI BAHOLASH UCHUN SAMARALI ALGORITM VA  
DASTURLAR ISHLAB CHIQISH**

**05.01.07 – Matematik modellashtirish.**

**Sonli usullar va dasturlar majmui.**

**01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi**

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI  
(PhD) DISSERTATSIYA AVTOREFERATI**

**Toshkent-2024**

**Fizika – matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
avtoreferati mundarijasi**

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

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

**Normo‘minov Bahodir Ashurovich**

О‘zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik plastina va qavariq qobiqlarning  
nochiziqli parametrik tebranishlarini baholash uchun samarali algoritm va dasturlar  
ishlab chiqish .....3

**Нормуминов Баходир Ашурович**

Разработка эффективных алгоритмов и программ для оценки нелинейных  
параметрических колебаний вязкоупругих пластин и пологих оболочек  
переменной толщины.....27

**Normuminov Bakhodir**

Development of effective algorithms and programs for assessing nonlinear  
parametric vibrations of viscoelastic plates and shallow shells of variable  
thickness.....51

**E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ

List of published works.....54

**“TIQXMMI” MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI  
FUNDAMENTAL VA AMALIY TADQIQOTLAR INSTITUTI  
HUZURIDAGI № DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 RAQAMLI ILMIY  
KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**“TIQXMMI” MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

**NORMO‘MINOV BAHODIR ASHUROVICH**

**O‘ZGARUVCHAN QALINLIKLI QOVUSHQOQ-ELASTIK PLASTINA  
VA QAVARIQ QOBIQLARNING NOCHIZIQLI PARAMETRIK  
TEBRANISHLARINI BAHOLASH UCHUN SAMARALI ALGORITM VA  
DASTURLAR ISHLAB CHIQISH**

**05.01.07 – Matematik modellashtirish.**

**Sonli usullar va dasturlar majmui.**

**01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi**

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI  
(PhD) DISSERTATSIYA AVTOREFERATI**

**Toshkent-2024**

**Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.2.PhD/FM885 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (<http://tiame.uz>, [info@ifar.uz](mailto:info@ifar.uz)) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbarlar:**

**Mirsaidov Mirziyod Mirsaidovich**

O'zRFA akademigi, texnika fanlari doktori, professor

**Abdakarimov Rustamxan Alimxanovich**

fizika-matematika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponenlar:**

**Ravshanov Normaxmad**

fizika-matematika fanlari doktori, professor

**Mavlonov Tulqin**

texnika fanlari doktori, professor

**Yetakchi tashkilot:**

**Samarqand Davlat arxitektura-qurilish universiteti**

Dissertatsiya himoyasi "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti huzuridagi № DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 raqamli Ilmiy kengash asosidagi bir martalik Ilmiy kengashning 2024 yil «\_\_\_» \_\_\_\_\_ soat \_\_\_ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100000, Toshkent sh., Q. Niyoziy ko'chasi-39, Fundamental va amaliy tadqiqotlar institute 108-katta majlislar zali; (+99871)237-09-61, fax (+99871) 237-48-67, e-mail: [info@ifar.uz](mailto:info@ifar.uz)).

Dissertatsiya ishi bilan "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti ning Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (\_\_\_\_\_ raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100000, Toshkent sh., Q. Niyoziy ko'chasi-39, Fundamental va amaliy tadqiqotlar institute 108-katta majlislar zali; (+99871)237-09-61

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «\_\_\_» \_\_\_\_\_ kuni tarqatildi.

(2024 yil «\_\_\_» \_\_\_\_\_ dagi \_\_\_\_\_ raqamli reestr bayonnomasi).

**B. J. Axmedov**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
raisi, O'zRFA akademigi, fizika-  
matematika fanlari doktori, professor

**D. R. Rayimbayev**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy  
kengashilmiy kotibi, fizika-matematika  
fanlari doktori

**A. R. Hayotov**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy  
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,  
fizika-matematika fanlari doktori, professor

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Dunyoda qurilishdagi o'zgarishlar va turli konstruktsiyalarning metall bo'lmagan elementlaridan foydalanishga qo'yiladigan talablarning kuchayishi tufayli ularning kuchi va dinamik harakatlarini baholashning yangi usullarini ishlab chiqish juda dolzarb vazifadir. Hozirgi vaqtda materiallari qovushqoq-elastik xususiyatlarga ega bo'lgan o'zgaruvchan qalinlikdagi plastinalar va qobiqlar kabi yupqa devorli konstruktsiyalarning elementlari qurilish, mashinasozlik va aviatsiya sanoatida keng qo'llaniladi. Shu sababli, elastik xususiyatlarga qo'shimcha ravishda, qovushqoq-elastik va qovushqoq-plastik xususiyatlarga ega bo'lgan nometall konstruktsiya elementlaridan tayyorlangan materiallar bo'yicha olib boriladigan tadqiqotlarga alohida e'tibor beriladi. Ushbu xususiyatlarni hisobga olmaslik hisoblashda katta xatolarga olib keladi.

Bugungi kunda davriy kuchlar ta'sirida o'zgaruvchan qalinlikli plastinalar va qobiqlar kabi yupqa devorli konstruktsiya elementlarning harakatlarini baholashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar keng miqyosda olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda yengil, ammo ayni paytda materiallarning fizik-mexanik xususiyatlarining berilgan majmuiga ega kuchli va ishonchli konstruktsiyalarni yaratish bilan bog'liq ishlarga katta ahamiyat berilmoqda. Shu bilan birga, o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik plastinalar va qavariq qobiqlarning nochiziqli parametrik tebranishlarini baholashning yangi matematik modellari, uslublari va algoritmlarini ishlab chiqish bilan bog'liq tadqiqotlarni ishlab chiqish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Shu nuqtai nazardan, 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan "Milliy iqtisodiyot barqarorligini ta'minlash va yalpi ichki mahsulotda sanoat ulushini oshirishga qaratilgan sanoat siyosatini davom ettirib, sanoat mahsulotlarini ishlab chiqarish hajmini 1,4 baravarga oshirish"<sup>1</sup>. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda jarayonlarni tavsiflashning yangi matematik modellarini va o'zgaruvchan qalinlikdagi plastinalar va qobiqlarning nochiziqli parametrik tebranishlarini baholash uchun samarali sonli usullarni ishlab chiqish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda va konstruktsiyalarga ta'sir qiluvchi asosiy parametrlarni o'zgartiradigan tadqiqotlar olib borilmoqda, bularni hisobga olish katta ahamiyatga ega.

Bugungi kunda materiallarning elastik bo'lmagan xossalari va nochiziqli deformatsiyalarni hisobga olgan holda qalinligi o'zgaruvchan bo'lgan yupqa devorli konstruktsiya elementlarning dinamik harakatini tavsiflovchi yangi matematik modellarni shuningdek, ularni hisoblash usullari va algoritmlarini ishlab chiqish dolzarb muammo hisoblanadi.

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60 son Farmoni

Mazkur dissertatsiya O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-son Farmonlarida, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 8-noyabrdagi “Arxitektura-qurilish sohasida kadrlar tayyorlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-416-son va O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 20-apreldagi “Qurilish sohasiga oid yagona ma‘muriy qurilish reglamentlarini tasdiqlash to‘g‘risida”gi 200-son qarori, shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan qabul qilingan va mamlakatimizda qurilish, avtomobilsozlik, mashinasozlik, neft-gaz va iqtisodiyotning boshqa tarmoqlarini rivojlantirishga qaratilgan vazifalarni amalga oshirishga ma‘lum darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiya rivojlanishining IV. “Matematika, mexanika va informatika” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** So‘nggi yillarda o‘zgaruvchan qalinlikdagi plastinalar va qavariq qobiqlarning tebranishlari va ustuvorligini baholash bo‘yicha ishlar olib borildi. Bu tadqiqotlar Amabili M., Kurpa L., Awrejcewicz J., Alijani F., Loja M.A.R., Darabi M., Kumar R. kabi xorijiy mamlakatlar olimlari hamda qo‘shni davlatlar olimlari, jumladan Bolotin V.V., Volmir A.S., Grigorenko Y.M., Karpov V.V. tomonidan amalga oshirildi. Ularning hissasi ushbu konstruksiyaviy elementlarning dinamikasi va parametrik tebranishlarini tahlil qilishga qaratilgan.

O‘zbekiston olimlari Shirinqulov T., Bo‘riev T., Badalov F., Mirsaidov M., Mavlonov T., Eshmatov X., Abdikarimov R.A. va boshqalar, shuningdek, nochizikli tebranishlar va plastinalar, panellar va qobiqlarning ustuvorligi sohasida tadqiqotlar olib bordilar. Ularning bunday masalalarni hal qilishning dinamik modellari va usullariga qo‘shgan hissasi milliy fan uchun katta ahamiyatga ega va muhimdir.

Keyinchalik o‘rganishni talab qiladigan muhim jihatlardan biri bu yupqa devorli konstruksiyalarning nochizikli deformatsiyasida materialning qovushqoq-elastiklik xususiyatlarini hisobga olgan holda matematik modellarni ishlab chiqishdir. Bu o‘zgaruvchan qalinlikdagi izotrop, ortotrop plastinalar va qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlari masalalariga taalluqlidir, bu erda materiallarning bunday xususiyatlarini hisobga olgan holda uslublar va modellarni ishlab chiqish etarli darajada o‘rganilmagan.

**Tadqiqotning dissertatsiya bajarilayotgan oliy ta‘lim muassasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejaları bilan bog‘liqligi.** Ushbu dissertatsiya ishi “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti “Oliy matematika” kafedrasining “Xususiy hosilali differentsial tenglamalarni yechish va uning muhandislik masalalariga

qo‘llanilishi” mavzusidagi (davlat ro‘yxati №6.8) ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq hamda №FZ-20200929327 raqamli “Gruntning namlanganlik va chiziqsiz filtratsiyani hisobga olgan holda gruntli to‘g‘onlarning mustahkamlik ishonchligini baholash nazariyasi va usulini ishlab chiqish” mavzusidagi 2021-2026 yillarga mo‘ljallangan grant asosida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** materialning qovushqoq-elastik xususiyatlarini hisobga olgan holda o‘zgaruvchan qalinlikli plastina va qavariq qobiqlarning matematik modelini qurish, yupqa devorli konstruktsiya elementlarining nohiziqli parametrik tebranishlarida kuchsiz-singulyar yadroli integral-differentsial tenglamalar sistemalarini yechish uchun uslub, algoritm va dastur ishlab chiqish, tebranish jarayonining rezonans holatini baholash va prognoz qilishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

Bir jinsli bo‘lmagan materialning qovushqoq-elastiklik xususiyatlarini va davriy kuchlar ta’sirida konstruktsiyaning geometrik nohiziqli deformatsiyasini hisobga olgan holda, yupqa devorli konstruktsiyalar elementlarining dinamik harakatini baholash va prognoz qilish uchun matematik model ishlab chiqish;

Materialning qovushqoq-elastiklik xossalari va konstruktsiyalarning nohiziqli (geometrik) deformatsiyasini hisobga olgan holda davriy dinamik kuchlar ta’siri ostida o‘zgaruvchan qalinlikdagi yupqa devorli konstruktsiyalar elementlarining mustahkamligini baholash uchun shaxsiy kompyuterlarda uslublar, algoritmlar va dasturlar ishlab chiqish;

Yaratilgan dastur va hisoblash usuli asosida o‘zgaruvchan qalinlikdagi qovushqoq-elastik izotrop, ortotrop plastinalar va qavariq qobiqlarning nohiziqli parametrik tebranishlari masalalari berilgan geometrik o‘lchamlar va mexanik xususiyarlari ta’sirini keng diapazonlarda tahlil qilish;

Ko‘chishlar va solqiliklarning ko‘phadli aproksimatsiyasi yaqinlashuvi asosida qovushqoq-elastik o‘zgaruvchan qalinlikdagi ortotrop, izotrop to‘g‘ri burchakli plastina va qavariq qobiqlar parametrik tebranishlari uchun dinamik noustuvorlik sohasi chegaralarini baholash imkoniyatlarini o‘rganish;

**Tadqiqot ob’ekti** sifatida qovushqoq-elastik xususiyatlarga ega va davriy dinamik kuchlar ta’sirida katta deformatsiyalarga ega bo‘lgan o‘zgaruvchan qalinlikli plastinalar va qavariq qobiqlar kabi yupqa devorli konstruktsiya elementlari olingan.

**Tadqiqot predmeti** matematik modellar va yupqa devorli konstruktsiya elementlarining dinamik harakatini tavsiflovchi hal qiluvchi tenglamalarni yechish.

**Tadqiqot usullari** geometrik nohiziqlikni hisobga olgan holda o‘zgaruvchan qalinlikli plastinalar va qavariq qobiqlar kabi yupqa devorli konstruktsiyalarning qovushqoq-elastik xususiyatiga ega materiallarning parametrik tebranish masalalarini matematik modellashtirish, Bubnov-Galerkin usuli, nohiziqli integral-differentsial tenglamalar sistemalarini sonli yechishning Gauss usuli.

### **Tadqiqotning ilmiy yangiligi:**

Bir jinsli bo'lmagan materialning qovushqoq-elastiklik xususiyatlarini va davriy kuchlar ta'sirida konstruksiyaning geometrik nochiziqli deformatsiyasini hisobga olgan holda, yupqa devorli konstruksiyalar elementlarining dinamik harakatini baholash va prognoz qilish uchun matematik model ishlab chiqilgan.

Materialning qovushqoq-elastiklik xossalari va konstruksiyalarning nochiziqli (geometrik) deformatsiyasini hisobga olgan holda davriy dinamik kuchlar ta'siri ostida o'zgaruvchan qalinlikdagi yupqa devorli konstruksiyalar elementlarining mustahkamligini baholash uchun shaxsiy kompyuterlarda uslublar, algoritmlar va dasturlar ishlab chiqilgan;

Yaratilgan dastur va hisoblash usuli asosida o'zgaruvchan qalinlikdagi qovushqoq-elastik izotrop, ortotrop plastinalar va qavariq qobiqlarning nochiziqli parametrik tebranishlari masalalari berilgan geometrik o'lchamlar va mexanik xususiyatlari ta'sirini keng diapazonlarda tahlil qilingan;

Ko'chishlar va solqiliklarning ko'phadli aproksimatsiyasi yaqinlashuvi asosida qovushqoq-elastik o'zgaruvchan qalinlikdagi ortotrop, izotrop to'g'ri burchakli plastina va qavariq qobiqlar parametrik tebranishlari uchun dinamik noustuvorlik sohasi chegaralarini baholash imkoniyatlari o'rganilgan va materialning qovushqoq-elastik xususiyatlarini hisobga olgan holda dinamik noustuvorlik sohasi chegaralarining torayishiga olib kelishi aniqlangan.

**Ishlab chiqilgan modelning adekvatligi, olingan natijalarning ishonchliligi va aniqligi.** Ishlab chiqilgan modellarning adekvatligi, shaxsiy kompyuterlardagi uslublar, algoritmlar va dasturlarning hamda olingan natijalarning ishonchliligi aniq yoki taqribiy yechimlari mavjud bo'lgan bir qator test masalalarning yechilganligi bilan tasdiqlanadi. Ko'rib chiqilgan masalalarning har biri uchun natijalarning kerakli aniqlikka amaliy yaqinlashishi tekshirildi.

### **Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.**

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati materialning qovushqoq-elastik, bir jinsli xususiyatlarini va davriy kuch ta'siri ostida konstruksiyaning geometrik nochiziqli deformatsiyasini hisobga olgan holda, yupqa devorli konstruksiyalar elementlarining dinamik harakatini baholash va prognoz qilishning matematik modelini ishlab chiqishdadir. Bu muhandislik hisoblash sohasidagi muhim qadam bo'lib, bunday konstruksiyalarning dinamik harakatlarini tahlil qilishda murakkab omillarni hisobga olish imkonini beradi.

Olingan tadqiqot natijalari aniq qurilish konstruksiyalarining ham konstruktiv, ham yuk ko'taruvchi elementlarini va katta dinamik kuch ostida ishlaydigan o'zgaruvchan qalinlikdagi texnik ob'ektlar qismlarini loyihalashda muhim ilmiy tavsiyalar bo'lib xizmat qilishi mumkin. Ushbu natijalar o'zgaruvchan dinamik kuchlar ta'sirida turli ob'ektlarni loyihalash va qurishni o'z ichiga olgan keng ko'lamlil ilovalarga ega. Ishlab chiqish jarayonida ushbu ilmiy tavsiyalardan foydalanish konstruksiyalarning ishonchliligi va chidamliligini oshirishga yordam beradi, bu esa mumkin bo'lgan zarar va favqulodda vaziyatlar xavfini kamaytiradi.

### **Tadqiqot natijalarini tadbiiq qilish.**

Tadqiqotlar davomida O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining guvohnomalari (hammualliflikda) bilan himoyalangan bir qator

kompyuter dasturiy mahsulotlari ishlab chiqilgan (№DGU 05428.15.05.2018 va №DGU 13846.18.05.2021). Bu dasturiy mahsulotlar katta deformatsiyalarda o'zgaruvchan qalinlikli yupqa devorli konstruktsiyalar qovushqoq-elastik elementlari parametrik tebranishlarining dinamik xususiyatlarini hisoblash imkonini beradi.

Ilmiy-tadqiqot ishining ba'zi natijalari, ya'ni, tadqiqotning mazkur yo'nalishi bo'yicha olingan matematik modellar, hisoblash algoritmlari va dasturlar hozirda "REAL Lion Houses" va "Grand Capital" MChJ lar tomonidan qurilayotgan bino va inshootlarning mustahkamligi va chidamliligini baholashda qo'llanilmoqda (ilmiy-tadqiqot ishlari natijalarini tadbiiq qilish bo'yicha dalolatnomalar ilova qilingan).

**Ilmiy-tadqiqot ishlari natijalarining aprobatsiyasi.** To'liq dissertatsiya ishi va uning alohida natijalari quyidagi anjumanlarda ma'ruza qilindi va muhokamadan o'tkazildi:

Xalqaro anjumanlarda:

- International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018; St. Petersburg; Russian Federation; 10 December 2018 to 12 December 2018 (Международная научная конференция "Бизнес-технологии для устойчивого развития городов" SPbWOSCE 2018, Санкт Петербург, 10-12 декабря, 2018 г.);

- International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020; Vladimir State University Vladimir; Russian Federation; 27 April 2020 to 28 April 2020 (Международная конференция по физике материалов, строительным конструкциям и технологиям в строительстве, промышленном и производственном машиностроении, MPCPE 2020, Владимир, 27-28 апреля, 2020 г.);

- International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering, STCCE 2020; Kazan, Virtual; Russian Federation; 29 April 2020 to 15 May 2020 (Международная научная конференция по социально-техническому строительству и гражданскому строительству, STCCE 2020, Казан, 29 апреля до 15 мая 2020 г.);

- International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2020; Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers Kari Niyozov street, 39-house Tashkent City; Uzbekistan; 23 April 2020 to 25 April 2020 (Международная научная конференция "Строительная механика, гидравлика и гидротехника", CONMECHYDRO 2020, Ташкент, 23-25 апреля, 2020 г.);

- 23rd International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2020; National University of Civil Engineering 55 Giai Phong Road Hanoi; Viet Nam; 23

September 2020 to 26 September 2020 (23-я Международная научная конференция “Развитие гражданского строительства: Строительство–формирование среды обитания”, FORM 2020, Ханой, 23-26 сентября, 2020 г.);

- 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering, STCCE 2021; Kazan; Russian Federation; 21 April 2021 to 29 April 2021 (2-я Международная научная конференция по социально-техническому строительству и гражданскому строительству, STCCE 2021, Казан, 21-29 апреля, 2021 г.);

- International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, EECE 2020; St. Petersburg; Russian Federation; 19 November 2020 to 20 November 2020 (Международная научная конференция по энергетике, экологии и строительству, EECE 2020, Санкт Петербург, 19-20 ноября 2020 г.);

- 1st International Scientific Conference on Telecommunications, Computing and Control, TELECCON 2019; St. Petersburg; Russian Federation; 18 November 2019 to 19 November 2019 (1-я Международная научная конференция по телекоммуникациям, вычислительной технике и управлению, TELECCON 2019, Санкт Петербург, 18-19 ноября 2019 г.);

- 2nd All-Russian Conference with International Participation on Deep Foundations and Geotechnical Problems of Territories, DFGC 2021; Perm National Research Polytechnical University Perm; Russian Federation; 26 May 2021 to 28 May 2021 (2-я Всероссийская конференция с международным участием “Глубинные основания и геотехнические проблемы территорий”, DFGC 2021, Пермь, 26-28 мая, 2021 г.);

- International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2021; Vladimir; Russian Federation; 26 April 2021 to 28 April 2021 (Международная конференция по физике материалов, строительным конструкциям и технологиям в строительстве, промышленном и производственном машиностроении, MPCPE 2021, Владимир, 26-28 апреля, 2021г.);

- «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А. Г. Горшкова, Москва-2019, Том 1, с. 85-86.

Mahalliy anjumanlarda:

-“Deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar mexanikasi” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman. - Tashkent, 2018 y;

- “Tabiiy fanlarni fundamental va amaliy muammolari” respublika ilmiy anjumani – Tashkent, 2019 y;

- “Qurilishda innovatsiyalar, bino va inshootlarning seysmik xavfsizligi” xalqaro ilmiy va ilmiy-texnikaviy anjuman – Namangan, 2022 y.

**Tadqiqot natijalarining e’lon qilinishi.** Dissertatsiya ishining asosiy ilmiy natijalari bo’yicha 23 ta ilmiy ish chop etilgan, jumladan, O’zbekistonda, MDH davlatlari va xorijda chop etilgan 20 ta ilmiy maqolada o’z aksini topgan. Nashr etilgan maqolalardan: jurnal maqolalari - 5 ta, ilmiy maqolalar to’plamlarida, turli konferentsiyalar materiallarida - 18 ta, shundan, Scopus ma’lumotlar bazasiga kiradigan 14 ta maqola ingliz tilida (Buyuk Britaniya, Germaniya, Frantsiya va Rossiyada) nashr etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati, 3 ta ilovadan iborat bo’lib, hajmi 107 betni tashkil etadi va uning tarkibiga 22 rasm va 1 jadval kiritilgan.

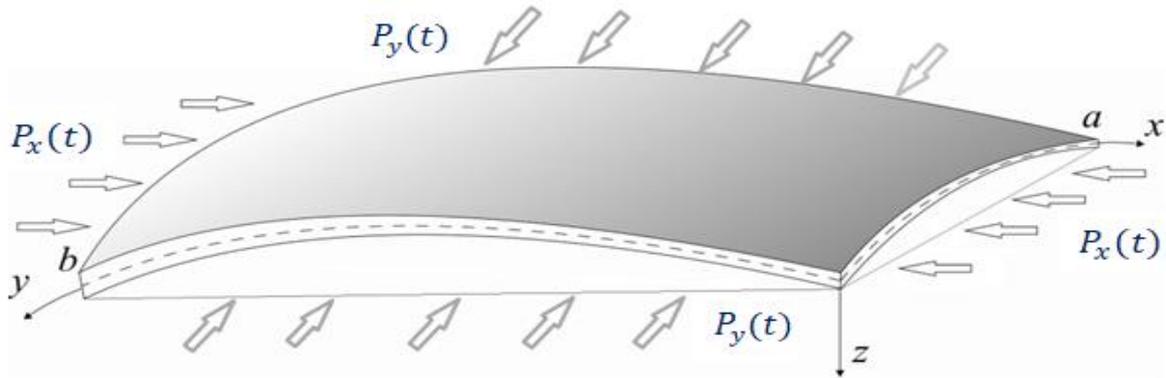
## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida mavzuning dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, ob’ekti va predmeti tavsiflangan, muammoning o’rganilganlik darajasi hamda tadqiqotning ilmiy ishlar rejasi bilan bog’liqligi ochib berilgan, tadqiqotning o’tkazish uslublari, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilinishi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo’yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**O’zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik plastina va qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlarini baholash uchun matematik model ishlab chiqish**” deb nomlangan birinchi bobida tadqiqot mavzusi bo’yicha taniqli adabiyotlarning tahlili o’tkazilgan, shuningdek, materialning qovushqoq-elastik xususiyatlarini hisobga olgan holda o’zgaruvchan qalinlikli plastina va qavariq qobiqlar kabi yupqa devorli konstruktsiya elementlarining parametrik tebranishlari masalasini tuzishning nazariy asoslari va matematik modeli berilgan.

Geometrik noxizizlikni hisobga olgan holda o’zgaruvchan qalinlikli plastina va qavariq qobiqlar kabi yupqa devorli konstruktsiyalarning izotrop, ortotrop qovushqoq-elastik elementlarining parametrik tebranishlarini o’rganish uchun matematik modellar ishlab chiqilgan.

O’lchami  $a \times b$  va  $h(x,y)$  o’zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik to’g’ri burchakli ortotrop qavariq qobiqni ko’rib chiqamiz (1 rasm). Qavariq qobiq elementiga qo’yilgan  $p_x, p_y, q$  tashqi kuch mos ravishda,  $x, y$  va  $z$  yo’nalishlari ta’sirida bo’ladi deb taxmin qilinadi. Hamda  $a$  va  $b$  tomonlari bo’ylab qavariq qobiqqa ta’sir qiluvchi davriy kuchlar quyidagi qonuniyat asosida yo’nalgan bo’lsin  $P_x(t)=P_0+P_1\cos(\theta_1t)$ ,  $P_y(t)=P_2+P_3\cos(\theta_2t)$  ( $P_0, P_1, P_2, P_3=\text{const}$ ,  $\theta_1, \theta_2$  – tashqi davriy kuch chastotalari).



**1-rasm. O'zgaruvchan qalinlikli qavariq qobiq**

Geometrik nochizilikni hisobga olgan holda o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik ortotrop qavariq qobiqning matematik modelini tuzish quyidagicha:

1. Geometrik nochizilikni hisobga olgan holda,  $z = 0$  hisoblash sirtidagi geometrik munosabatlarni quyidagicha kiritamiz:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} - k_x w + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} - k_y w + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2, \quad (1.1)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y},$$

bunda,  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  va  $\varepsilon_{xy}$  –  $x$ ,  $y$  o'qlari bo'ylab cho'zilish deformatsiyalari va urinma tekisligidagi siljish deformatsiyalari;  $u, v$  va  $w$  – mos ravishda  $x, y$  va  $z$  o'qlari bo'ylab ko'chishlar;  $k_x = 1/R_1$  va  $k_y = 1/R_2$  –  $x$  va  $y$  o'qlari bo'ylab asosiy egriliklar ( $R_1$  va  $R_2$  – asosiy egrilik radiuslari).

2.  $z \neq 0$  qatlamidagi deformatsiyalar quyidagi formulalar orqali topiladi:

$$\varepsilon_x^z = \varepsilon_x + z\chi_1, \quad \varepsilon_y^z = \varepsilon_y + z\chi_2, \quad \varepsilon_{xy}^z = \varepsilon_{xy} + 2z\chi_{12}, \quad (1.2)$$

bu yerda,  $\chi_1 = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$ ,  $\chi_2 = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$ ,  $2\chi_{12} = -2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$  egrilik va

$[\chi_1 = \chi_1(x, y), \chi_2 = \chi_2(x, y)]$   $[\chi_{12} = \chi_{12}(x, y)]$  buralish funktsiyalari.

3. Kirxgoff-Lyav nazariyasi doirasidagi harakat tenglamalari sistemasi quyidagicha ko'rinishga ega:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} + p_x - \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} + p_y - \rho h \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + 2\frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + k_x N_x + k_y N_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( N_x \frac{\partial w}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \quad (1.3)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} + N_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) + P_x(t) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + P_y(t) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ & + P_{xy}(t) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + q - \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \end{aligned}$$

4. (1.3) tenglamalar sistemasi tegishli chegaraviy va boshlang'ich shartlar bilan to'ldiriladi.

$\{M\} = (M_x, M_y, M_{xy})$  momentlar va  $\{N\} = (N_x, N_y, N_{xy})$  kuchlanish vektorining komponentlari uchun:

$$\begin{aligned} \{N\} &= \{N_x; N_y; N_{xy}\}^T = [C] \cdot \{\varepsilon\}, \\ \{M\} &= \{M_x; M_y; M_{xy}\}^T = [D] \cdot \{\chi\}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

bo'lganda,  $[C]$  va  $[D]$  qattqlik matritsalarini quyidagi shaklda yoziladi:

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{26} \\ C_{16} & C_{26} & C_{66} \end{pmatrix}, \quad D = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{pmatrix}, \quad (1.5)$$

bu yerda  $C_{ij}$ ,  $D_{ij}$  ( $ij = 11, 22, 12, 16, 26, 66$ ), materialning mexanik xususiyatlariga qarab  $m$  – massa quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} C_{ij} &= \int_{-\frac{h(x,y)}{2}}^{\frac{h(x,y)}{2}} B_{ij} (1 - \Gamma_{ij}^*) dz, \\ D_{ij} &= \int_{-\frac{h(x,y)}{2}}^{\frac{h(x,y)}{2}} B_{ij} (1 - \Gamma_{ij}^*) z^2 dz, \quad (i, j = 1, 2, 6), \quad m = \int_{-\frac{h(x,y)}{2}}^{\frac{h(x,y)}{2}} \rho dz. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Bu yerda,  $B_{ij}$  - qattqlik koeffitsientlari,  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma_{ij}^*$  - mos ravishda  $\Gamma(t)$  va  $\Gamma_{ij}(t)$  ntegral operatorlari uchun relaksatsiya yadrolari:

$$\Gamma^* \varphi = \int_0^t \Gamma(t - \tau) \varphi(\tau) d\tau, \quad \Gamma_{ij}^* \varphi = \int_0^t \Gamma_{ij}(t - \tau) \varphi(\tau) d\tau, \quad i, j = 1, 2. \quad (1.7)$$

5. (1.3) harakat tenglamalari sistemasini operatorlar ko'rinishida quyidagicha yozamiz:

$$\begin{aligned} L_{11}u + L_{12}v + L_{13}w &= -L_{14}w + m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad L_{21}u + L_{22}v + L_{23}w = -L_{24}w + m \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ L_{31}u + L_{32}v + L_{33}w &= -L_{34}w - P_x(t) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - P_y(t) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Bu yerda  $L_{ij}$  ( $i=1,3; j=1,4$ ) differentsial yoki integral-differentsial operatorlar.

Keyinchalik, qovushqoq-elastik ortotrop to'g'ri burchakli o'zgaruvchan qalinlikli plastina va qavariq qobiq uchun koordinata o'qlarining ikki yo'nalishi  $OX$  va  $OY$  bo'yicha va xususiy hollarida koordinata o'qlarining bir yo'nalishi  $OX$  yoki  $OY$  bo'yicha davriy kuch ta'sirida nochiziqli integral-differentsial harakat tenglamalar sistemalari olingan.

O'zgaruvchan qalinlikdagi qovushqoq-elastik izotrop to'g'ri burchakli plastina va qavariq qobiq uchun koordinata o'qlarining ikki yo'nalishi  $OX$  va  $OY$  bo'yicha va xususiy hollarida koordinata o'qlarining bir yo'nalishi  $OX$  yoki  $OY$  bo'yicha davriy kuch ta'sirida  $OY$  va  $OX$  o'qi bo'ylab qalinligi o'zgarishlarini hisobga olishi bilan mos ravishda farq qiluvchi (1.8) ko'rinishdagi, nochiziqli integral-differentsial harakat tenglamalar sistemasi olinadi.

Oldingi paragraflarda keltirilgan integral-differentsial tenglamalar sistemasi boshlang'ich va chegaraviy shartlar bilan to'ldirilib, ko'rib chiqilayotgan masalalarning sharnirli va barcha qirralari mahkamlangan hamda ularning kombinatsiyalaridan iborat holatlari uchun matematik modeli qurilgan.

Endi berilgan chegaraviy va boshlang'ich shartlarda (1.8) tenglamalarni qanoatlantiruvchi  $t$  vaqtga bog'liq  $u(x,y,t)$ ,  $v(x,y,t)$  va  $w(x,y,t)$  ko'chishlarni topish lozim. Bu matematik model o'zgaruvchan qalinlikdagi qovushqoq-elastik materialning geometrik nochiziqililigini hisobga olgan holda koordinata o'qlarining ikki  $OX$  va  $OY$  yoki bir yo'nalishi uchun ma'lum matematik modellardan farq qiladi.

Dissertatsiyaning **“O'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik plastinalar va qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlarini baholash masalalari tenglamalarini yechish usullari va algoritmi”** deb nomlangan ikkinchi bobida  $OX$  koordinata o'qi yo'nalishi bo'ylab  $P_x(t)=P_0+P_1\cos(\theta_1t)$  ( $P_0$ ,  $P_1=const$ ,  $\theta_1$  – tashqi davriy kuch chastotasi) qonuniyat bilan davriy kuch ta'sirida o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop, ortotrop to'g'ri burchakli plastinalar va qavariq qobiqlarning nochiziqli parametrik tebranish masalalari uchun Bubnov-Galerkin usuli qo'llanilgan holda fazoviy o'zgaruvchilar bo'yicha diskretlashtirilgan va ko'chishlarning ikkinchi tartibli vaqtga bog'liq hosilasiga nisbatan hal qiluvchi ajralmaydigan integral-differentsial tenglamalar sistemasi olingan, hosil bo'lgan integral-differentsial tenglamalar sistemasini sonli yechish uslubi va algoritmi ishlab chiqilgan.

$a \times b$  chiziqli o'lchamga ega  $h=h(x,y)$  o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik to'g'ri burchakli ortotrop qavariq qobiqning parametrik tebranishlari masalasi ko'rib chiqilgan. Taklif etilgan  $w = w(x,y,t)$ ,  $u = u(x,y,t)$ ,  $v = v(x,y,t)$  ko'chishlarga nisbatan qo'yilgan masalaning matematik modeli tegishli boshlang'ich va chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi tenglamalar sistemasi ko'rinishida tasvirlanadi..

Olingan integral-differentsial tenglamalar sistemasini yechish, umumiy holatda, vaqt o'tishi bilan ko'chishlarga nisbatan ajralmaydigan integral-differentsial tenglamalar sistemasi ko'rinishiga ega. Keyinchalik, oldingi paragrafda bajarilgan ishga o'xshab, o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik ortotrop to'g'ri burchakli plastinalarning parametrik tebranishlari masalasi yechish uchun tenglamalar sistemasi olinadi.

Qovushqoq-elastik plastina va qavariq qobiqning materiali izotrop xususiyatlarga ega bo'lgan holat ko'rib chiqiladi.

Davriy kuch ta'sirida o'zgaruvchan qalinlikli qavariq qobiqlarning nochiziqli tebranishlari masalasini yechish uchun nochiziqli integral-differentsial tenglamalar sistemasi olinadi.

Kvadratura formulalariga asoslangan sonli usuldan foydalanib, tegishli chegaraviy va boshlang'ich shartlar bilan berilgan integral-differentsial tenglamalar sistemalarini yechish uslublari va algoritmi ishlab chiqilgan. Bunda oddiy integral-differentsial tenglamalar sistemasi  $t$  bo'yicha ikki marta integrallanib, sistema integral ko'rinishga keltiriladi. So'ngra, ikki karrali integrallar bir karrali integrallarga almashtiriladi va kuchsiz-singulyar yadroli hadlarga ega bo'lgan integral-differentsial tenglamalar sistemasi regulyarizatsiya qilinadi.  $t = t_p$ ,  $t_p = p\Delta t$ ,  $p = 1, 2, \dots$ , deb olib (bu erda  $\Delta t$  - integrallash qadami),  $w_{pnm} = w_{pnm}(t_p)$ ,  $u_{pnm} = u_{pnm}(t_p)$  va  $v_{pnm} = v_{pnm}(t_p)$  noma'lumlarni hisoblash uchun integrallar kvadraturali trapetsiyalar formulalari bilan almashtiriladi va ajralmaydigan integral-differentsial tenglamalar sistemalari hosil qilinadi.

Ishlab chiqilgan samarali algoritmgaga asoslanib, hosil qilingan sistema Gauss usuli bilan yechiladi.

O'zgaruvchan koeffitsientli integral-differentsial tenglamaning aniq yechimga ega bo'lishi uchun ishlab chiqilgan uslub va algoritmning to'g'riligini baholash uchun test masalasi ko'rib chiqildi. Test masalasini yechish natijalari esa ishlab chiqilgan uslub va algoritmlar ishonchli hamda samarador ekanligini ko'rsatdi.

Ishlab chiqilgan uslub va yechish algoritmi asosida Delphi dasturlash tilida dasturlar to'plami yaratildi va yaratilgan dastur yordamida quyidagi masalalar o'rganildi:

1) o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop va ortotrop plastinkaning parametrik tebranishlari;

2) o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop va ortotrop qavariq qobiqning parametrik tebranishlari.

Ishlab chiqilgan dasturiy ta'minotning ishlashi va yechim natijalarini vizualizatsiya qilish jarayonini o'zgaruvchan qalinlikli izotrop qovushqoq-elastik to'g'ri burchakli plastinaning parametrik tebranishlari masalasini misoli sifatida ko'rib chiqiladi. Boshlang'ich qiymatlar sifatida quyidagilar olingan:  $\delta = 25$ ;

$w_0 = 0.01$ ;  $\lambda = 1$ ;  $\alpha^* = 0.5$ ;  $\delta_0 = 0.3$ ;  $\delta_1 = 0.5$ ;  $\Theta = 1.1$ ;  $A = 0$  (1), 0.05 (2), 0.1 (3).

N#	lam	delta	kx	ky	N	M	Нач.w	H.u	H.v	h	eps	r	q	Нел.	Г.и	Г.в	Г.г	Г.Ф	Нн	Ми
1	1	25	0	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	3	3	1	1
2	1	25	0	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	3	3	1	1
3	1	25	0	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	3	3	1	1

N#	A	A11	A12	A21	A22	alf	alf11	alf12	alf21	alf22	beta	beta11	beta12	beta21	beta22	myu1	myu2	E1/E2	g
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.32	0.32	1	0.3833
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.32	0.32	1	0.3833
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.32	0.32	1	0.3833

Control Panel:

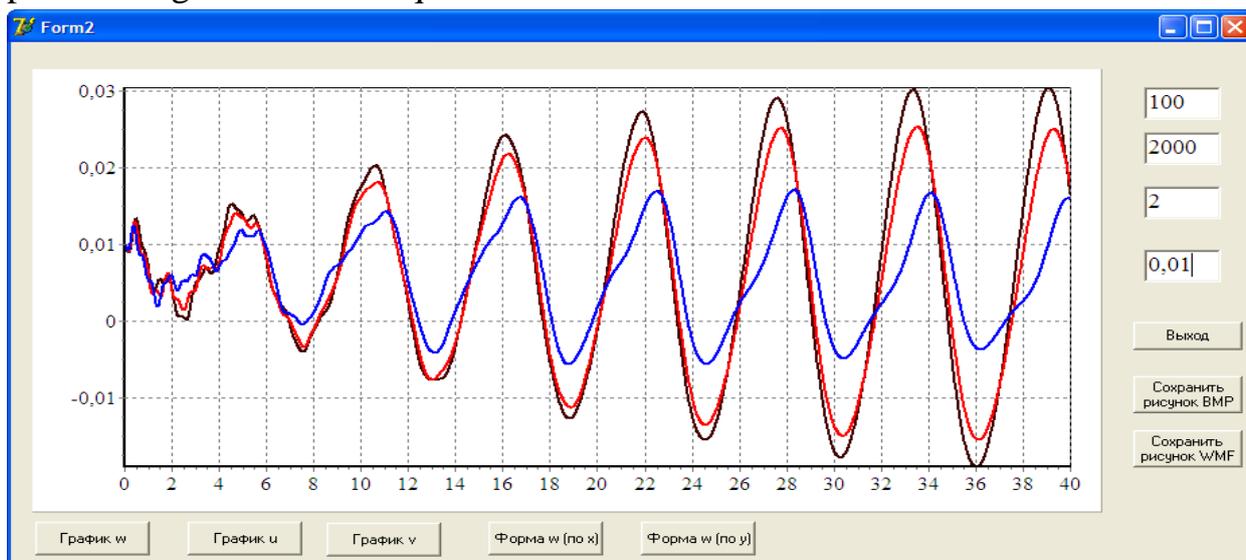
- N:
- M:
- t:
- dt:
- ChG:
- ε1:
- ε2:
- По x:
- По y:

Buttons:

### 2-rasm. Dastlabki ma'lumotlarni kiritish uchun dasturning asosiy oynasi

Dastlabki ma'lumotlar dasturning asosiy oynasiga kiritiladi. Keyin, sonli natijalarni olish uchun muloqot oynasidagi "Расчет" ("Hisoblash") tugmasi bosiladi (2 rasm).

Hisoblash tugagandan so'ng, dasturning asosiy oynasida "График" tugmasi faol bo'ladi va u bosilganda oynada hisoblash natijalarining grafiklari ko'rsatiladi (3 rasm). Grafiklarni turli xil ranglarda ajratib ko'rsatish mumkin, masalan, qora rangdagi egri chiziq qovushqoqlikning  $A=0$  parametriga, qizil rangdagi egri chiziq -  $A=0,05$  parametriga, ko'k rangdagi egri chiziq -  $A=0,1$  parametriga mos keladi. Mazkur grafik qovushqoqlik parametri  $A$  ning turli qiymatlarida davriy kuch ta'sirida o'zgaruvchan qalinlikli izotrop qovushqoq-elastik to'g'ri burchakli plastinaning harakatini aniq aks ettiradi.



### 3-rasm. Hisoblash natijalarini ko'rsatish uchun asosiy oyna

Ishlab chiqilgan dasturlar to'plamida, qonuniyatlar asosida o'zgaruvchan qalinlikli plastina va qavariq qobiqlarning hamda amaliyotda tez-tez uchrab turadigan yuqqa

devorli konstruktsiyalar elementlari parametrik tebranish masalalarini modulli ko‘rinishda qo‘shish imkoniyati mavjud.

Dissertatsiyaning **“O‘zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop va ortotrop to‘g‘ri burchakli plastinalar va qavariq qobiqlar nochiziqli parametrik tebranishlarini baholash”** deb nomlangan uchinchi bobida o‘zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop, ortotrop to‘g‘ri burchakli plastinalar va qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlari nochiziqli geometrik ko‘rinishda o‘rganilgan. Taqribiy yechimning sonli qiymatlari 2-bobda keltirilgan uslub va algoritm asosida hisoblab chiqilgan. Qovushqoq-elastik izotrop, ortotrop o‘zgaruvchan qalinlikli to‘g‘ri burchakli plastinalar va qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlarining amplituda-vaqt xarakteristikasiga geometrik nochiziqlikni, material qalinligining o‘zgaruvchanlik parametri va chegaraviy shartlarining hisobga olgan holda ta’siri o‘rganildi.

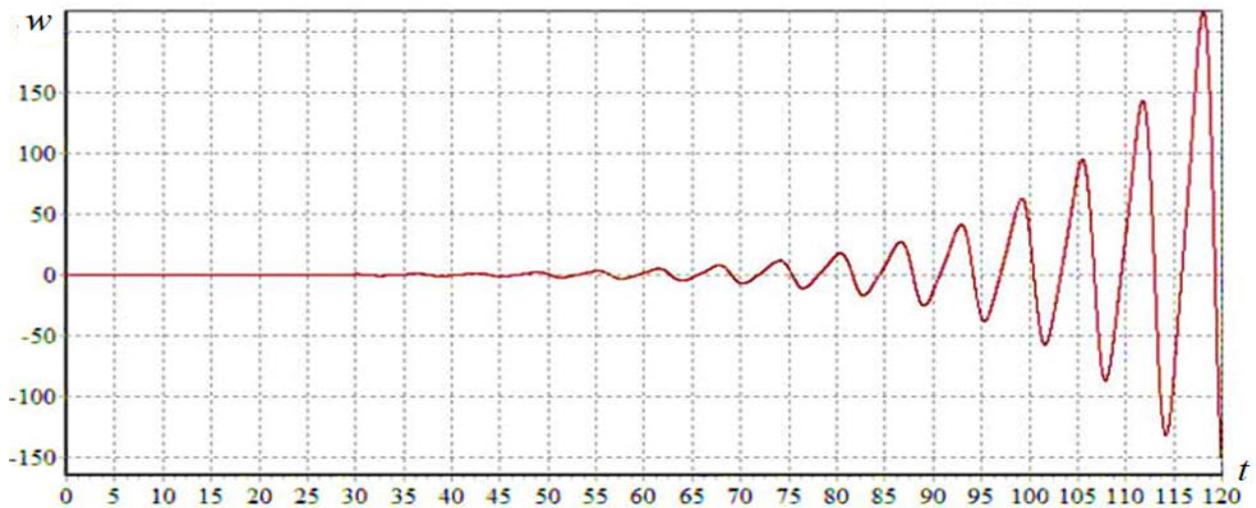
Qovushqoq-elastik nochiziqli parametrik tebranishlar uchun dinamik noustuvorlik sohasini qurish maxsus matematik usullardan foydalanishni talab qiladigan murakkab vazifadir. Materialning qovushqoq-elastik xususiyatlarini inobatga olish dinamik noustuvorlik sohasi chegarasining torayishiga olib keladi.

Nochiziqli elastik masalalar ko‘rib chiqilganda, tebranish tenglamalarida Furrye qatoriga yoyish  $n\theta \pm m\omega$  ko‘rinishidagi chastotalar kombinatsiyasiga ega yangi hadlarni beradi. (Bunda,  $\theta$  – tashqi davriy kuch chastotasi (tashqi chastota),  $\omega$  – sistemaning asosiy tebranish chastotasi,  $n$  va  $m$  – butun sonlar).

Shunday qilib, nochiziqli elastik masalalarda kombinatsion rezonans turli chastotali kombinatsiyalarda sodir bo‘ladi:  $r\omega \approx q\theta$ , bunda  $r$  va  $q$  – o‘zaro tub sonlar.

Ushbu kombinatsiyalar konstruktsiyaning xususiyatlariga bog‘liq ya’ni  $\theta = \omega$  holatda majburiy tebranishlarga mos keladigan asosiy yoki oddiy rezonans deb ataladi.

Ishlab chiqilgan matematik modellar, usullar va algoritmlar yordamida, o‘zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik plastinalar va qavariq qobiqlarning nochiziqli parametrik tebranishlari masalalari yechildi, xususiy hollar uchun natijalar olingan, masalan, yuqorida ta’kidlab o‘tilganidek  $\theta = \omega$  bo‘lganda, chiziqli elastiklik masala uchun, majburiy tebranish rezonans holatiga mos keladi. Quyida, boshlang‘ich qiymatlar  $A=0$ ,  $\lambda=1$ ;  $\alpha^*=0$ ;  $k_x=0$ ;  $k_y=0$ ;  $\delta_0=0.3$ ;  $\delta_1=0.5$ ;  $\Theta=1.0$  bo‘lganida, ko‘chishning vaqtga bog‘liq grafigi keltirilgan.



**4-rasm. Ko‘chishlarning vaqtga bog‘liqlik grafigi, dastlabki ma’lumotlarga nisbatan:  $A=0$ ,  $\lambda=1$ ;  $\alpha^*=0$ ;  $k_x=0$ ;  $k_y=0$ ;  $\delta_0=0.3$ ;  $\delta_1=0.5$ ;  $\Theta=1.0$ .**

4-rasmdan ko‘rinib turibdiki, vaqt o‘tishi bilan tebranishlar amplitudasi oshib, rezonans holati paydo bo‘ladi.

Parametrik tebranishlar holatida tebranish chastotasi tashqi chastotaning yarmiga teng bo‘lgandagi  $\omega=\theta/2$  holati parametrik rezonans deb ataladi. Shuni ta’kidlab o‘tish lozimki, ushbu holat ko‘rib chiqilayotgan masalalar uchun alohida holat sifatida qaralib, yaratilgan dastur yordamida natijalar olindi va ijobiy natijaga erishildi. Amaliy ahamiyatga ega bo‘lgan tashqi chastotaning obertonlari, deb ataluvchi chastotalar nisbati  $\omega=q\theta$  bo‘lgan tebranishlar o‘rganildi.

Materialning ortotrop xususiyatlari, fizik-mexanik xususiyatlari, hamda geometrik o‘lchamlarning dinamik noustuvorlik sohasi chegaralariga ta’siri o‘rganilgan.

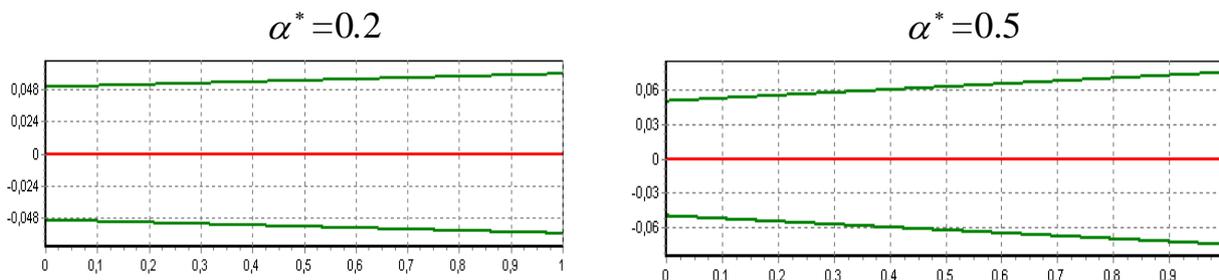
Davriy kuch ta’sirida o‘zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop va ortotrop plastinalarning parametrik tebranishlari o‘rganilgan. Nochiziqli ko‘rinishidagi o‘zgaruvchan qalinlikli plastinalar va qavariq qobiqlar kabi yupqa devorli konstruktsiyalarning qovushqoq-elastik elementlarining tebranishlari va ustuvorligi nazariyasi turdosh muammolari bilan bog‘liq masalalar ko‘rib chiqilgan.

Chiziqli masalalar uchun dinamik noustuvorlik sohasini qurish davriy koeffitsientli ikkinchi tartibli differentsial tenglamani yechish Mat’е-Xill tenglamasiga keltiriladi.

Ko‘rib chiqilayotgan nochiziqli qovushqoq-elastiklik masalalari uchun dinamik noustuvorlik sohasini qurish tenglamalari ko‘rinishi juda katta hajmli va murakkab bo‘lib, bu tashqi kuch chastotasining tabiiy tebranishlar chastotasiga nisbati bo‘yicha tenglamalar sistemasini yechishga imkon bermaydi. Shu sababli, dinamik noustuvorlik sohasini qurishning imkoni yo‘q.

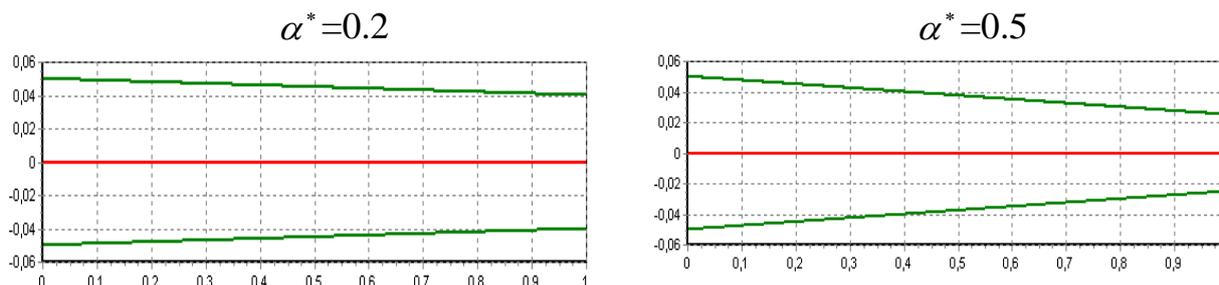
Ushbu bobda dinamik noustuvorlik sohalarining chegaralari tuzilgan. Tomonlari  $a$  va  $b$  hamda  $h=h(x,y)$  o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik ortotrop to'g'ri burchakli plastinaning nochiziqli parametrik tebranishlari masalasi ko'rib chiqilgan.

5-rasmda qalinlik o'zgarishi  $h = 1 + \alpha^* x$ ,  $h_0 = h(0) = const$ , (bunda  $\alpha^*$  – qalinlikning o'zgarish parametri). Qonuniyat bilan berilgan bo'lsa, konstruktsiya elementi qalinligi OX o'qi yo'nalishi bo'ylab chiziqli o'sadi.



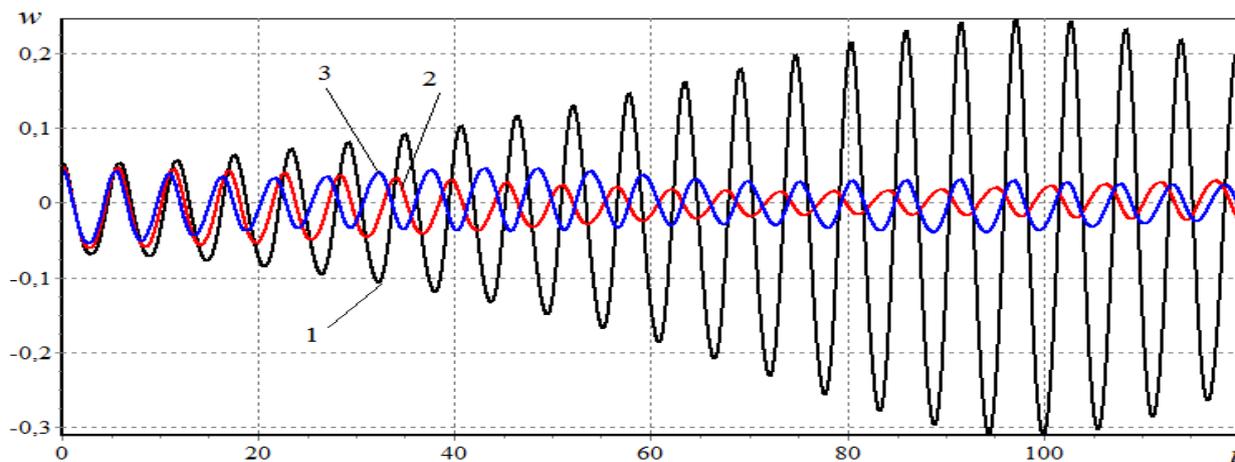
**5-rasm. Qalinlikning chiziqli o'sishi**

Qalinlik o'zgarishi  $h(x) = \frac{1}{2} h_0 (1 - \alpha^* x)$  qonuniyat bilan berilgan bo'lsa, konstruktsiya elementi qalinligi chiziqli kamayadi. (6-rasm)



**6-rasm. Qalinlikning chiziqli kamayishi**

Tomonlari  $a$  va  $b$  hamda  $h=h(x,y)$  o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop to'g'ri burchakli plastinaning nochiziqli parametrik tebranishlari masalasi ko'rib chiqilgan, uning matematik modeli va masalani yechish usuli dissertatsiyaning ikkinchi bobida keltirilgan.



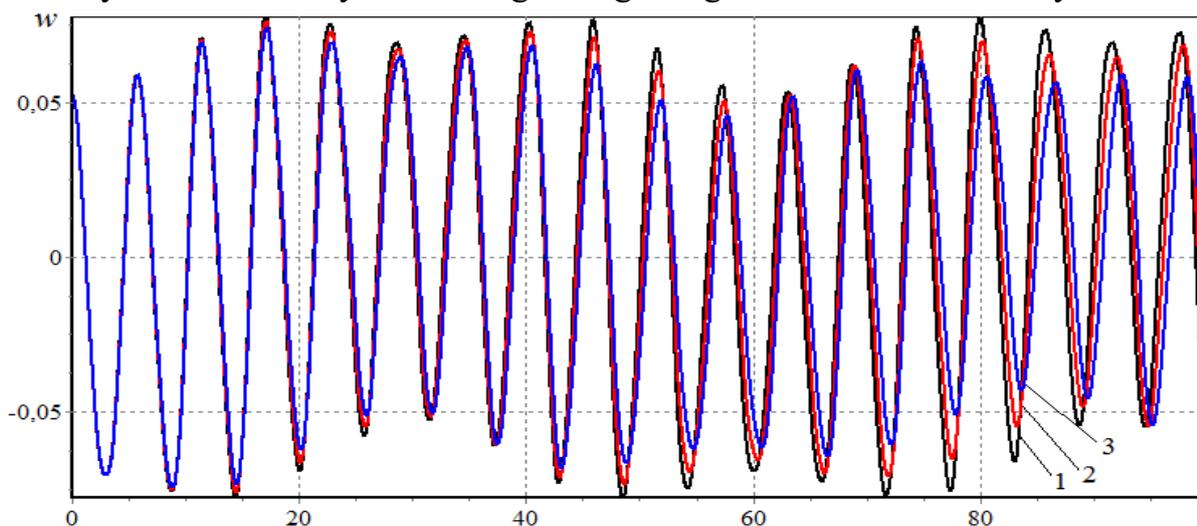
**7- rasm. Ko'chishning vaqtga bog'liqlik grafigi ( $\Delta=1$  (1); 1,5 (2); 2 (3))**

Turli xil fizik va geometrik parametrlarni hisoblash natijalari 7- rasmda keltirilgan.

Rasmdan ko‘rinib turibdiki,  $\Delta = \sqrt{E_1/E_2}$  anizotropiya darajasini belgilovchi

parametrning oshishi tebranishlar amplitudasining tez pasayishiga olib keladi, chunki  $OX$  yo‘nalishida plastinkaning qattiqligi ortib boradi. (1 egri chiziq -  $\Delta = 1$ ; 2 egri chiziq -  $\Delta = 1,5$  va 3 egri chiziq -  $\Delta = 2$ ).

8- rasmda, 1-egri chiziq elastiklikni, 2-egri chiziq qovushqoqlikni inobatga olgan holdagi ko‘chishni ( $A = 0.05, A_{ij} = 0, i, j = 1,2$ ), 3- egri chiziq esa qovushqoqlikni barcha yo‘nalishlar bo‘yicha hisobga olingandagi ko‘chishlarni ifodalaydi.



**8- rasm. Qovushqoqlikni inobatga olgan holda ko‘chishlarning vaqtga bog‘liqlik grafigi ( $A = 0.05, A_{ij} = 0, i, j = 1,2$ )**

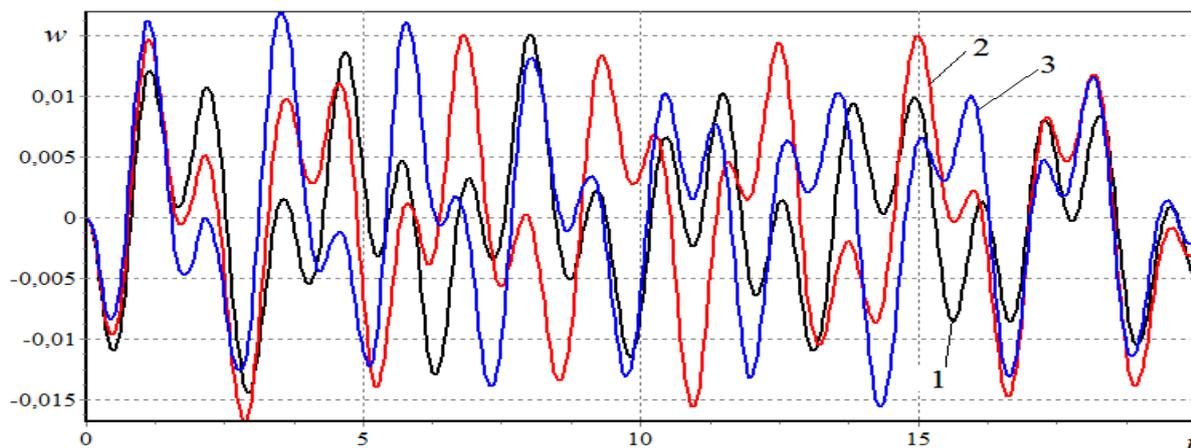
Agar 1 va 2 egri chiziqlarga mos keladigan natijalar vaqtning dastlabki daqiqalarida deyarli bir xil bo‘lsa, vaqt o‘tishi bilan natijalardagi farqlar ortadi. Biroq, 3-egri chiziqdagi holatda, 1 va 2-egri chiziqlar natijalari orasidagi farqlar tebranish jarayonining boshida paydo bo‘ladi va  $t = 90$  bo‘lganida amplituda qiymatlari bo‘yicha ulardan 15-20% ga farq qiladi. Bu holat, materialning qovushqoq-elastik xususiyatlariga bog‘liq ekanligini tasdiqlaydi. Bu qovushqoq-elastik materiallarning deformatsiya energiyasini singdirish qobiliyatiga ega bo‘lishi va keyin uni asta-sekin chiqarishi bilan izohlanadi. Bu ichki ishqalanish tufayli yuzaga keladi, bu tebranishlarni susaytirishga va materialning asta-sekin asl holatiga qaytishiga olib keladi.

Tomonlari  $a$  va  $b$  hamda  $h=h(x,y)$  o‘zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop to‘g‘ri burchakli plastinaning nochiziqli parametrik tebranishlari masalasi ko‘rib chiqilgan, uning matematik modeli va masalani yechish usuli dissertatsiyaning ikkinchi bobida keltirilgan.

Davriy kuchlar ta’sirida o‘zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik izotrop va ortotrop qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlari o‘rganildi. Birinchidan,

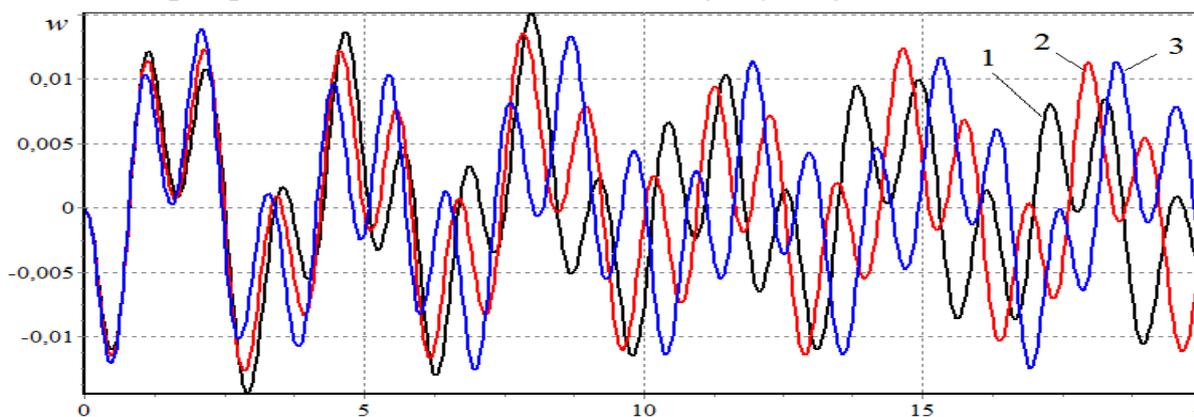
qalinligi o'zgarishi  $h = 1 + \alpha^* x$  ( $\alpha^*$ -qalinlikni o'zgartirish parametri) shakldagi ortotrop qavariq qobiq ko'rib chiqildi. Dastlab, hisob-kitoblar uchun quyidagi ma'lumotlar olingan:  $\delta = 25$ ;  $w_0 = 0.01$ ;  $q = 0$ ;  $\lambda = 1$ ;  $\alpha^* = 0.5$ ;  $k_x = 10$ ;  $k_y = 10$ ;  $\delta_0 = 0.3$ ;  $\delta_1 = 0.5$ ;  $\Theta = 1.1$ .

9-rasmda  $k_x$  egrilik parametrining turli qiymatlarida qavariq qobiqning o'zgarish natijalari keltirilgan. Natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki,  $OX$  o'qi bo'ylab egrilik parametrining oshishi xususiy tebranishlar shakllarining bir-biri bilan ustma-ust tushishi bilan izohlanadi.



**9- rasm. Ko'chishning vaqtga bog'liqlik grafigi ( $k_x = 10$  (1); 15 (2); 20 (2))**

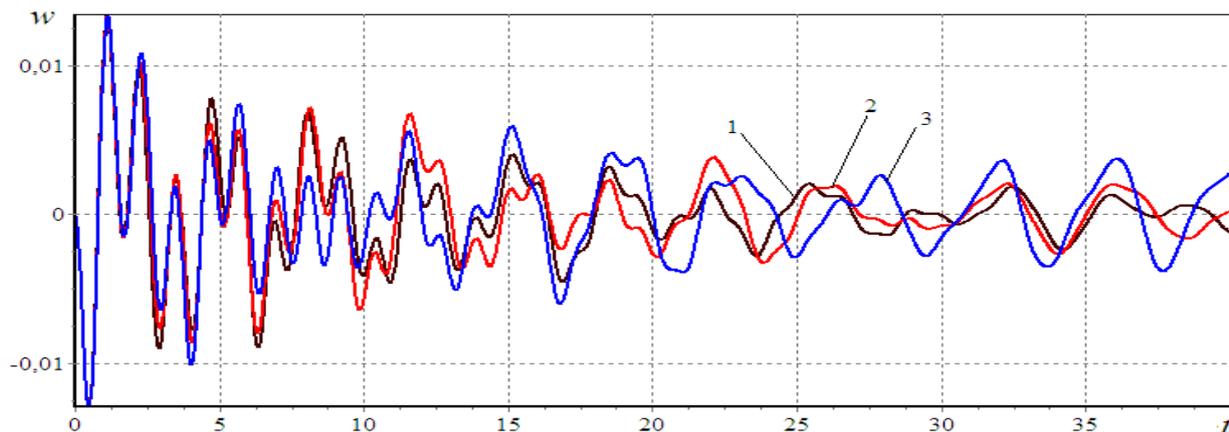
Bir xil bo'lmagan material xususiyatlarini qobiqning harakatiga ta'siri o'rganildi (10 rasm). Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki,  $\Delta = \sqrt{E_1/E_2}$  parametrining ortishi tebranishlar fazasining siljishiga olib keladi. (1 egri chiziq -  $\Delta = 1$ ; 2 egri chiziq -  $\Delta = 1.2$  va 3 egri chiziq -  $\Delta = 1.5$ ). Bu qalinlikning o'zgarishi  $OX$  koordinata o'qi bo'ylab sodir bo'lishi va bu yo'nalishda elastik moduli koordinata o'qlarining ikkinchi yo'nalishiga nisbatan asta-sekin ortib borishi bilan izohlanadi. Shunday qilib, bu yo'nalishdagi qavariq qobiqning bikrligi ikkinchisiga nisbatan ko'proq bo'lib, bu tebranish fazalarning siljishiga olib keladi.



**10- rasm. Ko'chishning vaqtga bog'liqlik grafigi ( $\Delta = 1$  (1); 1.2 (2); 1.5 (2))**

11-rasmda tashqi davriy kuch chastotasining turli qiymatlarida qavariq

qobiqning o'zgarish natijalari keltirilgan,  $\Theta = \theta/\omega$  – tashqi davriy kuch chastotasining tebranishlar chastotasiga nisbati.



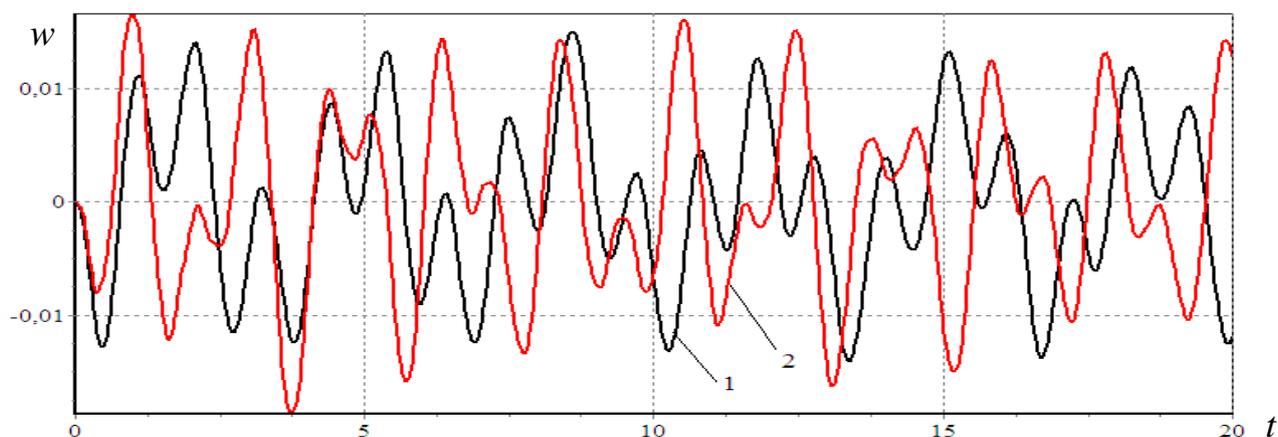
**11- rasm. Ko'chishning vaqtga bog'liqlik grafigi (  $\Theta = 1.1$  (1);  $1.3$  (2);  $1.5$  (3))**

Umumiy holatda ko'rib chiqilayotgan ajralmaydigan integral-differensial tenglamalar sistemasi dinamik noustuvorlik sohasini qurish bilan  $\Theta(t)$  ga nisbatan echiladi. Lekin noxiziqli qovushqoq-elastik masalalar uchun  $\Theta(t)$  ni qolgan fizik-mexanik va geometrik parametrlar orqali ifodalash imkoniyati mavjud emas. Ishlab chiqilgan uslub hisoblash eksperimentini o'tkazish va natijalar asosida yuqorida ko'rsatilgan parametrlarning har bir o'ziga xos misol uchun parametrik rezonans namoyon bo'lish imkoniyatlarini baholash va prognoz qilish imkonini beradi.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, qavariq qobiqlar uchun  $\Theta$  parametrning qabul qilingan geometrik va fizik-mexanik ma'lumotlar bilan o'sishi dinamik noustuvorlik sohasi chegarasidan uzoqdir.

Keyinchalik, izotrop qavariq qobiq ko'rib chiqilgan. 12-rasmda  $k_x$  egrilik parametrining turli qiymatlarida qavariq qobiqning o'zgarish natijalari keltirilgan.

Natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki,  $OX$  o'qi bo'ylab egrilik parametrining oshishi xususiy tebranishlar shakllarining bir-biri bilan ustma-ust tushushiga olib keladi.

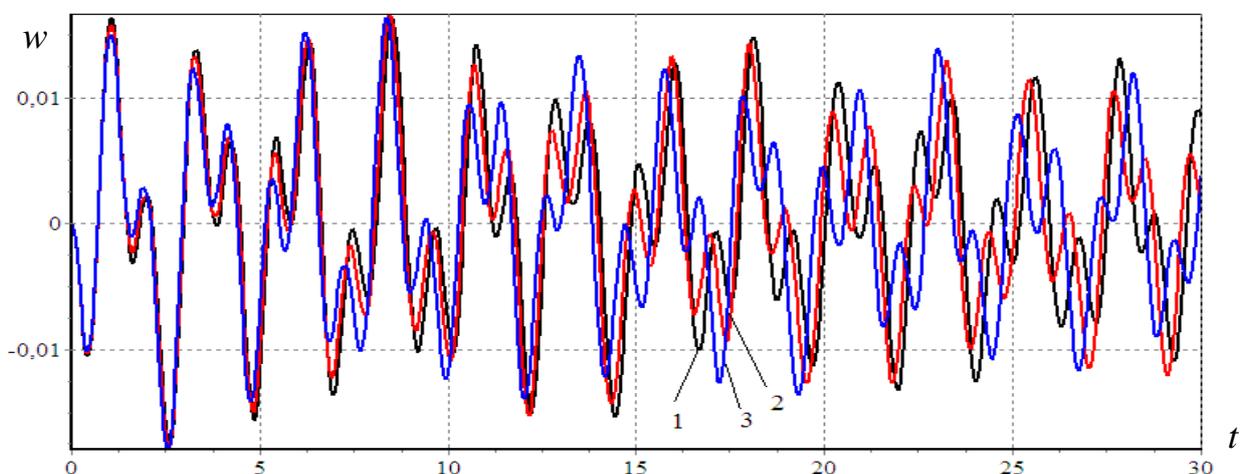


**12-rasm. Ko'chishning vaqtga bog'liqlik grafigi (  $k_x = 0$  (1);  $20$  (2))**

$\alpha^*$  qalinligi o'zgarish parametrining turli qiymatlarida qavariq qobiqning

o'zgarish natijalari 13- rasmda keltirilgan.

Qovushqoq-elastik qavariq qobiqning qalinligini belgilangan qonuniyatga muvofiq doimiy va o'zgaruvchan qalinlikli qavariq qobiqning teng hajmlari bilan o'zgartirish maksimal ko'chishlarning pasayishiga olib keladi.



**13- rasm. Ko'chishning vaqtga bog'liqlik grafigi ( $\alpha^* = 0.3$  (1);  $0.5$  (2);  $0.8$  (3))**

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, tebranish jarayonining boshida amplitudalar doimiy qalinlikdagi qavariq qobiqlar uchun olingan qiymatlardan kam farq qiladi, lekin vaqt o'tishi bilan farqlar o'sa boshlaydi. Bu qalinlik parametrining turli xil sonli qiymatlari uchun ko'rib chiqilayotgan qovushqoq-elastik qavariq qobiqning mos keladigan bikrligi har xil bo'lishi bilan izohlanadi, bu esa bir-biridan sezilarli farq qilishiga olib keladi.

## XULOSALAR

“O'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik plastina va qavariq qobiqlarning noxiziqli parametrik tebranishlarini baholash uchun samarali algoritmlar va dasturlar ishlab chiqish” mavzusidagi dissertatsiya ishi bo'yicha quyidagi xulosalar va natijalar taqdim etildi:

1. O'zgaruvchan qalinlikli yupqa devorli konstruktsiyalarning elastik, va qovushqoq-elastik elementlari parametrik tebranishlari bo'yicha mavjud adabiyotlar tahlil qilingan. O'tkazilgan tahlilga ko'ra, materialning qovushqoq-elastik xususiyatlarini va konstruktsiyalarning geometrik noxiziqli deformatsiyasini hisobga olgan holda yupqa devorli konstruktsiyalar elementlarining parametrik tebranishlarini o'rganish masalasini yechishning matematik modellari va usullarini ishlab chiqish bilan bog'liq ko'plab masalalar ochiq qolmoqda.

Konstruktsiya materialining qovushqoq-elastik xususiyatlarini va katta deformatsiyalarni hisobga olgan holda yupqa devorli konstruktsiya elementlarining parametrik tebranishlari masalasini yechishning matematik modellari, uslublari va

algoritmalarini ishlab chiqish dolzarb vazifa ekanligi aniqlandi.

2. Materialning geometrik noxizizqliligi va qovushqoq-elastik xususiyatlarini hisobga olgan holda davriy kuchlar ta'sirida o'zgaruvchan qalinlikli izotrop, ortotrop plastinalar va qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlarining matematik modellari ishlab chiqilgan.

3. Bubnov-Galerkin usuli yordamida fazoviy o'zgaruvchilar tomonidan diskretizatsiya usuli ishlab chiqilgan va o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik plastinalar va qavariq qobiqlarning parametrik tebranishlari haqidagi masalaning ajralmaydigan noxizizqli singulyar integral-differentsial tenglamalar sistemasini yechish usullar olingan.

4. Davriy kuchlar ta'sirida o'zgaruvchan qalinlikli yupqa devorli konstruktsiyalarning qovushqoq-elastik elementlari dinamik noustuvorlik sohasi chegaralarini baholash va prognoz qilish uchun ajralmaydigan noxizizqli integral-differentsial tenglamalar sistemasini sonli yechish uslubi, hisoblash algoritmi va dasturlar to'plami ishlab chiqilgan.

5. Ishlab chiqilgan matematik modellar koordinata o'qlarining bir va ikki yo'nalishida qalinligi o'zgarishining turli qonunlariga ega bo'lgan yupqa devorli konstruktsiyalar qovushqoq-elastik elementlarining noxizizqli parametrik tebranishlari haqidagi bir qator amaliy masalalarini yechish ko'rsatilgan.

6. Yupqa devorli konstruktsiyalar qovushqoq-elastik elementlarining noxizizqli parametrik tebranishlari haqidagi masalalarning taklif qilingan matematik modellari xususiy hollarda, ya'ni elastik konstruktsiya elementi va doimiy qalinlik uchun, Volmir tenglamalar sistemasiga teng bo'lgan differentsial tenglamalar sistemasiga olib kelishi ko'rsatilgan.

7. Matematik modellarning adekvatligi, taklif qilingan uslub va algoritmning to'g'riligini baholash uchun aniq yechimga ega bo'lgan o'zgaruvchan koeffitsientli integral-differentsial tenglama uchun test masalasi yechildi. Test masalasining natijalari taklif qilingan uslub va algoritmning ishonchliligini hamda samaradorligini ko'rsatdi.

Ishlab chiqilgan algoritm asosida Delphi dasturlash tilida amaliy dasturlar to'plami yaratildi, bular katta deformatsiyalarni hisobga olgan holda qovushqoq-elastik yupqa devorli konstruktsiyalar uchun parametrik tebranishlar ostida konstruktsiyaning rezonans holatini baholash uchun hisoblash tajribasini o'tkazishga imkon beradi.

8. Ko'chishlarning ko'p hadli approksimatsiyasi asosida o'zgaruvchan qalinlikli qovushqoq-elastik ortotrop, izotrop to'g'ri burchakli plastinalar va qavariq qobiqlar uchun belgilangan qiymatlarda parametrik tebranishlarning dinamik noustuvorlik sohasi chegaralarini baholash imkoniyatlari o'rganildi.

9. Material va konstruktsiyalarning fizik-mexanik va geometrik o'lchamlari

o'zgarishining o'zgaruvchan qalinlikli ortotrop, izotrop to'g'ri burchakli plastina va qavariq qobiqlarning amplituda-vaqt xususiyatlariga ta'siri baholandi.

10. Izotrop, ortotrop o'zgaruvchan qalinlikli plastinalar va qavariq qobiqlarning Koltunov-Rjanitsin yadrosi  $A$  qovushqoqlik parametri va  $\alpha$  reologik parametrlari qiymatlarining oshishi dinamik noustuvorlik sohasi chegaralarining torayishiga olib keladi,  $\beta$  parametri esa sezilarli ta'sir ko'rsatmasligi aniqlandi.

11. O'zgaruvchan qalinlikli to'g'ri burchakli plastinalar va qavariq qobiqlarning qo'zg'almas tomonlari sonining ko'payishi amplitudaning pasayishiga va tebranish chastotasining oshishiga olib kelishi aniqlandi.



**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАУЧНОМ СОВЕТЕ  
№ DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 ИНСТИТУТА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТИИМСХ»**

---

**«ТИИМСХ» НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**НОРМУМИНОВ БАХОДИР АШУРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ ДЛЯ  
ОЦЕНКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ  
ВЯЗКОУПРУГИХ ПЛАСТИН И ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК  
ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ**

**05.01.07 – Математическое моделирование.**

**Численные методы и комплексы программ**

**01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела**

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

**Ташкент-2024**

**Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № B2023.2.PhD/FM885**

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском университете «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства».

Автореферат диссертации на трёх языках (русский, узбекский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz), [info@ifar.uz](mailto:info@ifar.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Мирсаидов Мирзиёд Мирсаидович**  
академик Академ наук РУз,  
доктор технических наук, профессор  
**Абдикаримов Рустамхан Алимханович**  
доктор физико-математических наук,  
профессор

**Официальные оппоненты:**

**Равшанов Нормаммад**  
доктор физико-математических наук,  
профессор

**Мавлонов Тулкин**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:**

**Самаркандский государственный  
архитектурно-строительный университет**

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании Разового научного совета при Научном совете № DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 при Национальном исследовательском университете – «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» при института Фундаментальных и прикладных исследований (Адрес: 100000, г. Ташкент, улица Кари Ниязи-39. Тел.: (+99871)237-09-61, факс (+99871) 237-48-67, e-mail: [info@ifar.uz](mailto:info@ifar.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института фундаментальных и прикладных исследований Национального исследовательского университета «ТИИИМСХ» (зарегистрирована за № \_\_\_\_\_). (Адрес: 100000, г. Ташкент, улица Кари Ниязи-39. Тел.: (+99871)237-09-61,

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года.  
(протокол рассылки № \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года).

**Б. Ж. Ахмедов**

Председатель научного совета по присуждению научных степеней, академик Академ наук РУз доктор физико-математических наук, профессор

**Д. Р. Райимбаев**

Ученый секретарь научного совета по присуждению научных степеней, доктор физико-математических наук.

**А. Р. Хаётов**

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению научных степеней, доктор физико-математических наук, профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире ввиду развития в строительстве и повышенным требованиям к использованию неметаллических элементов различных конструкций, весьма актуальной задачей является разработка новых методов оценки их прочности и динамического поведения. В настоящее время в строительстве, машиностроении и авиационной промышленности широко используются элементы тонкостенных конструкций формы пластин и оболочек с переменной толщиной, материалы которых обладают вязкоупругими свойствами. Поэтому особое внимание уделяется исследованиям, проводимых для материалов из неметаллических элементов конструкций обладающих, кроме упругих свойств, вязкоупругими и вязкопластическими свойствами. Не учёт этих свойств приводит при расчете к большим ошибкам.

На сегодняшний день широко проводятся научные исследования, направленные на оценку реального поведения элементов тонкостенных конструкций формы пластин и оболочек переменной толщины при действии периодических нагрузок. В этом направлении приоритет отдается работам, которые создают легкие, но вместе с тем прочные и надежные конструкции с определённым синтезом физико-механических свойств материала. В то же время, востребованной задачей является развитие исследований, сопряженных с созданием новых математических моделей, методов и алгоритмов для оценки нелинейных параметрических колебаний вязкоупругих пластин и пологих оболочек переменной толщины.

С этой точки зрения, в Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены задачи, в том числе по «Продолжение реализации промышленной политики, направленной на обеспечение стабильности национальной экономики, увеличение доли промышленности в валовом внутреннем продукте и рост объема производства промышленной продукции в 1,4 раза.»<sup>2</sup>. В реализации этих задач большое значение имеют научные исследования по разработке новых математических моделей для описания процессов и эффективных численных методов нелинейного расчета для оценки параметрических колебаний пластин и оболочек переменной толщины, выполнять исследования с варьированием основных параметров, влияющих на рассматриваемые конструкции.

На сегодняшний день разработка новых математических моделей, описывающих динамическое поведение элементов тонкостенных конструкций переменной толщины, с учетом неупругих свойств материалов

---

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28.01.2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

и нелинейного деформирования, а также разработка методов и алгоритмов для их расчета является актуальной проблемой.

Данная диссертация в определенной степени служит для реализации задач, определенных в решениях Руководителя государства (28 января 2022 г. «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», постановления от 8 ноября 2022 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы подготовки кадров в сфере архитектуры и строительства») и в решениях Кабинета Министров от 20 апреля 2022 г. «Об утверждении единых административных регламентов в сфере строительства» а также другими нормативно-правовыми актами, направленными на развитие в нашей стране строительной, автомобильной, машиностроительной, нефтегазовой и других отраслей экономики.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Исследование выполнялось в рамках приоритетного направления развития науки и технологий республики IV. «Математика, механика и информатика».

#### **Степень изученности проблемы.**

В последние годы ведутся работы, посвященные оценке колебаний и устойчивости пластин и пологих оболочек переменной толщины. Эти исследования выполнены учеными зарубежных стран, такими как Amabili M., Kurpa L., Awrejcewicz J., Alijani F., Loja M.A.R., Darabi M., Kumar R., а также учеными стран ближнего зарубежья, включая Болотина В.В., Вольмира А.С., Григоренко Я.М., Карпова В.В. Их вклад направлен на анализ динамики и параметрических колебаний этих элементов конструкций.

Ученые Узбекистана Ширинкулов Т., Буриев Т., Бадалов Ф., Мирсаидов М., Мавлонов Т., Эшматов Х., Абдикаримов Р.А. и др. также занимались исследованиями в области нелинейных колебаний и устойчивости пластин, панелей и оболочек. Их вклад в динамические модели и методы решения подобных задач значителен и важен для отечественной науки.

Одним из важных аспектов, требующих дальнейшего изучения, является разработка математических моделей с учетом вязкоупругих свойств материала при нелинейном деформировании тонкостенных конструкций. Это касается задач о параметрических колебаниях изотропных, ортотропных пластин и пологих оболочек переменной толщины, где недостаточно исследованы методики и реализация моделей для учета таких свойств материала.

**Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где была выполнена диссертация.** Работа была выполнена в рамках научно-

исследовательской работы кафедры «Высшая математика» Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» по теме «Решение дифференциальных уравнений в частных производных и его применения к инженерным задачам» (№ гос. рег. 6.8), а также фундаментального гранта Республики Узбекистан №ФЗ-20200929327 по теме «Разработка теории и технологии прочностной надёжности грунтовых плотин с учётом нелинейных фильтрационных и влажностных свойств грунта» - 2021-2026 гг.

**Целью диссертационной работы является** построение математической модели пластин и пологих оболочек переменной толщины при учете вязкоупругих свойств материалов, разработка методики, алгоритма и программных продуктов для решения нелинейных систем интегро-дифференциальных уравнений с сингулярным ядром о параметрических колебаниях элементов тонкостенных конструкций, исследование, оценка и прогноз резонансного состояния колебательного процесса.

#### **Задачи исследований:**

разработать математическую модель для анализа и мониторинга динамического характера элементов тонкостенных конструкций с учетом вязкоупругих и неоднородных свойств материала и геометрически нелинейного деформирования конструкции при периодических нагрузках;

разработать методики, алгоритмы и программы для персональных компьютеров с целью видения прочности элементов тонкостенных конструкций переменной толщины при периодических динамических воздействиях с учетом вязкоупругости материалов и нелинейного (геометрически) деформирования конструкций;

исследовать влияние изменения геометрических и механических параметров в широких диапазонах на нелинейные параметрические колебания изотропных, ортотропных пластин и пологих оболочек переменной толщины в вязкоупругой постановке на основе программы для персональных компьютеров;

исследовать возможности оценки границ области динамической неустойчивости параметрических колебаний при заданных данных для вязкоупругих ортотропных, изотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины, на основе многочленной аппроксимации перемещений и прогиба.

**Объектом исследования являются** элементы тонкостенных конструкций формы пластин и пологих оболочек переменной толщины, обладающие вязкоупругими свойствами, подверженные большим деформациям при периодических динамических нагрузках.

**Предметом исследования** являются математические модели и разрешающие уравнения, описывающие динамическое поведение элементов тонкостенных конструкций.

**Методами исследований** являются математическое моделирование задач о параметрических колебаниях вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций вида пластин и пологих оболочек с переменной толщиной в геометрически нелинейной постановке, метод Бубнова-Галеркина, численное решение систем нелинейных интегродифференциальных уравнений, метод Гаусса.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

Представлены новые математические модели для оценки и прогноза динамического поведения элементов тонкостенных конструкций с учетом вязкоупругих, неоднородных свойств материала и геометрически нелинейного деформирования конструкции при периодических воздействиях.

Создана методика, алгоритмы и программы на персональных компьютерах для оценки прочности элементов тонкостенных конструкций переменной толщины при периодических динамических воздействиях с учетом вязкоупругих свойств материала и геометрически нелинейного деформирования конструкций.

На основе созданной программы при помощи вычислительного эксперимента изучено влияние заданных геометрических размеров и механических характеристик на установление границ областей динамической неустойчивости в нелинейных параметрических колебаниях изотропных, ортотропных пластин и пологих оболочек с переменной толщиной в вязкоупругой постановке.

Используя многочленную аппроксимацию перемещений и прогибов исследованы возможности установления границ области динамической неустойчивости параметрических колебаний при определенных условиях для вязкоупругих ортотропных, изотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины, при этом установлено, что учет вязкоупругих свойств материала приводит к сужению границ области динамической неустойчивости.

**Адекватность разработанной модели, достоверность и точность полученных результатов.** Адекватность предложенных моделей, достоверность подходов, алгоритмов и программ на персональных компьютерах, а также представленных результатов подтверждается решением известных тестовых примеров, которые имеют точные или приближенные аналитические решения. Для каждого рассмотренного

примера проверена практическая сходимость результатов до необходимой точности.

### **Научная и практическая значимость результатов исследования:**

Научная значимость полученных результатов исследований выражается в разработке математических моделей для анализа и мониторинга динамического поведения элементов тонкостенных конструкций с учетом вязкоупругих, неоднородных свойств материала и геометрически нелинейного деформирования конструкции при периодических воздействиях. Это значительный шаг в области инженерных расчетов, позволяющий учесть сложные факторы при анализе поведения таких конструкций в динамике.

Полученные результаты исследования могут служить важными научными рекомендациями при проектировании как конструктивных, так и несущих элементов конкретных строительных сооружений и частей технических объектов с переменной толщиной, работающих при больших динамических нагрузках. Эти результаты имеют широкий спектр применения, включая проектирование и строительство различных объектов, подвергающихся переменным динамическим нагрузкам. Использование этих научных рекомендаций в процессе разработки способствует повышению надежности и долговечности сооружений, что снижает риски возможных повреждений и аварийных ситуаций.

### **Реализация результатов исследований.**

В процессе выполнения исследований разработаны программные продукты на ЭВМ, подтвержденные свидетельствами (в соавторстве) №DGU 05428. 15.05.2018 и №DGU 13846. 18.05.2021 Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, которые позволяют производить расчеты динамического поведения вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций переменной толщины при больших деформациях на периодические воздействия.

Некоторые результаты научно-исследовательской работы, т.е. математические модели, вычислительные алгоритмы и программы, полученные по данному направлению исследований, в настоящее время используются в ООО “REAL Lion Houses” и “Grand Capital” (акты о внедрении результатов научно-исследовательских работ прилагаются) при строительстве зданий и сооружений для оценки прочности и долговечности.

**Апробация работы.** Отдельные результаты и диссертационная работа в целом доложены и обсуждены:

на международных конференциях:

- International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018; St. Petersburg; Russian Federation; 10 December 2018 to 12 December 2018 (Международная научная конференция “Бизнес-технологии для устойчивого развития городов” SPbWOSCE 2018, Санкт Петербург, 10-12 декабря, 2018 г.);

- International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020; Vladimir State University Vladimir; Russian Federation; 27 April 2020 to 28 April 2020 (Международная конференция по физике материалов, строительным конструкциям и технологиям в строительстве, промышленном и производственном машиностроении, MPCPE 2020, Владимир, 27-28 апреля, 2020 г.);

- International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering, STCCE 2020; Kazan, Virtual; Russian Federation; 29 April 2020 to 15 May 2020 (Международная научная конференция по социально-техническому строительству и гражданскому строительству, STCCE 2020, Казань, 29 апреля до 15 мая 2020 г.);

- International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2020; Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers Kari Niyozov street, 39-house Tashkent City; Uzbekistan; 23 April 2020 to 25 April 2020 (Международная научная конференция “Строительная механика, гидравлика и гидротехника”, CONMECHYDRO 2020, Ташкент, 23-25 апреля, 2020 г.);

- 23rd International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2020; National University of Civil Engineering 55 Giai Phong Road Hanoi; Viet Nam; 23 September 2020 to 26 September 2020 (23-я Международная научная конференция “Развитие гражданского строительства: Строительство–формирование среды обитания”, FORM 2020, Ханой, 23-26 сентября, 2020 г.);

- 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering, STCCE 2021; Kazan; Russian Federation; 21 April 2021 to 29 April 2021 (2-я Международная научная конференция по социально-техническому строительству и гражданскому строительству, STCCE 2021, Казань, 21-29 апреля, 2021 г.);

- International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, EECE 2020; St. Petersburg; Russian Federation; 19 November 2020 to 20 November 2020 (Международная научная

конференция по энергетике, экологии и строительству, EECSE 2020, Санкт Петербург, 19-20 ноября 2020 г.);

- 1st International Scientific Conference on Telecommunications, Computing and Control, TELECCON 2019; St. Petersburg; Russian Federation; 18 November 2019 to 19 November 2019 (1-я Международная научная конференция по телекоммуникациям, вычислительной технике и управлению, TELECCON 2019, Санкт Петербург, 18-19 ноября 2019 г.);

- 2nd All-Russian Conference with International Participation on Deep Foundations and Geotechnical Problems of Territories, DFGC 2021; Perm National Research Polytechnical University Perm; Russian Federation; 26 May 2021 to 28 May 2021 (2-я Всероссийская конференция с международным участием “Глубинные основания и геотехнические проблемы территорий”, DFGC 2021, Пермь, 26-28 мая, 2021 г.);

- International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2021; Vladimir; Russian Federation; 26 April 2021 to 28 April 2021 (Международная конференция по физике материалов, строительным конструкциям и технологиям в строительстве, промышленном и производственном машиностроении, MPCPE 2021, Владимир, 26-28 апреля, 2021г.);

- «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А. Г. Горшкова, Москва-2019, Том 1, с. 85-86.

на республиканских конференциях:

- республиканская научно-практическая конференция “Деформируемые твердые тела механика”.- Ташкент, 2018;

- республиканская научная конференция “Фундаментальные и практические проблемы естествознания” – Ташкент, 2019;

- международная научная и научно-техническая конференция “Инновации в строительстве сейсмическая безопасность зданий и сооружений” – Наманган, 2022.

**Публикация результатов.** Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 23 работах, в том числе, 20 научных статей, опубликованных в Республике Узбекистан, в странах СНГ и в дальнем зарубежье. Опубликованные работы: журнальных - 5, в сборниках научных трудов, в материалах различных конференций - 18, из них 14 статей опубликовано на английском языке (в Великобритании, Германии, Франции и России).

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы, 3 приложений и 107 страниц текста, включая 22 рисунка и 1 таблицу.

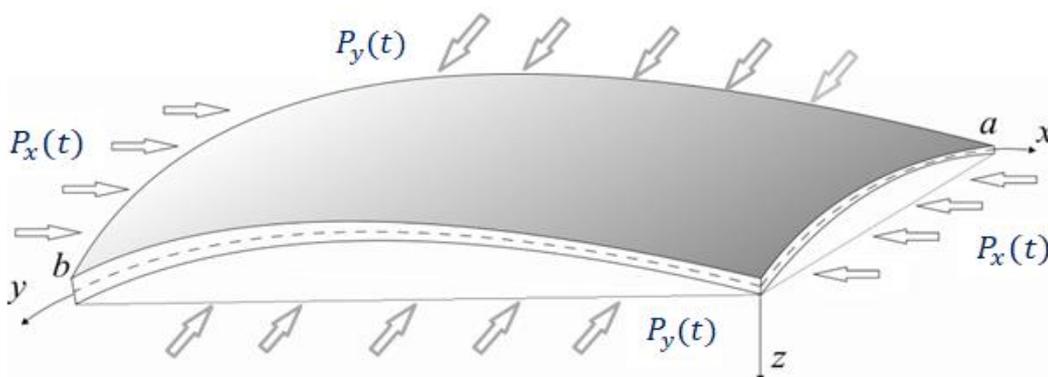
## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость темы диссертации. Охарактеризованы цели и задачи, объект и предмет исследования. Раскрыта степень изученности проблемы и связь исследования с планом научных работ, метод проведения исследований, научная новизна результатов исследования и их достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения по внедрению результатов исследования по опубликованным научным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации “Разработка математической модели для оценки параметрических колебаниях вязкоупругих пластин и пологих оболочек переменной толщины” приведен анализ известных публикаций по теме исследования, а также даны теоретические предпосылки и математические модели задачи о параметрических колебаниях элементов тонкостенных вязкоупругих конструкций типа пластин и пологих оболочек переменной толщины с учетом вязкоупругих свойства материала.

Разработаны математические модели для исследования параметрических колебаний изотропных, ортотропных вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций типа пластин и оболочек переменной толщины с учетом геометрической нелинейности.

Рассматривается прямоугольная в плане вязкоупругая ортотропная пологая оболочка переменной толщины  $h(x,y)$  с размерами  $a \times b$  (Рис.1). Предполагается, что пологая оболочка находится под действием заданных внешних нагрузок интенсивностью  $p_x, p_y, q$ , приложенных к элементу пологой оболочки по направлениям  $x, y$  и  $z$  соответственно. При этом оболочка подвергается динамическому нагружению вдоль сторон  $a$  и  $b$  периодическими нагрузками  $P_x(t)=P_0+P_1\cos(\theta_1 t)$ ,  $P_y(t)=P_2+P_3\cos(\theta_2 t)$  ( $P_0, P_1, P_2, P_3=const, \theta_1, \theta_2$  - частоты внешних периодических нагрузок).



**Рис.1. Пологая оболочка переменной толщины**

При построении математической модели вязкоупругой ортотропной полой оболочки переменной толщины с учетом геометрической нелинейности использовано:

1. Геометрические соотношения на поверхности  $z=0$  с учетом геометрической нелинейности имеют вид:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} - k_x w + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2, & \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} - k_y w + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2, \\ \varepsilon_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y},\end{aligned}\quad (1.1)$$

где  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  и  $\varepsilon_{xy}$  – деформации удлинения по осям  $x$ ,  $y$  и сдвига в касательной плоскости  $(dx, dy)$ ;  $u, v$  и  $w$  – компоненты вектора перемещений точек по осям  $x, y$  и  $z$  соответственно;  $k_x = 1/R_1$  и  $k_y = 1/R_2$  – главные кривизны ( $R_1$  и  $R_2$  – главные радиусы кривизны) оболочки по осям  $x$  и  $y$  соответственно.

2. Деформации в слое  $z \neq 0$  находятся по формулам:

$$\varepsilon_x^z = \varepsilon_x + z\chi_1, \quad \varepsilon_y^z = \varepsilon_y + z\chi_2, \quad \varepsilon_{xy}^z = \varepsilon_{xy} + 2z\chi_{12}, \quad (1.2)$$

где  $\chi_1 = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$ ,  $\chi_2 = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$ ,  $2\chi_{12} = -2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$  есть функции изменения кривизны

$[\chi_1 = \chi_1(x, y), \chi_2 = \chi_2(x, y)]$  и кручения  $[\chi_{12} = \chi_{12}(x, y)]$ .

3. Система уравнений движения в рамках теории Кирхгофа-Лява имеет вид:

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} + p_x - \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, & \quad \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} + p_y - \rho h \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0, \\ \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + 2\frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + k_x N_x + k_y N_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( N_x \frac{\partial w}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} + N_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) + P_x(t) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + P_y(t) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \\ + P_{xy}(t) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + q - \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0.\end{aligned}\quad (1.3)$$

4. Система уравнений (1.3) дополняется соответствующими граничными и начальными условиями.

Компоненты вектора усилий  $\{N\} = (N_x, N_y, N_{xy})$  и моментов  $\{M\} = (M_x, M_y, M_{xy})$  для оболочек симметричного строения запишутся в матричной форме в следующем виде:

$$\begin{aligned}\{N\} &= \{N_x; N_y; N_{xy}\}^T = [C] \cdot \{\varepsilon\}, \\ \{M\} &= \{M_x; M_y; M_{xy}\}^T = [D] \cdot \{\chi\}.\end{aligned}\quad (1.4)$$

Матрицы жесткости  $[C]$  и  $[D]$  имеют вид:

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{26} \\ C_{16} & C_{26} & C_{66} \end{pmatrix}, \quad D = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{pmatrix}, \quad (1.5)$$

где коэффициенты  $C_{ij}$ ,  $D_{ij}$  ( $ij = 11, 22, 12, 16, 26, 66$ ), зависящие от механических характеристик материала и масса  $m$  определяется следующим образом:

$$C_{ij} = \int_{\frac{-h(x,y)}{2}}^{\frac{h(x,y)}{2}} B_{ij} (1 - \Gamma_{ij}^*) dz, \quad (1.6)$$

$$D_{ij} = \int_{\frac{-h(x,y)}{2}}^{\frac{h(x,y)}{2}} B_{ij} (1 - \Gamma_{ij}^*) z^2 dz, \quad (i, j = 1, 2, 6), \quad m = \int_{\frac{-h(x,y)}{2}}^{\frac{h(x,y)}{2}} \rho dz.$$

Здесь  $B_{ij}$  - коэффициенты жесткости,  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma_{ij}^*$  - интегральные операторы с ядрами релаксации  $\Gamma(t)$  и  $\Gamma_{ij}(t)$  соответственно:

$$\Gamma^* \varphi = \int_0^t \Gamma(t - \tau) \varphi(\tau) d\tau, \quad \Gamma_{ij}^* \varphi = \int_0^t \Gamma_{ij}(t - \tau) \varphi(\tau) d\tau, \quad i, j = 1, 2. \quad (1.7)$$

5. В операторной форме систему уравнений движения (1.3) запишем в следующем виде:

$$L_{11}u + L_{12}v + L_{13}w = -L_{14}w + m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad L_{21}u + L_{22}v + L_{23}w = -L_{24}w + m \frac{\partial^2 v}{\partial t^2},$$

$$L_{31}u + L_{32}v + L_{33}w = -L_{34}w - P_x(t) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - P_y(t) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}. \quad (1.8)$$

Здесь  $L_{ij}$  ( $i=1,3; j=1,4$ ) являются дифференциальными и/или интегро-дифференциальными операторами.

Далее для вязкоупругих ортотропной прямоугольной пластины и полой оболочки переменной толщины в двух направлениях координатных осей  $OX$  и  $OY$ , и в частном случае в одном направлении координатных осей  $OX$  и  $OY$ , получены системы нелинейных интегро-дифференциальных уравнений движения при действии периодической нагрузки.

В случае вязкоупругих изотропной прямоугольной пластины и полой оболочки переменной толщины в двух направлениях координатных осей  $OX$  и  $OY$ , и в частном случае в одном направлении координатных осей  $OX$  или  $OY$ , получены системы нелинейных интегро-дифференциальных уравнений движения виде (1.8) отличающиеся соответственно с поправкой изменения толщины вдоль оси  $OY$  и  $OX$  при действии периодической нагрузки.

Сформированы граничные и начальные условия, которые дополняя приведенные в предыдущих параграфах системы интегро-дифференциальных уравнений, образуют математическую модель рассматриваемых задач. Рассмотрены следующие граничные условия: все края шарнирно оперты; все края жестко защемлены и их различные

комбинации.

Теперь необходимо найти перемещения  $u(x,y,t)$ ,  $v(x,y,t)$  и  $w(x,y,t)$  зависящие от времени  $t$ , удовлетворяющие уравнениям (1.8) при заданных граничных и начальных условиях.

Данная математическая модель отличается от известных математических моделей учетом переменности толщины в одном или в двух направлениях координатных осей  $OX$  и  $OY$  для вязкоупругого материала в геометрически нелинейной постановке.

**Во второй главе диссертации “Разрешающие системы уравнений, методика и алгоритм решения задачи об оценке параметрических колебаний вязкоупругих пластин и пологих оболочек переменной толщины”** получены разрешающие системы уравнений нелинейных параметрических колебаний вязкоупругих изотропных, ортотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины при действии периодической нагрузки вдоль направления координатной оси  $OX$  вида:  $P_x(t)=P_0+P_1\cos(\theta_1 t)$  ( $P_0, P_1=const, \theta_1$  – частота внешних периодических нагрузок). Метод Бубнова-Галеркина используется для вывода разрешающих систем уравнений в виде не распадающихся систем интегро-дифференциальных уравнений относительно перемещений в зависимости от времени. Предложена эффективная методика решения задач о нелинейных параметрических колебаниях вязкоупругих изотропных, ортотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины и алгоритм численной реализации полученной системы интегро-дифференциальных уравнений.

Рассмотрена задача о параметрических колебаниях вязкоупругой прямоугольной в плане ортотропной полой оболочки переменной толщины  $h=h(x,y)$  с линейными размерами  $a \times b$ . При принятых предположениях математическая модель и постановка этой задачи относительно прогиба  $w = w(x,y,t)$  и перемещений  $u = u(x,y,t)$ ,  $v = v(x,y,t)$  описывается системой уравнений при соответствующих граничных и начальных условиях.

Полученные разрешающие системы интегро-дифференциальных уравнений, в общем случае, имеют вид не распадающихся систем интегро-дифференциальных уравнений относительно перемещений от времени. Далее получена система разрешающих уравнений задачи о параметрических колебаниях вязкоупругих ортотропных прямоугольных пластин переменной толщины.

Рассмотрен случай, когда материал вязкоупругой пластины и полой оболочки имеют изотропные свойства.

Получена система основных разрешающих нелинейных интегро-дифференциальных уравнений о нелинейных колебаниях пологих оболочек переменной толщины при действии периодической нагрузки.

Получены разрешающие уравнения задачи о параметрических колебаниях вязкоупругой изотропной прямоугольной пластины переменной толщины при соответствующих граничных и начальных условиях.

Разработана методика и алгоритм решения полученных выше

разрешающих систем интегро-дифференциальных уравнений при с соответствующими граничными и начальными условиями с использованием численного метода, основанного на использовании метода квадратурных формул. При этом система обыкновенных интегро-дифференциальных уравнений интегрируется два раза по  $t$ , и система сводится к интегральной форме. Далее, двойные интегралы заменяются на одинарные и проводится регуляризация системы интегро-дифференциальных уравнений, имеющей члены со слабо сингулярными ядрами. Принимая  $t = t_p$ ,  $t_p = p\Delta t$ ,  $p = 1, 2, \dots$  (где  $\Delta t$  - шаг интегрирования), интегралы заменяются формулами квадратурных трапеций для вычисления неизвестных  $w_{pnm} = w_{pnm}(t_p)$ ,  $u_{pnm} = u_{pnm}(t_p)$  и  $v_{pnm} = v_{pnm}(t_p)$ , и получены не распадающиеся системы интегро-дифференциальных уравнений.

На основе разработанного эффективного алгоритма, полученная система решается с применением метода Гаусса.

Для оценки адекватности разработанной модели, точности метода, алгоритма решена тестовая задача для системы интегро-дифференциального уравнения с переменными коэффициентами имеющего точное решение. Результаты решения тестовой задачи показали надежность и эффективность разработанной методики и алгоритма.

На основе разработанной методики и алгоритма решения, создан комплекс программ на языке программирования Delphi, с помощью которых исследованы следующие задачи:

- 1) параметрические колебания вязкоупругой изотропной и ортотропной пластины переменной толщины;
- 2) параметрические колебания вязкоупругой изотропной и ортотропной полой оболочки переменной толщины.

В качестве наглядного примера процесса работы разработанного комплекса программ и визуализации результатов решений рассмотрена модельная задача о параметрических колебаниях изотропной вязкоупругой прямоугольной пластины переменной толщины. В качестве исходных приняты следующие данные:  $\delta = 25$ ;  $w_0 = 0.01$ ;  $\lambda = 1$ ;  $\alpha^* = 0.5$ ;  $\delta_0 = 0.3$ ;  $\delta_1 = 0.5$ ;  $\Theta = 1.1$ ;  $A = 0$  (1), 0.05 (2), 0.1 (3).

Параметрические колебания

N <sup>o</sup>	lam	delta	kx	ky	N	M	Нач.w	H.u	H.v	h	eps	r	q	Нел.	Г.u	Г.v	Г.w	Г.Ф	Нi	Мi
1	1	25	0	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	3	3	1	1
2	1	25	0	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	3	3	1	1
3	1	25	0	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	3	3	1	1

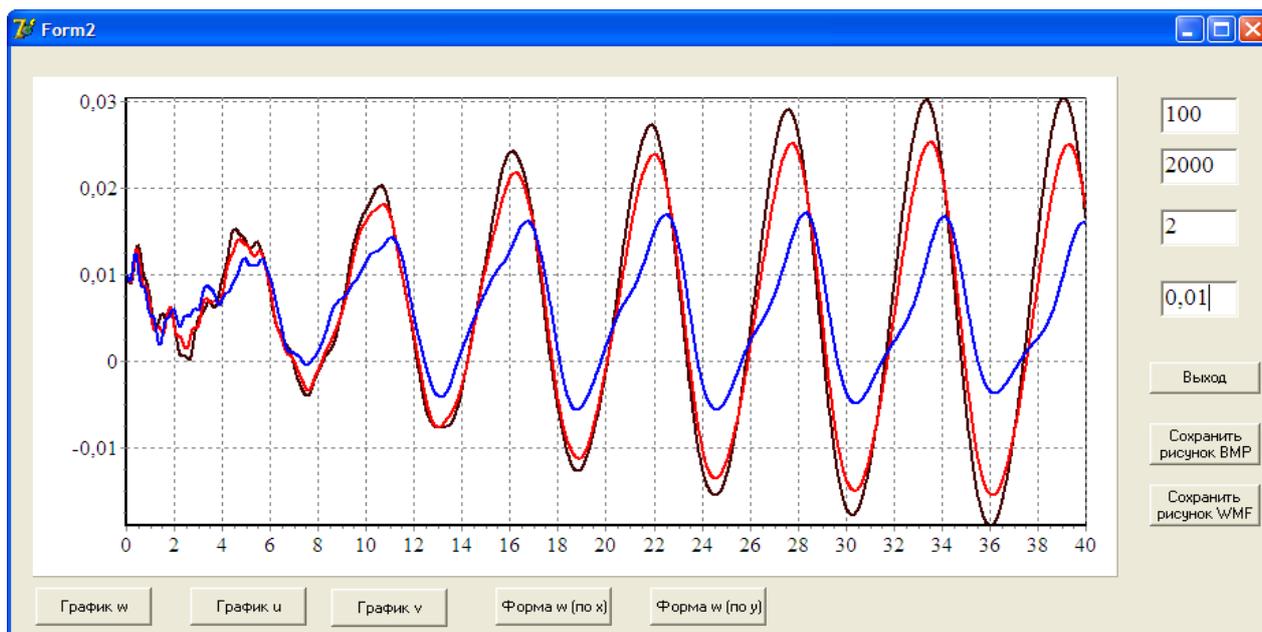
N <sup>o</sup>	A	A11	A12	A21	A22	alf	alf11	alf12	alf21	alf22	beta	beta11	beta12	beta21	beta22	myu1	myu2	E1/E2	g
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.32	0.32	1	0.3833
2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.32	0.32	1	0.3833
3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.32	0.32	1	0.3833

N:   
 M:   
 t:   
 dt:   
 ChG:   
 ε1:   
 ε2:   
 По x:   
 По y:

**Рис.2. Основное окно программы для ввода исходных данных**

Вводятся исходные данные в основном окне программы. Далее, для получения численных результатов нажимается кнопка «Расчет» в диалоговом окне (Рис. 2).

После окончания расчета в основном окне программы активным является кнопка «Графики», при нажатии которой в окне выводится графики результатов расчета (Рис.3). Имеется возможность выделения графиков в различные цвета, например, кривая черного цвета соответствует случаю параметру вязкости  $A=0$ , кривая красного цвета –  $A=0.05$ , кривая синего цвета –  $A=0.1$ . Данный график наглядно отражает поведение изотропной вязкоупругой прямоугольной пластины переменной толщины под действием периодической нагрузки при различных значениях параметра вязкости  $A$ .



**Рис.3 Основное окно вывода результатов расчета**

В разработанном комплексе программ имеется возможность присоединения в модульном виде задач о параметрических колебаниях пластин и пологих оболочек для элементов тонкостенных конструкций, имеющих различные законы изменения их толщины, часто встречающиеся на практике.

**В третьей главе диссертации “Оценка нелинейных параметрических колебаний вязкоупругих изотропных и ортотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины”** исследуются параметрические колебания вязкоупругих изотропных, ортотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины в геометрически нелинейной постановке. Вычисление числовых значений приближенного решения выполнялось на основе предлагаемой методики и алгоритма, изложенного в главе 2. Исследовано влияние геометрической нелинейности, неоднородности материала, параметра переменности толщины, граничных условий на амплитудно-временные характеристики колебаний вязкоупругих изотропных, ортотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины.

Построение областей динамической неустойчивости для нелинейных параметрических колебаний в вязкоупругой постановке является сложной задачей, которая требует применения специализированных математических методов. Учет вязкоупругих свойств материала приводит к сужению границы области динамической неустойчивости.

При рассмотрении нелинейных упругих задач, разложение в ряд Фурье уравнений колебаний дает новые члены с комбинациями частот в виде  $n\theta \pm m\omega$ .

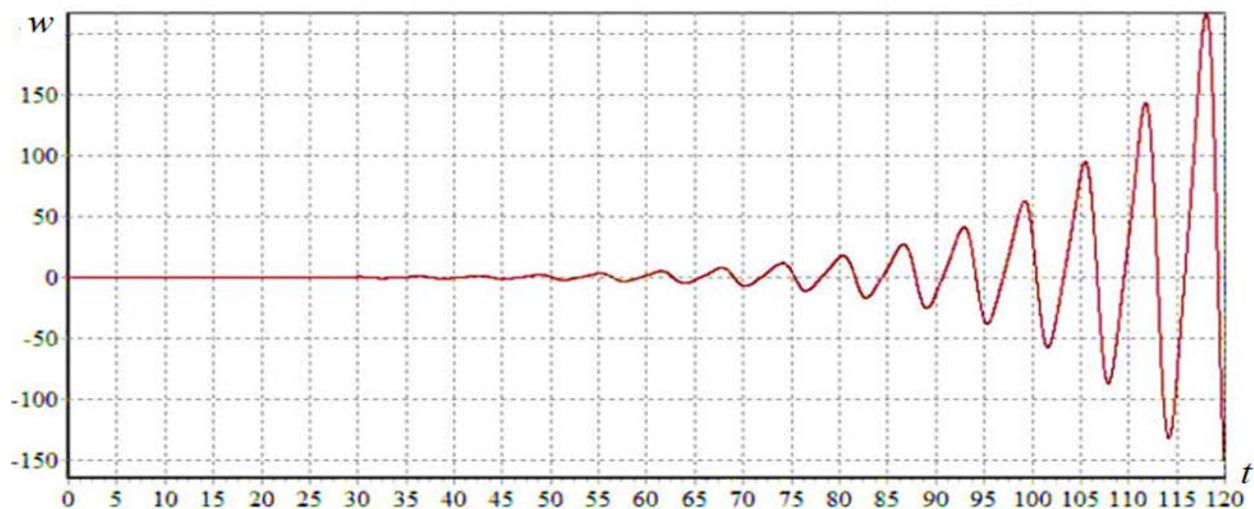
(Здесь  $\theta$  – это частота внешней периодической нагрузки (внешняя частота),  $\omega$  – основная частота колебаний системы, а  $n$  и  $m$  – целые числа).

В нелинейных упругих задачах комбинационный резонанс наступает при разных комбинациях частот:  $r\omega \approx q\theta$ . (Здесь  $r$  и  $q$  – взаимно простые целые числа).

Эти комбинации зависят от свойств системы, т.е. когда  $\theta = \omega$  называется главным или обыкновенным резонансом, который соответствует вынужденным колебаниям.

С помощью разработанных математических моделей, методов и алгоритмов решены задачи о нелинейных параметрических колебаниях вязкоупругих пластин и пологих оболочек переменной толщины, были получены результаты для частных случаев, например, для линейной задачи в упругой постановке, когда  $\theta = \omega$ , который соответствует, как выше отмечалось, вынужденному резонансному случаю.

Ниже приводится график зависимости прогиба от времени при следующих исходных данных:  $A=0$ ,  $\lambda=1$ ;  $\alpha^*=0$ ;  $k_x=0$ ;  $k_y=0$ ;  $\delta_0=0.3$ ;  $\delta_1=0.5$ ;  $\Theta=1.0$ .



**Рис. 4.** График изменения прогиба от времени при следующих исходных данных:  $A=0$ ,  $\lambda=1$ ;  $\alpha^*=0$ ;  $k_x=0$ ;  $k_y=0$ ;  $\delta_0=0.3$ ;  $\delta_1=0.5$ ;  $\Theta=1.0$ .

Результаты (рис.4) показывает, что с течением времени амплитуда колебаний начинает возрастать и наступает резонанс.

В случае параметрических колебаний ключевое значение имеет момент, когда частота собственных колебаний равна половине внешней частоты  $\omega=\theta/2$  – это называется параметрическим резонансом. Созданными программными средствами был проверен и этот случай, как частный случай для рассматриваемых задач, и был получен положительный результат. Исследованы колебания с соотношением частот  $\omega=q\theta$ , называемые обертонами внешней частоты, которые имеют практическое значение.

Исследовано влияние ортотропных свойств материала, физико-механических характеристик и геометрических размеров на границы области динамической неустойчивости.

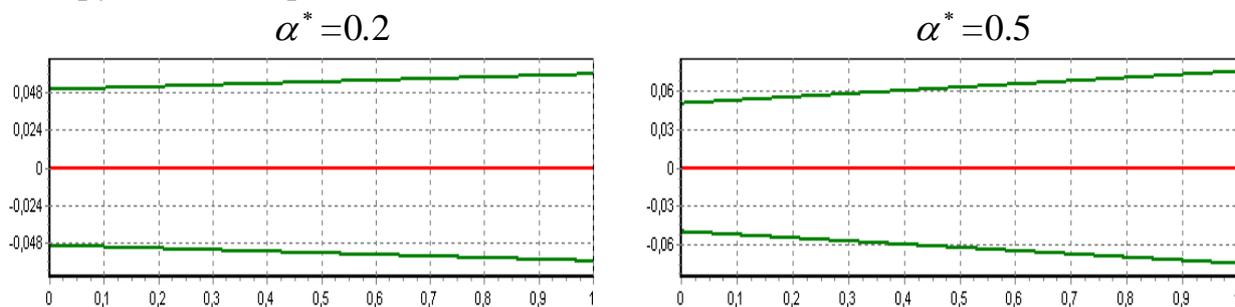
Исследованы параметрические колебания вязкоупругих изотропных и ортотропных пластин переменной толщины при периодических нагрузках. Рассмотрены смежные вопросы с задачами теории колебаний и устойчивости вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций типа пластин и пологих оболочек в нелинейной постановке.

Построение области динамической неустойчивости для линейных задач приводит к решению одного дифференциального уравнения второго порядка с периодическими коэффициентами – уравнение Матье-Хилла.

Для рассматриваемых нелинейных вязкоупругих задач построение области динамической неустойчивости является достаточно сложным, что не позволяет разрешить систему уравнений относительно отношений частоты внешней возмущающей силы к частоте собственных колебаний. В связи с этим нет возможности явно построить области динамической неустойчивости.

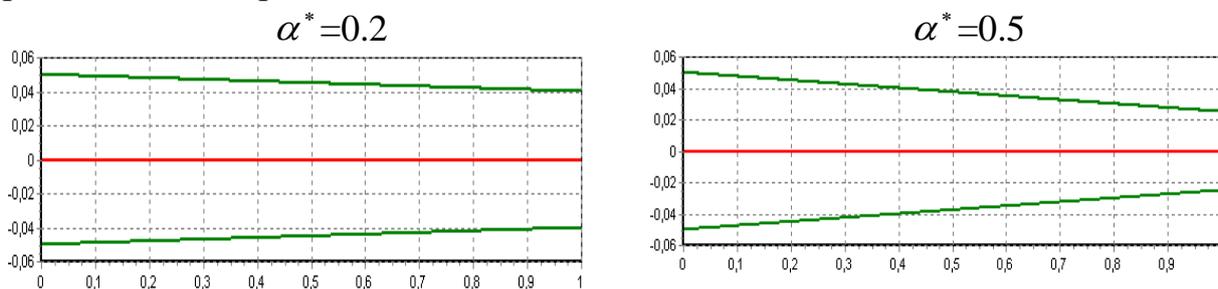
В данной главе построены границы области динамической неустойчивости. Рассмотрена задача о нелинейных параметрических колебаниях вязкоупругой прямоугольной пластины переменной толщины  $h=h(x,y)$  со сторонами  $a$  и  $b$ , изготовленной из ортотропного материала.

На рис. 5 показано изменение толщины имеет вид:  $h = 1 + \alpha^* x$ ,  $h_0 = h(0) = const$ , где  $\alpha^*$  – параметр изменения толщины. Заметим, что данный закон приводит к линейному увеличению толщины элемента конструкций в направлении оси  $OX$ .



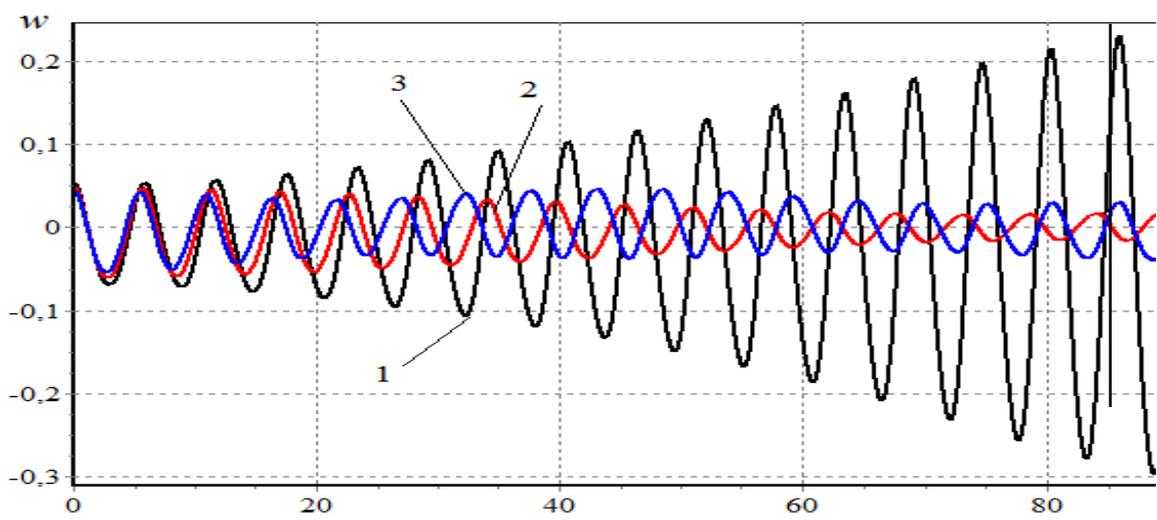
**Рис. 5. Профили при линейном увеличении толщины**

Следующий закон изменения толщины  $h(x) = \frac{1}{2} h_0 (1 - \alpha^* x)$  приводит к линейному уменьшению толщины элемента конструкций. Профили представлены на рис.6.



**Рис. 6. Профили при линейном уменьшении толщины**

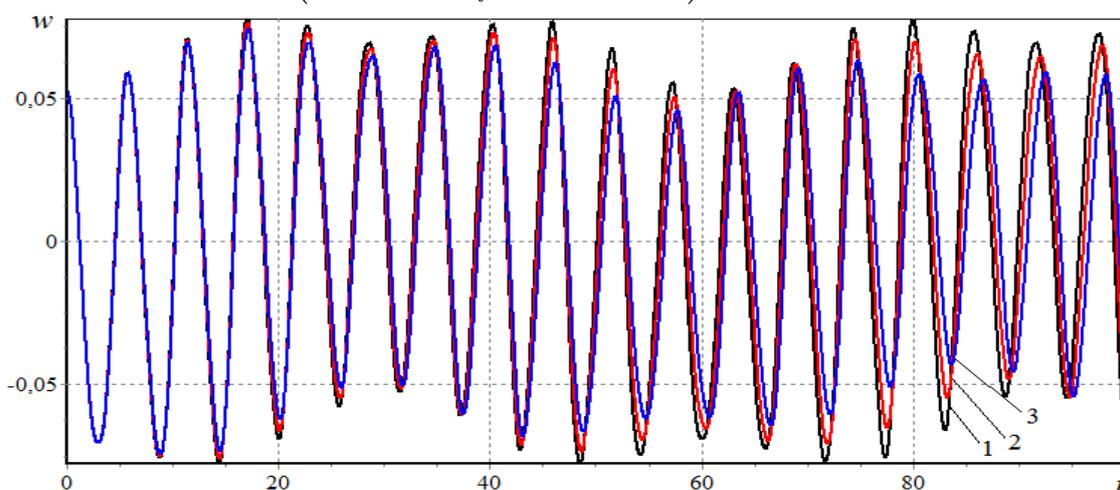
Рассмотрена задача о нелинейных параметрических колебаниях вязкоупругой прямоугольной пластины переменной толщины  $h=h(x,y)$  со сторонами  $a$  и  $b$ , изготовленной из изотропного материала, для которой математическая модель и методика решения задачи представлены во второй главе диссертации.



**Рис. 7. График прогиба от времени при  $\Delta=1$  (1); 1,5 (2); 2 (3)**

Результаты расчетов при различных физических и геометрических параметрах представлены на рис. 7. Как видно из рисунка, увеличение параметра  $\Delta = \sqrt{E_1/E_2}$  (определение степени анизотропии) (кривая 1 -  $\Delta = 1$ ; кривая 2 -  $\Delta = 1,5$  и кривая 3 -  $\Delta = 2$ ) приводит к быстрому уменьшению амплитуды колебаний, так как в направлении  $OX$  увеличивается жесткость пластины.

На рис.8. кривая 1 соответствует упругому случаю, кривая 2 – результатам, полученным с учетом вязкости только в направлении сдвига ( $A = 0.05, A_{ij} = 0, i, j = 1, 2$ ), а кривая 3 – случаю, когда вязкость учитывается во всех направлениях ( $A = 0.05, A_{ij} = 0, i, j = 1, 2$ ).



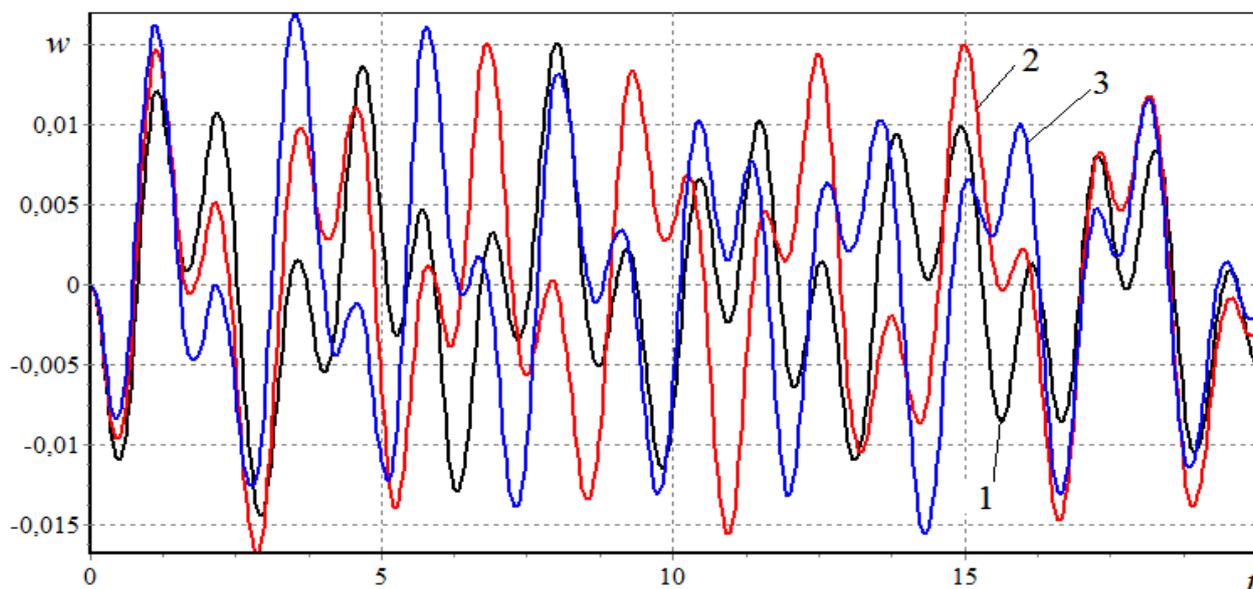
**Рис. 8. График прогиба от времени с учетом вязкости**  
 $(A = 0.05, A_{ij} = 0, i, j = 1, 2)$

Если результаты, соответствующие кривым 1 и 2, в начальные моменты времени практически совпадают, то с течением времени различия в результатах увеличиваются. Однако в случае, соответствующем кривой 3, различия результатов с кривыми 1 и 2 возникают в начале колебательного процесса, а в момент времени  $t = 90$  отличаются от них по амплитудным значениям на 15-20%. Это еще раз подтверждает необходимость учета вязкоупругих свойств материала. Это объясняется тем, что вязкоупругие материалы обладают способностью поглощать энергию деформации и затем постепенно ее высвобождать. Это происходит из-за внутреннего трения, которое приводит к затуханию колебаний и постепенному возвращению материала к исходному состоянию.

Рассмотрена также задача о нелинейных параметрических колебаниях вязкоупругой прямоугольной пластины переменной толщины  $h=h(x,y)$  со сторонами  $a$  и  $b$ , изготовленной из изотропного материала, для которой математическая модель и метод решения задачи представлены во второй главе диссертации.

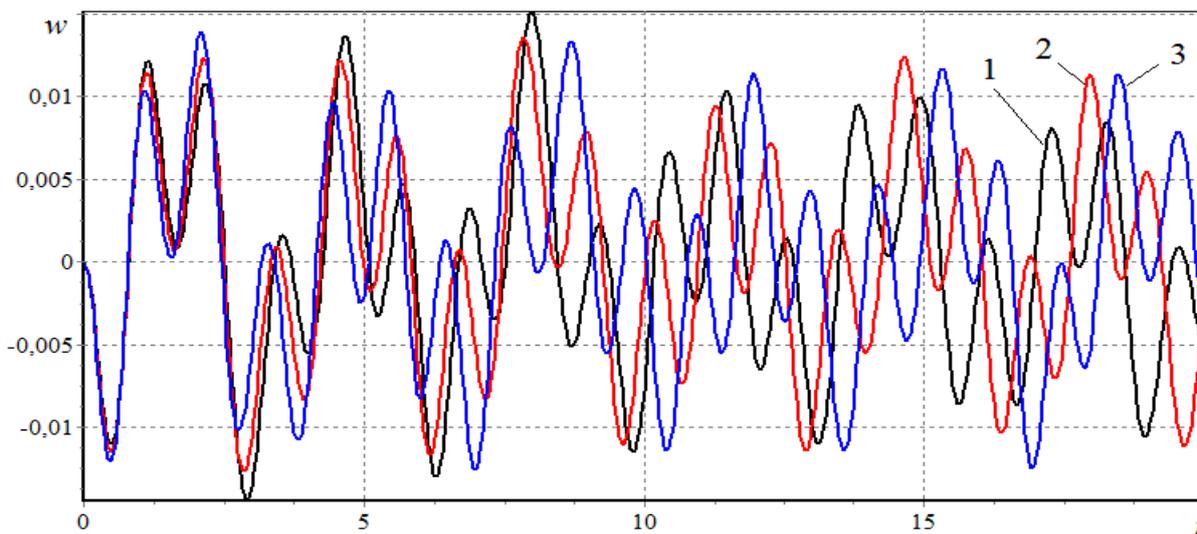
Исследованы параметрические колебания вязкоупругих изотропных и ортотропных пологих оболочек переменной толщины при периодических нагрузках. В начале рассмотрена ортотропная пологая оболочка. Зависимость изменения толщины выбрана в виде:  $h = 1 + \alpha^* x$  ( $\alpha^*$  - параметр изменения толщины). При расчетах за исходные были приняты следующие данные:  $\delta = 25$ ;  $w_0 = 0.01$ ;  $q = 0$ ;  $\lambda = 1$ ;  $\alpha^* = 0.5$ ;  $k_x = 10$ ;  $k_y = 10$ ;  $\delta_0 = 0.3$ ;  $\delta_1 = 0.5$ ;  $\Theta = 1.1$ .

На рис.9 представлены результаты поведения пологой оболочки при различных значениях одной из кривизн  $k_x$ . Анализ результатов показывает, что увеличение параметра кривизны по оси  $OX$ , что объясняется наложением собственных форм колебаний между собой.



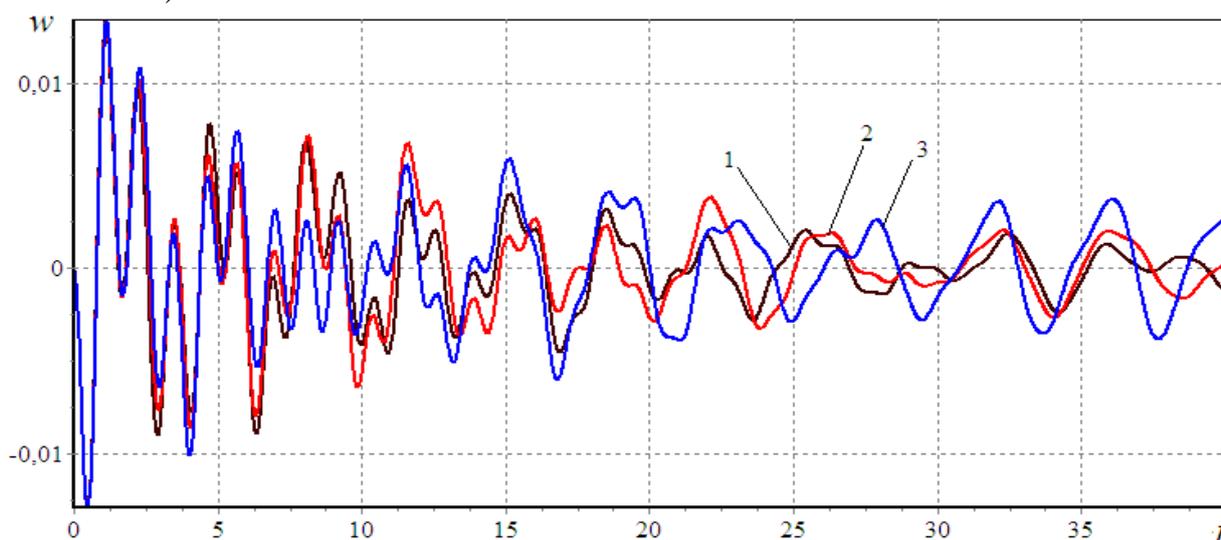
**Рис. 9. График прогиба от времени при  $k_x = 10$  (1); 15 (2); 20 (2)**

Исследовано влияние неоднородных свойств материала на поведение пологой оболочки (Рис.10). Полученные результаты показывают, что увеличение параметра  $\Delta = \sqrt{E_1/E_2}$  (кривая 1 -  $\Delta = 1$ ; кривая 2 -  $\Delta = 1.2$  и кривая 3 -  $\Delta = 1.5$ ) приводит к сдвигу фаз колебаний. Это объясняется тем, что изменения толщины происходит по координатной оси  $OX$  и по данному направлению постепенно увеличивается модуль упругости относительно второго направления координатных осей. Таким образом, жесткость пологой оболочки в этом направлении намного больше относительно второго, что и приводит к сдвигу фаз колебаний.



**Рис. 10. График прогиба от времени при  $\Delta = 1$  (1); 1.2 (2); 1.5 (3)**

На рис.11 представлены результаты поведения полой оболочки при различных значениях частоты внешней периодической нагрузки ( $\Theta = \theta/\omega$  — отношение частоты внешней периодической нагрузки к частоте собственных колебаний).



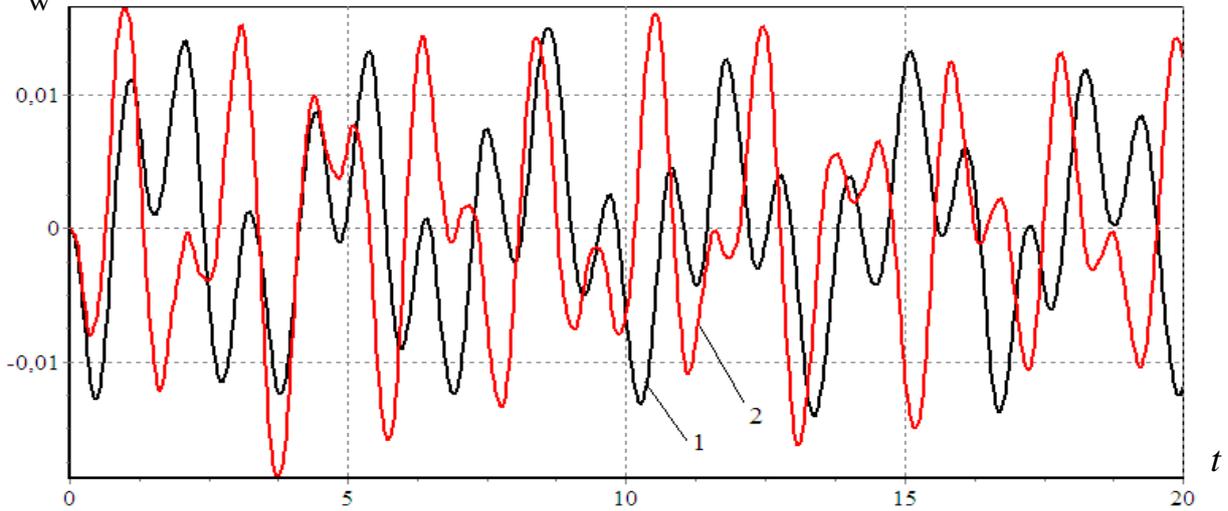
**Рис.11. График прогибов от времени при  $\Theta = 1$ . 1 (1); 1.3 (2); 1.5 (3)**

В общем случае рассматриваемая система не распадающихся интегродифференциальных уравнений разрешается относительно  $\Theta(t)$  с построением области динамической неустойчивости. Но для нелинейных задач вязкоупругости выразить  $\Theta(t)$  через остальные физико-механические и геометрические параметры не представляется возможным. Разработанная методика позволяет провести вычислительный эксперимент, а по результатам оценить и прогнозировать возможности проявления параметрического резонанса при каждом конкретном примере вышеупомянутых параметров.

Из рисунка видно, что для полых оболочек увеличение параметра  $\Theta$  при принятых геометрических и физико-механических данных находятся вдали от границы динамической неустойчивости.

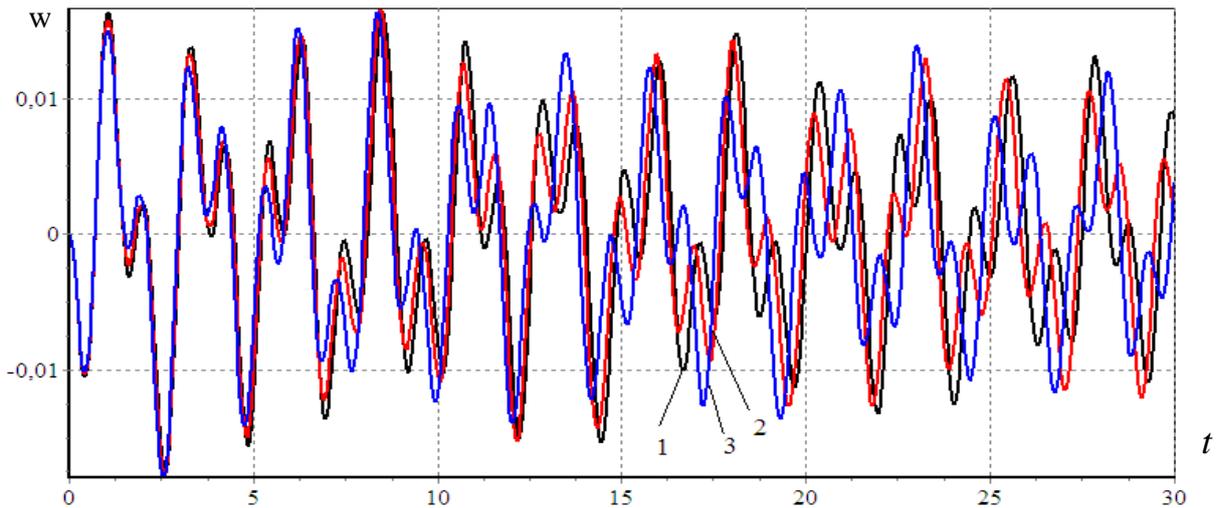
Далее рассмотрена изотропная полая оболочка. На рис.12 представлены результаты поведения полой оболочки при различных

значениях кривизны  $k_x$ . Анализ результатов показывает, что увеличение параметра кривизны по оси  $OX$  приводит к наложению собственных форм колебаний.



**Рис. 12. График прогиба от времени при  $k_x = 0$  (1); 20 (2)**

Результаты поведения полой оболочки при различных значениях параметра толщины  $\alpha^*$  показаны на рис.13.



**Рис. 13. График прогиба от времени при  $\alpha^* = 0.3$  (1); 0.5 (2); 0.8 (3)**

Изменение толщины вязкоупругой полой оболочки по указанному закону при равных объемах полой оболочки постоянной и переменной толщины приводит к уменьшению максимальных перемещений. Результаты показывают, что в начале процесса колебаний амплитуды мало отличаются от значений, полученных для пологих оболочек постоянной толщины, но с течением времени отличия возрастают. Это объясняется тем, что при разных числовых значениях параметра толщины соответственно жесткости рассматриваемой вязкоупругой полой оболочки будет различными, что и приводит к заметному отличию друг от друга.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных изысканий исследований по диссертации на тему: “Разработка эффективных алгоритмов и программ для оценки нелинейных параметрических колебаний вязкоупругих пластин и пологих оболочек переменной толщины” представлены следующие выводы и результаты:

1. Произведен критический анализ имеющейся литературы, посвященной параметрическим колебаниям неупругих элементов тонкостенных конструкций переменной толщины. Проведенный анализ показал, что многие вопросы, связанные с разработкой математических моделей и методов решения задачи исследования параметрических колебаний элементов тонкостенных конструкций с учетом вязкоупругих свойств материала и геометрического нелинейного деформирования конструкций, остаются открытыми.

Отмечено, что разработка математических моделей, методов и алгоритмов решения задач о параметрических колебаниях элементов тонкостенных конструкций с учетом вязкоупругих свойства материала конструкции и больших деформаций является актуальной задачей.

2. Разработаны математические модели параметрических колебаний изотропных, ортотропных пластин и пологих оболочек переменной толщины при действии периодических нагрузок с учетом геометрической нелинейности и вязкоупругих свойств материала.

3. Разработан метод дискретизации по пространственным переменным с применением метода Бубнова-Галеркина и получены разрешающие системы не распадающихся нелинейных сингулярных систем интегро-дифференциальных уравнений задачи о параметрических колебаниях вязкоупругих пластин и пологих оболочек переменной толщины.

4. Разработана методика, вычислительный алгоритм и комплекс программ для численной реализации решения систем не распадающихся нелинейных интегро-дифференциальных уравнений, для анализа и мониторинга границы области динамической неустойчивости вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций переменной толщины при периодических воздействиях.

5. Показано, что предложенные математические модели задач о нелинейных параметрических колебаниях вязкоупругих элементов тонкостенных конструкций в частных случаях, для упругого элемента конструкции с постоянной толщины приводит к системам дифференциальных уравнений, эквивалентной системам уравнений Вольмира.

6. Для оценки адекватности моделей, точности предложенной методики и алгоритма, решена тестовая задача для интегро-дифференциального уравнения с переменными коэффициентами, имеющего точное решение. Результаты тестовой задачи показали надежность и эффективность предложенной методики и алгоритма.

7. С помощью разработанного алгоритма подготовлен комплекс прикладных программ на языке программирования Delphi, который позволяет проводить вычислительный эксперимент с целью оценки резонансного состояния конструкции при параметрических колебаниях для вязкоупругих тонкостенных конструкций с учетом больших деформаций.

8. На основе многочленной аппроксимации перемещений и прогиба исследованы возможности оценки границ области динамической неустойчивости параметрических колебаний при заданных данных для вязкоупругих ортотропных, изотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщины.

9. Оценено влияние на амплитудно-временные характеристики ортотропных, изотропных прямоугольных пластин и пологих оболочек переменной толщиной варьирование физико-механических и геометрических параметров материала и конструкций.

10. Установлено, что учет параметра вязкости  $A$  и реологического параметра  $\alpha$  ядра Колтунова-Ржаницына изотропных, ортотропных пластин и пологих оболочек приводит к сужению границ области динамической неустойчивости, а параметр  $\beta$  существенного влияния не оказывает.

11. Выявлено, что увеличение количества закрепленных сторон прямоугольных пластин и пологих оболочек приводит к уменьшению амплитуды колебаний и к увеличению частоты колебаний.

**ONE-TIME SCIENTIFIC ADVICE WITH THE SCIENTIFIC COUNCIL  
No. DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 INSTITUTE OF FUNDAMENTAL AND  
APPLIED RESEARCH AT THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY  
“TIAME”**

---

**“TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL  
MECHANIZATION ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH  
UNIVERSITY**

**NORMUMINOV BAKHODIR ASHUROVICH**

**DEVELOPMENT OF EFFECTIVE ALGORITHMS AND PROGRAMS  
FOR ASSESSING NONLINEAR PARAMETRIC OSCILLATIONS OF  
VISCOELASTIC PLATES AND FLOWSHELLS OF VARIABLE  
THICKNESS**

**05.01.07 – Mathematical modeling.  
Numerical methods and software packages  
01.02.04 – Mechanics of deformable solids**

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

**Tashkent – 2024**

**The Doctor of Philosophy (PhD) thesis topic of Physical and Mathematical sciences was registered at the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2023.2.PhD/FM885.**

Dissertation has been prepared at “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” National Research University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz), [info@ifar.uz](mailto:info@ifar.uz).) and the “ZiyoNet” Information and educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisors:**

**Mirsaidov Mirziyod Mirsaidovich**

Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Abdikarimov Rustamxan Alimxanovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor

**Official opponents:**

**Ravshanov Normaxmad**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences

**Mavlonov Tulkin**

Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:**

**Samarkand State university of  
Architecture and Construction**

Defense will take place « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 at \_\_\_\_ at the meeting of the one-time Scientific Council based on the Scientific Council number № DSc.03/31.03.2022.T/FM.10.04 at the Institute of Fundamental and Applied Research under the National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” (Address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39, Institute of Fundamental and Applied Research, Hall 108; Tel: (99871) 237-09-61; Fax: (99871) 237-48-67, e-mail: [info@ifar.uz](mailto:info@ifar.uz)).

Dissertation is possible to review in Information-resource center of the Institute of Fundamental and Applied Research under the National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” (is registered № \_\_\_\_\_) (Address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39, Institute of Fundamental and Applied Research Tel: (99871) 237-09-61; Fax: (99871) 237-48-67, e-mail: [info@ifar.uz](mailto:info@ifar.uz)).

Abstract of dissertation sent out on « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 year

(Mailing report № \_\_\_\_\_ on « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 year)

**B. J. Axmedov**

Chairman of scientific council on award of scientific degrees, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**D.R.Rayimbaev**

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

**A.R.Hayotov**

Chairman of the Scientific seminar under Scientific Council on award of scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research work** is construction of a mathematical model of plates and flat shells of variable thickness, taking into account the viscoelastic properties of the material, development of a methodology, algorithm and software products for solving nonlinear systems of integro-differential equations with a singular kernel on parametric vibrations of elements of thin-walled structures, research, assessment and prediction of the resonant state of the oscillatory process.

**The object of the research work** is the elements of thin-walled structures such as plates and flat shells of variable thickness, possessing viscoelastic properties, subject to large deformations under periodic dynamic loads.

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

a mathematical model has been developed to assess and predict the dynamic behavior of elements of thin-walled structures, taking into account viscoelastic, heterogeneous properties of the material and geometrically nonlinear deformation of the structure under periodic influences;

a methodology, algorithms and programs on personal computers have been created to assess the strength of elements of thin-walled structures of variable thickness under periodic dynamic influences, taking into account the viscoelastic properties of the material and geometrically nonlinear deformation of structures;

based on the created program and a computational experiment, the influence of given geometric dimensions and mechanical characteristics on establishing the boundaries of dynamic instability regions for problems of nonlinear parametric vibrations of viscoelastic isotropic, orthotropic plates and flat shells of variable thickness was studied;

based on a polynomial approximation of displacements and deflection, the possibilities of estimating the boundaries of the region of dynamic instability of parametric vibrations for given data for viscoelastic orthotropic, isotropic rectangular plates and flat shells of variable thickness have been studied, and it has been established that taking into account the viscoelastic properties of the material leads to a narrowing of the boundaries of the region of dynamic instability.

**Implementation of the research results.** In the course of research, a number of computer software products were developed, protected by certificates (co-authored) No. DGU 05428. 05.15.2018 and No. DGU 13846. 05.18.2021 of the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan, which allow calculations of the dynamic behavior of viscoelastic elements of thin-walled structures of variable thickness under large deformations under periodic influences.

Some results of the research work, i.e. mathematical models, computational algorithms and programs obtained in this area of research are currently used in LLC “REAL Lion Houses” and “Grand Capital” (acts on the implementation of the results of research work are attached) in the construction of buildings and structures to assess the strength and durability.

**The structure and volume of the dissertation.** The work consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references, 3 appendices and contains 107 pages of text, includes 22 figures and 1 table.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть, I part)**

1. Мирсаидов М.М., Абдикаримов Р.А., Ватин Н.И., Жгутов В.М., Ходжаев Д.А., Нормуминов Б.А. Нелинейные параметрические колебания вязкоупругой пластинки переменной толщины. Инженерно-строительный журнал, 2018. № 6(82). С. 112–126. **(01.00.00; №27)**.

2. Khodzhaev D.A., Abdikarimov R.A., Normuminov B.A. Parametric oscillations of a viscoelastic shallow shell of variable thickness. Scientific-technical journal STJ FerPI, 2019. V.23 №3. **(05.00.00; № 20)**.

3. Abdikarimov R.A., Vatin N.I., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A. Vibrations of a viscoelastic isotropic plate under periodic load without considering the tangential forces of inertia. Journal of Physics: Conference Series 2021, 1928 (1), № 012037. (IF=1.0), **(01.00.00; № 16)**.

4. Khodzhaev D.A., Abdikarimov R.A., Normuminov B.A., Amabili M., Parametric oscillations of a viscous-elastic orthotropic shell of variable thickness. Magazine of Civil Engineering, 2023, 120(4), № 12010 **(IF=2.3)**.

5. Мирсаидов М.М., Абдикаримов Р.А., Ходжаев Д.А., Нормуминов Б.А. Исследование параметрических колебаний вязкоупругой цилиндрической панели переменной толщины. Научно-технический журнал по строительству и архитектуре, Вестник МГСУ, 2018. Том 13, Выпуск 11, стр. 1315-1325.

6. Khodzhaev D.A., Normuminov B.A., Mustapakulov Ya., and Angela Mottaeva. Nonlinear parametric oscillations of a viscoelastic shallow shell of variable thickness. E3S Web of Conferences 2019, 110, № 01046. **(IF=1.0)**.

7. Abdikarimov R.A., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A., and Khafizova Z. Parametric oscillations of viscoelastic orthotropic plates of variable thickness. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020, 896 (1), № 012029. (MPCPE-2020) **(IF=1.1)**.

8. Khodzhaev D.A., Abdikarimov R.A., Normuminov B.A. Dynamic Stability of Viscoelastic Rectangular Plates with Concentrated Masses. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020, 896 (1), № 012030. (MPCPE-2020), **(IF=1.1)**.

9. Dadakhan Khodzhaev, Nikolay Vatin, Rustamkhan Abdikarimov, Bakhodir Normuminov, Bakhadir Mirzaev. Dynamic stability of viscoelastic orthotropic shells with concentrated mass. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020, 890 (1), № 012042, (STCCE – 2020), **(IF=1.1)**.

10. Rustamkhan Abdikarimov, Bakhtiyor Eshmatov, Bakhodir Normuminov and Davronbek Yulchiyev. Dynamics of Viscoelastic Orthotropic Shallow Shells

of Variable Thickness. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020, 883 (1), № 012214. CONMECHYDRO – 2020, (IF=1.1).

11. Rustamkhan Abdikarimov, Mirziyod Mirsaidov, Dadakhan Khodzhaev, Bakhodir Normuminov and Bakhadir Mirzaev. Parametric vibrations of viscoelastic orthotropic cylindrical panels of variable thickness. XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering Construction the Formation of Living Environment, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020, 869 (5), № 052034, (IF=1.1).

12. Mirsaidov M.M., Vatin N.I., Abdikarimov R.A., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A. Parametric vibrations of viscoelastic rectangular plates with concentrated masses. Lecture Notes in Civil Engineering 2021, 169, pp. 72-79.(IF=0.7).

13. Vatin N.I, Abdikarimov RA., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A. Dynamic Stability of Viscoelastic Orthotropic Rectangular Plate with Variable Thickness Under Periodic Loads. Lecture Notes in Civil Engineering 2021, 150 LNCE, pp. 546-554.(IF=0.7).

14. Abdikarimov R.A., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A., Yulchiyev D. Parametric Oscillations of Viscoelastic Orthotropic Rectangular Plates of Variable Thickness. Smart Innovation, Systems and Technologies 2021, 220, pp. 109-117.(IF=1.1).

15. Mirsaidov M.M., Abdikarimov R.A., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A. Dynamic analysis of an orthotropic viscoelastic cylindrical panel of variable thickness. E3S Web of Conferences 2021, 264, № 02045.(IF=1.0).

16. Mirsaidov M.M., Abdikarimov R.A., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A., Roshchina S., Vatin N.I. Nonlinear Vibrations of an Orthotropic Viscoelastic Rectangular Plate Under Periodic Loads. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 182, pp. 139-147. (IF=0.7).

#### **II bo‘lim (II часть, II part)**

17. Абдикаримов Р.А., Ходжаев Д.А., Нормуминов Б.А. Расчет параметрических колебаний вязкоупругой оболочки переменной толщины. Республиканская научно-практическая конференция “Деформируемые твердые тела механика”, 2018. стр 80-87.

18. Ходжаев Д.А., Кучаров О.Р., Нормуминов Б.А. Флаттер вязкоупругих прямоугольных пластин с сосредоточенными массами. Республиканская научно-практическая конференция “Деформируемые твердые тела механика”, 2018. стр 229-236.

19. Абдикаримов Р.А., Ходжаев Д.А., Нормуминов Б.А. Параметрические колебания вязкоупругой ортотропной пластинке переменной толщины с учетом начальных неправильностей. Сборник

теоритических научно-методических статей “Математика и инновационные методы ее преподавания”, 2018. стр 4-6.

20. Нормуминов Б.А. Влияние переменности толщины вязкоупругой пластины на динамическую устойчивость при периодическом нагружении. Республиканская научная конференция “Фундаментальные и практические проблемы естествознания”, 2019. стр. 14-17.

21. Абдикаримов Р.А., Нормуминов Б.А. Параметрические колебания вязкоупругой изотропной пластины переменной в одном направлении толщины. Республиканская научная конференция “Фундаментальные и практические проблемы естествознания”, 2019. стр. 48-52.

22. Дмитриев В.Г., Ходжаев Д.А., Нормуминов Б.А. Параметрические колебания вязкоупругой ортотропной пластинки линейно-переменной толщины. Материалы XXV международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А. Г. Горшкова, 2019. Москва, Том 1, стр. 85-86.

23. Нормуминов Б.А. Ўзгарувчан қалинликдаги қовушқоқ – эластик тўғри тўртбурчакли ортотроп пластиналарнинг параметрик тебранишлари. “Қурилишда инновациялар, бинолар ва иншоотларнинг сейсмик хавфсизлиги” мавзусидаги Халқаро миқёсидаги илмий ва илмий-техник конференция материаллари тўплами. Наманган-2022, 611-614 б.

24. Абдикаримов Р.А, Ходжаев Д.А., Нормуминов Б.А. Ўзгарувчи қалинликга эга бўлган қовушқоқ эластик юпқа деворли конструкцияларнинг параметрик тебранишларини ҳисоблаш. **Гувоҳнома**, Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлиги, 2018. № DGU 05458.

25. Abdikarimov R.A., Khodzhaev D.A., Normuminov B.A. O‘zgaruvchi qalinlikka ega bo‘lgan ortotrop qovushqoq-elastik yupqa devorli konstruktsiyalarning dinamik masalalarini kompyuterli modellashtirish// **Гувоҳнома**, Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги хузуридаги интеллектуал мулк агентлиги, 2021. № DGU 13846.



Avtoreferat “Irrigatsiya va melioratsiya” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar mosligi tekshirildi.

Bosmaxona litsenziyasi



6742

Bichimi: 84x60 1/16 “Times New Roman”  
garniturasida raqamli bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i: 3,8. Adadi 50. Buyurtma №45

Guvohnoma № 000156-04  
“Kartografiya” Davlat ilmiy-ishlab chiqarish  
korxonasida chop etildi.  
Bosmaxona manzili: 100170, Toshkent sh.,  
Ziyolilar ko‘chasi, 6