

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

UMAROV ALOVIDDIN OCHILOVICH

**QOVUSHOQ-ELASTIK MUHITDAGI ELLIPTIK SILINDRGA
GARMONIK TO‘LQINLAR TA‘SIRINING XUSUSIYATLARI**

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

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

Бухоро – 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 doctor of philosophy (PhD) on physical-
mathematical sciences**

Umarov Aloviddin Ochilovich

Qovushoq-elastik muhitdagi elliptik silindrga garmonik to'liqlar ta'sirining
xususiyatlari..... 3

Умаров Аловиддин Очилович

Особенности воздействия гармонических волн на эллиптический цилиндр в
вязкоупругой среде 21

Umarov Aloviddin Ochilovich

Features of the action of harmonic waves on an elliptical cylinder in a viscoelastic
medium..... 39

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ
List of published works 43

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

UMAROV ALOVIDDIN OCHILOVICH

**QOVUSHOQ-ELASTIK MUHITDAGI ELLIPTIK SILINDRGA
GARMONIK TO‘LQINLAR TA‘SIRINING XUSUSIYATLARI**

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

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

Бухоро – 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/FM 755 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Buxoro muhandislik-texnologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume) institut veb-saytida (www.buxmti.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Safarov Ismoil Ibrohimovich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Mardonov Botir Мардонович
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Mirzayev Ibraxim
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Namangan muhandislik-qurilish instituti

Dissertatsiya himoyasi 2024 yil «22» yanvar kuni soat 15:00 da Buxoro muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 raqamli Ilmiy kengash majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 200100, Buxoro shahar, Q. Murtazoyev ko'chasi, 15. Tel.: (+99865) 223-78-84; faks: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Buxoro muhandislik-texnologiya institutining Axborot-resurs markazida (№ 453 raqam bilan ro'yxatga olingan) tanishish mumkin. Manzil: (200100, Buxoro shahar, Q. Murtazoyev ko'chasi, 15. Tel.: (+99895) 604-44-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «10» yanvar kuni tarqatildi.

(2023 yil «28» noyabrda № 7 raqamli reyestr bayonnomasi).



MLX.Teshaev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, f.-m.f.d. (DSc)

Z.I.Boltayev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, f.-m.f.d. (DSc)

MLZ.Sharipov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d. (DSc), professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferat)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati. Jahonda qovushoq-elastik muhitlarda joylashgan ko'ndalang kesimi turlicha bo'lgan silindrik jismlarda seysmik (yoki turg'un garmonik) to'lqinlar ta'sirida hosil bo'ladigan dinamik kuchlanish-deformatsiya holati, to'lqinning muhitdagi jism bilan o'zaro ta'siri hamda difraksiyasi muammolarini yechishda takomillashgan hisoblash usullarini qo'llash yetakchi o'rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida yer osti inshootlarining tarkibiy qismi bo'lgan elastik va qovushoq-elastik uzun qatlamlarda hosil bo'ladigan dinamik kuchlanishlar va deformatsiyalarni kamaytirish, ulardagi to'lqin yuklanish dinamikasini tadqiq qilish va baholashning yangi usullarini amalyotga joriy etishni taqazo etadi. Shu jihatdan ko'p qatlamli murakkab fizik xossalarga ega bo'lgan va muhit bilan aloqada bo'lgan silindrik polimer, beton va metall qobiqlardan foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda materialning qovushoq-elastiklik xususiyatini hisobga olib, dinamik masalalarni yangi ilmiy-texnikaviy yechimlarini ishlab chiqishga yo'naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, elliptik ko'ndalang kesimli silindrik suyuqlikli quvurlar tebranishlarini kamaytirishga imkon beruvchi parametrlarning barqarorligini ta'minlash, ko'ndalang kesimi turlicha bo'lgan silindrik ko'rinishdagi jismlarda to'lqin difraksiyasi muammosini o'rganish, ular hosil qiladigan salbiy holatlarni kamaytirish va deformatsiyalanuvchan jism mustahkamligini oshirish, xususiyatlarini aniqlash metodikasini ishlab chiqishga va rivojlantirishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda inshootlarning mustahkamligini o'rganishda ularning dinamik kuchlanganlik-deformatsiyalanuvchanlik holatining xususiyatlarini tadqiq qilish, xavfli kuchlanishlarni aniqlash uchun maqsadli ilmiy tadqiqotlarni olib borib, muhit bilan o'zaro ta'sirda bo'lgan jismlarning xos tebranishlarini va rezonans holatlarini o'rganish yuzasidan keng tarmoqli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 29 oktabrdagi "Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi Farmonida, jumladan, «...ilmiy-innovatsion salohiyatdan keng foydalanish, istiqbolda ilm-fanni muntazam isloh qilib borishning ustuvor yo'nalishlarini belgilash, zamonaviy bilimga ega va mustaqil fikrlaydigan yuqori malakali kadrlar tayyorlash,...»¹ vazifalari belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, qovushoq-elastik muhit bilan o'zaro ta'sirda bo'lgan deformatsiyalanuvchan elliptik jism xos tebranish xususiyatlarini aniqlash metodikasini ishlab chiqish va rivojlantirish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "Yangi O'zbekistonning 2022-2026 yillarga mo'ljallangan rivojlanish strategiyasi to'g'risida" gi PF-60-sonli va 2020 yil 30 iyuldagi PQ-4794 - sonli "O'zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini ta'minlash tizimini

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 29 oktabrdagi PF-6097-son "Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" gi Farmoni

tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmonida va O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020 yil 26 avgustdagi 515-sonli “O‘zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlarning oldini olish va bunday vaziyatlarda harakat qilish davlat tizimini yanada takomillashtirish to‘g‘risida”gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Ushbu tadqiqot ishi O‘zbekiston Respublika fan va innovatsion texnologiyalar rivojlanishining-IV. “Matematika, mexanika, konstruktsiyalar seysmodinamikasi va informatika” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Deformatsiyalanuvchan qovushoq-elastik muhitda joylashgan ko‘ndalang kesimi ellips bo‘lgan silindrik jismlarga to‘lqinlar difraksiyasi va muhit bilan aloqada bo‘lgan jismlarning xos tebranishlari masalasi bo‘yicha chet elning ko‘pgina mashhur olimlari Brexovskix L.V., Ilyushin A.A., Gorshkov A.G., Viktorov I.A., Volmir A.S., Shemyakin Ye.I., Guz A.N., Grinchenko V.T., Troyanovskiy I.E., Kiyko I.A., Novichkov Yu.I., Petrashen G.I., Matveyenko V.P., Shardakov I.N., Starovoytov E.I., MikerT., Meytsler A., Deyvis R.M., Mitra R., Uayt, Axenbax J.D., Shafer B.V., San R.I. va boshqalar tomonidan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilgan.

Respublikamiz olimlari tomonidan Raxmatulin X.A., O‘razboyev M.T., Shirinkulov T.Sh., Kabulov V.K., Rashidov T.R., Muborakov Y.N., Mardonov B.M., Sultonov K.S., Mamatqulov Sh.M., Mirsaidov M.M., Xojmetov G.X., Ishanxodjaye A.A., Mavlonov T.M., Abdusattorov A., Mirzayev I., Safarov I.I., Xudoynazarov X., Hasanov B.E., Teshaev M.X., Yuldashev Sh.S., Abduqodirov S., O‘sarov M., Boltayev Z.I. va boshqalar muhit bilan aloqada bo‘lgan silindrik va sferik ko‘rinishdagi jismlarda to‘lqin difraksiyasi (yoki qovushoq-elastik va akustik) masalalarni materiallarning qovushoqlik xususiyatlarini hisobga olib, dinamik kuchlanishlar va deformatsiya holatini hisoblash usullarini rivojlantirishga o‘zlarining salmoqli hissalarini qo‘shishgan.

Shu bilan birga, ularning ishlarida asosan elastik muhitda joylashgan doiraviy ko‘ndalang kesimli silindrik ko‘rinishdagi jismlarda elastik to‘lqin difraksiyasi muammosi o‘rganilgan. Ideal suyuqlikli silindrik bo‘shliqda tekis elastik to‘lqin difraksiyasi masalasi maxsus funksiyalar yordamida asimptotik yechimlar olingan. Bunday tadqiqotlar bilan asosan AQSh, Rossiya, Ukraina, Xitoy davlatlari olimlari shug‘ullanib kelishmoqda, lekin bo‘lakli bir jinsli silindrik ko‘rinishdagi jismlarda to‘lqin difraksiyasini materialning reologik xususiyatlarini hisobga olib o‘rganish hozirga qadar o‘z yechimini topmagan, bu borada bir qancha muammolar mavjud. Qovushoq-elastik muhit bilan o‘zaro ta’sirda bo‘lgan hamda ko‘ndalang kesimi ellipsdan iborat elliptik ko‘rinishdagi silindrik jismlarda to‘lqin difraksiyasi va xos tebranishlarni o‘rganish uslubiyoti, algoritmi va dasturini yaratish, hamda yangi masalalar yechish muammosi yetarlicha hal etilmagan. Bu esa shu masalalarni yechishga imkon beradi.

Dissertatsiya mavzusining ilmiy tadqiqot rejasi bajarilgan oliy ta'lim muassasasi bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqot ishlari Buxoro muhandislik-texnologiya instituti ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq FM-01-2020-2024 "Qovushqoq-elastik jismlardagi mexanik jarayonlarni matematik modellashtirish" (2020-2021) loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi- qovushqoq-elastik muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellipsdan iborat bo'lgan, silindrik quvurlarda garmonik to'lqinlar ta'sirida hosil bo'lgan kuchlanish-deformatsiya holatini o'rganish metodikasi va algoritmini ishlab chiqish, sonli natijalar olish va ularning tahlili.

Tadqiqotning vazifalari:

qovushqoq-elastik muhitda joylashgan ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan silindrik jismlarga bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlarning ta'siri masalalarini materiallarning qovushqoqlik xususiyatlarini hisobga olgan holda matematik qo'yilishini, yechish uslubiyoti va algoritmini ishlab chiqish;

qovushqoq-elastik muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan, silindrik jismlarning xos tebranishlari masalasini, materialning qovushqoqlik xususiyatlarini hisobga olgan holda matematik qo'yilishini, yechish metodikasi va algoritmlarini ishlab chiqish;

qovushqoq-elastik muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan, silindrik jismdagi garmonik to'lqin yuklanishi natijasidagi dinamik kuchlanishlar-deformatsiya holati o'zgarishiga solishtirma baho berish;

muhit relaksatsiya yadrosi amplitudasining o'zgarishini kuchlanganlik-deformatsiya holatiga ta'sirini solishtirma baholash.

Tadqiqot obyekti sifatida qovushqoq-elastik muhitda joylashgan ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan, silindrik jism olingan.

Tadqiqot predmeti qovushqoq-elastik muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan, silindrik jismlarga to'lqinlarning ta'siri masalalarini materiallarning qovushqoqlik xususiyatlari va geometrik parametrlarini hisobga olgan holda matematik modelini rivojlantirish va sonli yechish algoritmini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasining xususiy hosilali integro-differensial tenglamalarini yechish uchun deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi va matematik-fizikaning maxsus funksiyalari orqali yechimni topish, Myuller, Gauss va muzlatish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

qovushqoq-elastik muhitda joylashgan ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan silindrik jismlarga bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlarning ta'siri masalalarini materiallarni qovushqoqlik xususiyatlarini hisobga olgan holda qovushqoq-elastiklik nazariyasining Lamé tenglamalari asosida matematik qo'yilishi, maxsus funksiyalarga asoslangan yechish uslubiyoti va Gauss, Myuller hamda Laplas usullariga asoslanib algoritmi ishlab chiqilgan;

qovushqoq-elastik muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan, silindrik jismlarning xos tebranishlari masalasini to'lqinning so'nish nazariyasiga

asoslanib, materialning qovushoqlik xususiyatlarini hisobga olgan holda matematik qo'yilishi, yechish metodikasi va algoritmlari ishlab chiqilgan;

muhit va elliptik silindrra dinamik yuklanish ta'sirida muhitda va elliptik silindrda hosil bo'ladigan kuchlanishlarni ellipsning katta o'qini uzaytirish hisobiga doiraviy ko'ndalang kesimli silindrning kuchlanishlariga nisbatan 15% gacha kamaytirish imkonini berishi aniqlangan;

muhit qovushoqlik yadrosini amplituda qiymatining chiziqli oshishiga, kamayishi esa energiya dissipatsiyasi koeffitsientining kamayishiga olib kelishi Myuller va Gaus usullari asosida topilgan;

qovushoq-elastik muhitdagi elliptik ko'ndalang kesimli silindrik jismning kompleks chastotasining qiymati, elastik muhitdagi chastotaning qiymatidan 10% gacha kam bo'lishi Myuller va Gaus usullari asosida topilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

deformatsiyalanuvchan muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan, silindrik jismlarga to'lqin yuklanishi ta'sirida hosil bo'ladigan kuchlanish-deformatsiya holati uchun silindrik jismlar mustahkamligini hisoblash usullari ishlab chiqildi;

chegaraviy masalada kompleks chastotalarni chekli sondagi modalarini topish muammosi hal qilindi;

bo'ylama va ko'ndalang to'lqin yuklanish ostidagi deformatsiyalanuvchan muhit va ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan silindrik jismdagi kuchlanishlar taqsimoti aniqlandi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi chegaraviy shartlarning korrekt qo'yilishi, keltirib chiqarilgan matematik ifodalarning qat'iyiligi, asoslangan yechish usullaridan tizimli foydalanilganligi, yechimlarning aniqliligi baholashda boshqa tadqiqotchilar yechimlari bilan taqqoslanganligi va ularning natijalariga mos tushganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqotda olingan natijalarning ilmiy ahamiyati deformatsiyalanuvchan muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan jismlarga to'lqin yuklanishi va difraksiyasi nazariyasini rivojlanishiga salmoqli hissa qo'shishdan iborat.

Tadqiqot ishining amaliy ahamiyati esa, deformatsiyalanuvchan muhitda joylashgan, ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan, silindrik jismlarga to'lqin yuklanishi oqibatida hosil bo'ladigan kuchlanishlar va deformatsiya holatini yangi qonuniyatlarini o'rganish imkoniyatining paydo bo'lishi, chegaraviy masalada kompleks chastotalarni chekli sondagi modalarini topish muammosini hal qilinishi bilan izohlanadi, qo'yilgan masalalarni yechish uchun algoritmi va dastur ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tadqiqotdagi dinamik kuchlar ta'sirida elastik va qovushoq-elastik muhitda joylashgan deformatsiyalanuvchan elliptik jismning dinamik kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini hisoblash usullari va algoritmi bo'yicha olingan natijalar asosida:

elliptik koordinatalar sistemasida olingan integro-differensial tenglamalardan kompleks koeffitsientli differensial tenglama olish metodikasidan va davriy tashqi kuchlar ta'sirida olingan analitik yechimlarni klassik yadrolar uchun olingan

yechimlar bilan solishtirma baho berish uchun Urganch davlat universitetida 2017-2020-yillarda bajarilgan OT-F4-04(05) “Spektral usulni matritsaviy nochizikli evolyusion tenglamalarni yechishda tadbirlari, yurak-qon tomir tizimining biomexanikasi” mavzusidagi fundamental tadqiqotlari ilmiy loyihasida foydalanilgan. (2023-yil 6-apreldagi 01-01/14-11/653-sonli ma’lumotnoma). Natijada bu elastik hamda qovushoq-elastik muhitlardagi tebranishlarning amplitudalariga solishtirma baholash imkonini bergan;

xos son va tebranish formalarini topish algoritmidan Toshkent kimyo-texnologiya instituti davlat ilmiy texnika dasturi doirasida 2016-2020-yillarda bajarilgan OT-F4-01 “Qovushoq suyuqlik oquvchi ko’p qatlamli kompozit quvurlar egri chizikli bo’laklarining harorat va dinamik yuklanishlar ta’sirida chizikli bo’lmagan dinamik kuchlanish-deformatsiya holatini o’rganish usullarini ishlab chiqish va nazariyasini rivojlantirish” mavzusidagi fundamental loyihadan (2023-yil 17-oktyabrdagi 1/01-2930-sonli ma’lumotnoma) foydalanilgan. Natijada bu ko’ndalang kesimi doiraviy bo’lmagan quvurlarning maksimal kuchlanishlarini 15% gacha kamaytirish imkoniyatini yaratgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari Xalqaro, Respublika anjumanlarida muhokama qilingan va ma’qullangan, jumladan, 4 ta Xalqaro va 5 ta Respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruza qilingan va muhokamadan o’tkazilgan.

Tadqiqot natijalarini nashr etish. Dissertatsiya mavzusi bo’yicha jami 36 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O’zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 11 ta maqola, jumladan, 1 tasi respublika va 10 tasi xorijiy nashrlarda nashr qilingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish qismi, to’rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati va ilovadan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 116 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya tadqiqotining dolzarbligi va zaruriyati asoslab berilgan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekt va predmetlari shakllantirilgan. Tadqiqotning O’zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo’nalishlariga muvofiqligi ko’rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan. Olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, ularning ilmiy va amaliy ahamiyatlari yoritilgan. Tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi, ishning aprobatsiyasi, chop etilgan ishlar, dissertatsiya tuzilishi va hajmi bo’yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**Qovushoq-elastik muhitdagi silindrga garmonik to’lqinlar ta’sirini o’rganishga bag’ishlangan adabiyotlar tahlili**” deb nomlangan birinchi bobida, garmonik va noturg’un to’lqinlar ta’sirida chuqur o’rnatilgan silindrik (ko’ndalang kesimi turlicha bo’lgan) quvurlarning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini o’rganishga bag’ishlangan adabiyotlarning qisqacha tahlili keltirilgan, hamda adabiyotlar tahlili asosida

xulosalar qilingan. Deformatsiyalanuvchan muhitda joylashgan ko‘ndalang kesimi doirasimon bo‘lgan silindrik quvurlarga va tonnellarga seysmik va portlash to‘lqinlarini ta’siri masalalarining eksperimental kuzatishlari bo‘yicha va nazariy tadqiqotlar bo‘yicha olingan natijalarining tahlili keltirilgan. Yer osti inshooti va uni atrofidagi gruntning qovushoqligi, hamda yer osti inshooti ko‘ndalang kesimi formasini elliptik bo‘lishini hisobga olib seysmik (uzun) to‘lqinlarni difraksiyasi masalasini yechish metodikasi va algoritmi ishlab chiqilmaganligi asoslab berildi. Bu bob ikki paragrafdan iborat bo‘lib, birinchi paragrafida elastik muhitda joylashgan tonnellar va quvurlarga seysmik to‘lqin ta’sirini (difraksiyasini) o‘rganishga bag‘ishlangan adabiyotlar tahlili keltirilgan. Ikkinchi paragraf to‘lqinni qovushoq-elastik muhitdagi silindrik qobiqqa ta’sirini qattiq jism mexanikasi usullari yordamida baholashga bag‘ishlangan.

Shunday qilib, qovushoq-deformatsiyalanuvchan muhitda joylashgan ellips ko‘ndalang kesimli silindrik jismdagi to‘lqinlarning difraksiyasini o‘rganishdagi muammolar bo‘yicha ko‘p sonli adabiyotlar bag‘ishlangan bo‘lsada, adabiyotlar tahlilini yakuni bo‘yicha qilingan xulosalardan kelib chiqib, bu muammo o‘zining yakuniy yechimidan uzoq ekanligi kelib chiqadi. Bu muammoni hal etishda nazariy asos yaratish, chegaraviy masalani qo‘yilishi, yechish metodikasini, algoritmini va dasturini ishlab chiqish dolzarb muammo ekanligi ko‘rsatib berilgan.

Dissertatsiyaning **“Qovushoq-elastik muhitdagi elliptik silindrga garmonik to‘lqinlar ta’siri masalasini qo‘yilishi, yechish metodikasi va algoritmi”** deb nomlangan ikkinchi bobida masalalarning matematik qo‘yilishi va yechish metodikasi keltirilgan (1-rasm). Faraz qilaylik bir jinsli izotrop qovushoq-elastik muhitda joylashgan ellips ko‘ndalang kesimli silindrik qatlamga garmonik to‘lqinlar ta’sir etsin. Hisob sxemasi 1-rasmda keltirilgan. Ellips ko‘ndalang kesimli silindrik qatlam Σ_1 va Σ_2 sirtlar bilan chegaralangan bo‘lsin. Σ_1 ellips ko‘ndalang kesimli sirti orqali qovushoq- elastik muhit bilan aloqada bo‘lsin. Xuddi shunday Σ_2 sirt ham ellips ko‘ndalang kesimli silindrning ichki sirtini beradi va ichkaridagi to‘ldiruvchi bilan chegaralangan sirtini ifoda qiladi. Ellips ko‘ndalang kesimli silindr va uni o‘rab turuvchi qovushoq-elastik muhit harakati operator koeffitsentli elastiklik modullari $\tilde{\lambda}_j$ va $\tilde{\mu}_j, j=1,2$) ga ega:

-muhit uchun operator elastiklik modullari

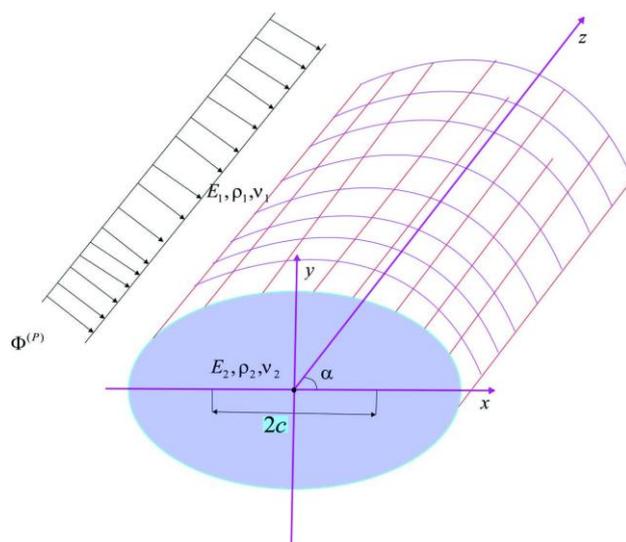
$$\tilde{\lambda}_1[f(t)] = \lambda_{01} \left[f(t) - \int_0^t R_{c\lambda}(t-s)f(s)ds \right], \tilde{\mu}_1[f(t)] = \mu_{01} \left[f(t) - \int_0^t R_{c\mu}(t-s)f(s)ds \right], \quad (1,a)$$

-qovushoq-elastik elliptik sohadan iborat muhit uchun operator elastiklik modullari:

$$\tilde{\lambda}_2[f(t)] = \lambda_{02} \left[f(t) - \int_0^t R_{\lambda s}(t-s)f(s)ds \right], \tilde{\mu}_2[f(t)] = \mu_{02} \left[f(t) - \int_0^t R_{\mu s}(t-s)f(s)ds \right], \quad (1,b)$$

bu ерда $\tilde{\lambda}_{1,2}$ va $\tilde{\mu}_{1,2}$ operator ko‘rinishdagi elastiklik modullari, $f(t)$ - uzluksiz funksiya; $R_{c\lambda}(t-s), R_{\lambda s}(t-s), R_{c\mu}(t-s), R_{\mu s}(t-s)$ - relaksatsiya yadrolari;

$\lambda_{01}, \lambda_{02}, \mu_{01}, \mu_{02}$ - qovushoq-elastik materiallarning oniy elastiklik modullari.



1- rasm.Ko‘ndalang kesimi ellips bo‘lgan silindrik jismning hisob sxemasi

Lame tenglamasida elastiklik modullari ularning operator ko‘rinishlari bilan almashtirilsa, u holda quyidagi ko‘rinishdagi xususiy hosilali integro-diferensial tenglamalarni vektor ko‘rinishda olamiz:

$$(\lambda_{01} + 2\mu_{01}) \text{graddiv}\bar{u}_1 - \mu_{01} \text{rotrot}\bar{u}_1 - (\lambda_{01} + 2\mu_{01}) \int_0^t R_{c\lambda\mu}(t-s) \text{graddiv}\bar{u}_1(\bar{r}, s) ds + \quad (2,a)$$

$$+ \mu_{01} \int_0^t R_{c\mu}(t-s) \text{rotrot}\bar{u}_1(\bar{r}, s) ds = \rho_1 \frac{\partial^2 \bar{u}_1}{\partial t^2},$$

$$(\lambda_{02} + 2\mu_{02}) \text{graddiv}\bar{u}_2 - \mu_{02} \text{rotrot}\bar{u}_2 - (\lambda_{02} + 2\mu_{02}) \int_0^t R_{\lambda\mu}(t-s) \text{graddiv}\bar{u}_2(\bar{r}, s) ds + \quad (2,b)$$

$$+ \mu_{01} \int_0^t R_{\mu}(t-s) \text{rotrot}\bar{u}_2(\bar{r}, s) ds = \rho_2 \frac{\partial^2 \bar{u}_2}{\partial t^2},$$

$$R_{c\lambda\mu}(t-s) = R_{c\lambda}(t-s) + 2R_{c\mu}(t-s), R_{\lambda\mu}(t-s) = R_{\lambda}(t-s) + 2R_{\mu}(t-s),$$

ρ_j (j=1,2) - materialning zichligi.

Qo‘yilgan masala elliptik kordinatalar sistemasida yechiladi. Bu koordinata sistemasini bilan Dekart koordinatalar sistemasini orasidagi munosabat quyidagicha bo‘ladi:

$$x = cch\xi \cos \eta, \quad y = csh\xi \sin \eta, \quad z = z, \quad (3)$$

$$c^2 = a^2 - b^2, \quad \xi \geq 0, 0 \leq \eta \leq 2\pi.$$

Dissertatsiyada absolyut qattiq elliptik jismning garmonik to‘lqin ta’siridagi qovushoq-elastik muhitdagi harakati, qovushoq-elastik muhitdagi elliptik bo‘shliqning dinamik kuchlanganlik-deformatsiya holati masalalari, hamda ularning xos tebranishlari masalalari analitik qo‘yilishda yechilgan.

Agar fazoviy elliptik silindrning kuchlanish-deformatsiya holati o‘rganilsa (1-rasm), u holda qatlamlar orasida qattiq mahkamlanganlik sharti qo‘yiladi:

$$\sigma_{\xi\xi 1} \Big|_{\Sigma_1} = \sigma_{\xi\xi 2} \Big|_{\Sigma_1}, \sigma_{\xi\eta 1} \Big|_{\Sigma_1} = \sigma_{\xi\eta 2} \Big|_{\Sigma_1}, \sigma_{\xi z 1} \Big|_{\Sigma_1} = \sigma_{\xi z 2} \Big|_{\Sigma_1}, \quad (4)$$

$$u_{\xi 1} \Big|_{\Sigma_1} = u_{\xi 2} \Big|_{\Sigma_1}, u_{\eta 1} \Big|_{\Sigma_1} = u_{\eta 2} \Big|_{\Sigma_1}, u_{z 1} \Big|_{\Sigma_1} = u_{z 2} \Big|_{\Sigma_1}.$$

Xuddi shunday, Σ_2 sirt ellips ko'ndalang kesimli sirtida kuchlanishlardan ozod qilingan bo'lsa, u holda:

$$\sigma_{\xi\xi 2} \Big|_{\Sigma_2} = 0; \quad \sigma_{\xi\eta 2} \Big|_{\Sigma_2} = 0; \quad \sigma_{\xi z 2} \Big|_{\Sigma_2} = 0. \quad (5)$$

Cheksizlikda to'lqinning so'nish yoki yutilish sharti va uning ko'chish amplitudasining chegaralanganligini belgilovchi shartlar qo'yiladi.

Aytaylik, elliptik qattiq jismga tekis bo'ylama garmonik to'lqini ta'sir etsin (1-rasm). U holda ko'chish potentsiallarining ifodasi quyidagicha bo'ladi

$$\varphi_p = \Phi_p e^{i(k_1 y - \omega t)} = \Phi_p e^{i\omega t} e^{ik_1 sh \xi \sin \eta}, \quad (6)$$

bunda Φ_p - tushuvchi to'lqin amplitudasi, ω - tushuvchi to'lqin chastotasi, k_1 - to'lqin soni.

Silindrik jism va muhitning ko'chish vektori quyidagicha bo'ladi

$$\vec{u}_j = \text{grad} \varphi_j + \text{rot} \vec{\psi}_j; \quad \text{div} \vec{\psi}_j = 0. \quad (7)$$

Asosiy masalalar elastiklik nazariyasining tekis deformatsiya holati masalasiga olib kelinadi. Shuning uchun φ_j -bo'ylama va $\vec{\psi}_j(0, \psi, \chi)$ - ko'ndalang to'lqin potentsiallari quyidagi integro-differensial tenglamalarni qanoatlantiradi:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \varphi_j - \int_0^t R_{pj}(t-s) \nabla^2 \varphi_j(s) ds &= \frac{1}{c_{0pj}^2} \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \psi_j - \int_0^t R_{sj}(t-s) \nabla^2 \psi_j(s) ds = \frac{1}{c_{0sj}^2} \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial t^2}, \\ \nabla^2 \chi_j - \int_0^t R_{sj}(t-s) \nabla^2 \chi_j(s) ds &= \frac{1}{c_{0sj}^2} \frac{\partial^2 \chi_j}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

bu yerda:

$$\nabla^2 \varphi_j = \left[\frac{1}{a_0^2 J^2} \left(\frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial z^2} \right], \quad \nabla^2 \psi_j = \left[\frac{1}{a_0^2 J^2} \left(\frac{\partial^2 \psi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial z^2} \right], \quad \nabla^2 \chi_j = \left[\frac{1}{a_0^2 J^2} \left(\frac{\partial^2 \chi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \chi_j}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\partial^2 \chi_j}{\partial z^2} \right].$$

Agar bo'ylama to'lqin o'rganilsa C_{0rj} olinadi, ko'ndalang to'lqin o'rganilsa C_{0sj} olinadi.

Faraz qilaylik, (8) integro-diferensial to'lqin tenglamasidagi integral osti funksiyasi sekin o'zgaruvchi bo'lsin, u holda (8) uchun muzlatish usulini qo'llash mumkin. U holda (8) quyidagi ko'rinishni egallaydi:

$$\nabla^2 \varphi_j = \frac{1}{c_{0pj}^2 \Gamma_{pj}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \psi_j = \frac{1}{c_{0sj}^2 \Gamma_{sj}} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \chi = \frac{1}{c_{0s}^2 \Gamma_{sj}} \frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2}. \quad (9)$$

Bu yerda:

$$\begin{aligned} \Gamma_{pj} &= \lambda_{0j} \left[1 - \Gamma_{\lambda_j}^C(\omega_R) - i \Gamma_{\lambda_j}^S(\omega_R) \right] + 2\mu_{0j} \left[1 - \Gamma_{\mu_j}^C(\omega_R) - i \Gamma_{\mu_j}^S(\omega_R) \right], \\ \Gamma_{sj} &= \mu_{0j} \left[1 - \Gamma_{\mu_j}^C(\omega_R) - i \Gamma_{\mu_j}^S(\omega_R) \right], \\ \Gamma_{\lambda_j}^C(\omega_R) &= \int_0^\infty R_{\lambda_j}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau; \quad \Gamma_{\lambda_j}^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_{\lambda_j}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau, \\ \Gamma_{G_j}^C(\omega_R) &= \int_0^\infty R_{G_j}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau; \quad \Gamma_{G_j}^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_{G_j}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau \end{aligned}$$

mos ravishda materialning kosinus va sinus Fur'ye tasvirlari; ω_R - haqiqiy kattalik.

Vektor ko‘rinishdagi (7) ifodani ko‘chish komponentalari orqali quyidagicha yozish mumkin.

$$u_\xi = \frac{1}{aJ} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{\partial \psi}{\partial \eta} + l \frac{\partial \chi}{\partial \xi \partial z} \right), u_\eta = \frac{1}{aJ} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \eta} - \frac{\partial \psi}{\partial \xi} + l \frac{\partial \chi}{\partial \eta \partial z} \right), u_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z} + l \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \chi.$$

Umumlashgan Guk qonunidan operator kuchlanishlarni ham ko‘chishlar yoki deformatsiya orqali ifodalash mumkin:

$$\sigma_{\xi\xi} = \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu})}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \frac{\bar{\lambda}}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\bar{\lambda} sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi + \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}) \sin 2\eta}{aJ^3} \frac{1}{1},$$

$$\sigma_{\eta\eta} = \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu})}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\bar{\lambda}}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \bar{\lambda} \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\bar{\lambda} \sin 2\eta}{2aJ^3} u_\eta + \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}) sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi.$$

Elliptik koordinatalar sistemasidan qutb koordinatalar sistemasiga o‘tish uchun quyidagi munosabatlardan foydalanamiz :

$$r = a(ch^2 \xi - \sin^2 \eta)^{1/2}, \theta = \frac{1}{tg(th \xi tg \eta)}.$$

Oxirgi ifodadan foydalanib silindrik (qutb) koordinatalar sistemasida berilgan yutilish shartini elliptik koordinatalarda yozish mumkin.

Elliptik koordinatalarda berilgan ko‘chishlardagi harakat tenglamalari uchun garmonik funksiyalar orqali ifodalanuvchi yechimni quyidagi ko‘rinishda izlaymiz:

$$\Phi_{1j} = \Re e^{i\omega t} \Phi_j(\xi, \eta), \quad \Psi_{1j} = \Re e^{i\omega t} \Psi_j(\xi, \eta), \quad (10)$$

U holda yangi koordinatalarda asosiy to‘lqin tenglamalari quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial \eta^2} + k_{1j}^2 (ch^2 \xi - \cos^2 \eta) \Phi_j &= 0; \\ \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial \eta^2} + k_{2j}^2 (ch^2 \xi - \cos^2 \eta) \Psi_j &= 0, \\ \frac{\partial^2 X_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 X_j}{\partial \eta^2} + k_{2j}^2 (ch^2 \xi - \cos^2 \eta) X_j &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

bu yerda: $k_{1j} = \frac{\rho_j \omega^2}{\bar{\lambda}_j + 2\bar{\mu}_j} = \frac{\omega^2}{c_{1j}^2 \Gamma_{pj}}$; $k_{2j} = \frac{\rho_j \omega^2}{\bar{\mu}_j} = \frac{\omega^2}{c_{2j}^2 \Gamma_{sj}}$; $J^2 = (ch 2\xi - \cos 2\eta) / 2$

ρ – zichlik; λ, μ – Lamé koeffitsientlari, Γ_{pj}, Γ_{sj} – qovushoqlikni ifodalovchi parametrlar.

Elliptik koordinatalarda berilgan Φ_j va Ψ_j yechimini o‘zgaruvchilarni ajratish usuli bilan yechamiz $F(\xi)G(\eta)$. U holda quyidagini olamiz:

$$\frac{d^2 F_{\phi jk}(\xi)}{d\xi^2} + (b - 0.5a^2(k_1^2 - \gamma^2)ch 2\xi) F_{\phi jk}(\xi) = 0, \quad (12)$$

$$\frac{d^2 G_{\psi jk}(\eta)}{d\eta^2} - (b - 0.5a^2(k_1^2 - \gamma^2)\cos 2\eta) G_{\psi jk}(\eta) = 0, \quad (13)$$

$$\frac{d^2 Z_{\chi jk}(z)}{dz^2} + \gamma^2 Z_{\chi jk}(z) = 0.$$

Oxirgi (13) tenglamani yechimini qator ko‘rinishida izlaymiz:

$$G(\eta) = g_0(\eta) + \varepsilon g_1(\eta) + \varepsilon^2 g_2(\eta) + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon^k g_k(\eta). \quad (14)$$

Yechim (14) ni (13) tenglamaga qo'yib, ε oldidagi koeffitsientlarni nolga tenglashtirsak, u holda quyidagi ko'rinishdagi tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\begin{aligned} \ddot{g}_0(\eta) + \delta g_0(\eta) &= 0 \\ \ddot{g}_1(\eta) + \delta g_1(\eta) &= -2g_0 \cos 2\eta \\ \ddot{g}_2(\eta) + \delta g_2(\eta) &= -2g_1 \cos 2\eta \end{aligned} \quad (15)$$

(15) sistema birinchi tenglamasining yechimini quyidagicha yozish mumkin:

$$g_0 = a \cos(\omega\eta + \beta), \delta = \omega^2.$$

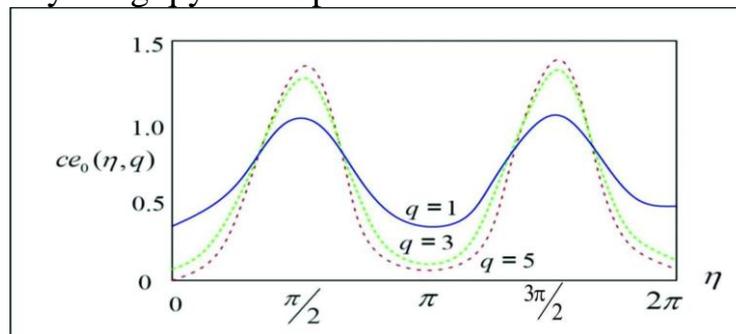
Bu yerda α va β - ixtiyoriy o'zgarishlar. Xuddi shunday (15) ni ikkinchi tenglamasi

$$\ddot{g}_1(\eta) + \omega^2 g_1(\eta) = -a \cos[(\omega + 2)\eta + \beta] - a \cos[(\omega - 2)\eta + \beta].$$

umumiy holda bu tenglamalarning yechimlari orqali ifoda qilinadi. Bu yerda a va ω - kompleks kattaliklar. Hisoblashlarda Matye funksiyasining qator ko'rinishidagi ifodalaridan foydalanamiz:

$$\begin{aligned} ce_0(\eta, q) &= 1 + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^{r+1} q^r}{r|r|} - \frac{2^{r+3} r(3r+4)q^{r+2}}{(r+1)!(r+1)!} + O(q^{r+4}) \right\} \cos 2r\eta, \\ ce_1(\eta, q) &= \\ &= \cos \eta + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^r q^r}{(r+1)!r!} - \frac{2^{r+1} r q^{r+1}}{(r+1)!(r+1)!} + \frac{2^r q^{r+2}}{(r-1)!(r+2)!} + O(q^{r+3}) \right\} \cos(2r+1)\eta, \\ se_1(\eta, q) &= \sin \eta + \\ &+ \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^r q^r}{(r+1)!r!} - \frac{2^{r+1} r q^{r+1}}{(r+1)!(r+1)!} + \frac{2^r q^{r+2}}{(r-1)!(r+2)!} + O(q^{r+3}) \right\} \sin(2r+1)\eta, \\ ce_2(\eta, q) &= \left\{ -2q + \frac{40}{3}q^3 + O(q^3) \right\} \cos 2\eta + \\ &+ \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^{r+1} q^r}{(r+2)!r!} + \frac{2^{r+1} r(47r^2 + 222r + 247)q^{r+2}}{3^2(r+2)!(r+3)!} + O(q^{r+4}) \right\} \cos(2r+2)\eta, \end{aligned} \quad (16)$$

$q \rightarrow 0$ bo'lganda, qator $q \rightarrow O(q^6)$ tartibli aniqlikka ega. Matye funksiyalarni turlicha ko'rinishlari mavjud bo'lib ular yordamida argumentga qiymat berib funksiyaning qiymati topiladi.



2- rasm. Matye funksiyasining ordinata parametri bo'yicha o'zgarishi

Hisoblashlarda qator ko'rinishidagi ifodalardan foydalanamiz. Matye funksiyasini o'zgarishi 2- va 3- rasmlarda keltirilgan. Kompleks argumentli Matye funksiyasini hisoblash qiyinchiliklarga olib keladi. Buning uchun kompleks sonning trigonometrik formasidan foydalandik.

Yuqorida keltirilgan Matye tenglamasini davriy yechimi mavjudligi Floke tomonidan o'rganilgan. Bu teoremaga binoan differensial tenglama $e^{\mu\eta}\varphi(\eta)$ xususiy yechimga ega, bunda $\varphi(\eta)$ – davri 2π bo'lgan funksiya. Bu funksiya η dan $-\eta$ ga o'tganda o'zgarmaydi.

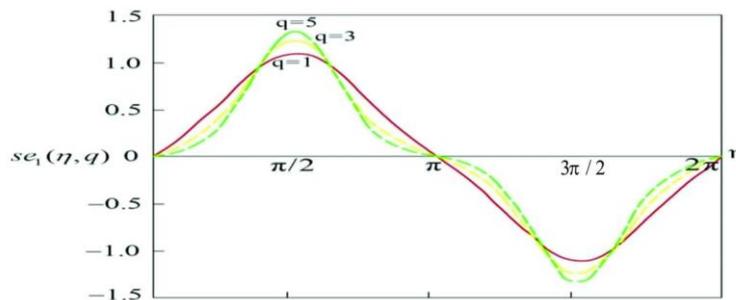
Matyening differensial tenglamasini umumiy yechimi quyidagicha bo'ladi:

$$u = c_1 e^{\mu\eta} \varphi(\eta) + c_2 e^{-\mu\eta} \varphi(-\eta).$$

Bu yerda c_1 va c_2 -ixtiyoriy o'zgarmlar.

Aniq sonli hisoblashlar (16) qator yig'indisini hisoblash bilan amalga oshiriladi. Kontur kuchlanishlarni hisoblash uchun quyidagilardan foydalanamiz:

$$\sigma_{\eta\eta} = (\text{Re} + i \text{Im}) e^{-i\omega t} = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2} e^{-i(\omega t - \gamma)}, \quad \gamma = \arctg \frac{\text{Im}}{\text{Re}}$$



3- rasm. Matye funksiyasining ordinata parametri bo'yicha o'zgarishi

Shunday qilib, dissertatsiya ishining ikkinchi bobida garmonik to'liqlarning ellips ko'ndalang kesimli jismga tushishi masalasi o'rganildi. Qovushoq-elastik muhitda joylashgan quvurning kuchlanishi va deformatsiyasi orasidagi munosabat Bolsman-Volterra integrali orqali yozilgan. Olingan integro-differensial tenglamalar sistemasining xususiy yechimini topish uchun chegaraviy shartlar keltirilgan. Bu tenglamalar sistemasidan Filatov va Sunchaliyevlar tomonidan ishlab chiqilgan "muzlatish" usuli yordamida kompleks koeffitsientli xususiy hosilali differensial tenglamalar sistemasi hosil qilingan. Ellips ko'ndalang kesimli silindrik jismga garmonik to'liqlarning ta'siri masalasi elastiklik nazariyasining ko'chish potentsiallari orqali yechish metodikasi va algoritmi ishlab chiqilgan. Muhit va ellips ko'ndalang kesimli silindrik jismning harakat differensial tenglamalari kompleks parametrli Gelmgols tenglamasiga olib kelindi, hamda yechim kompleks argumentli Matye funksiyalari orqali topilgan. Topilgan yechim chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi. Bu sistemani yechish va sonli natijalar olish uchun chekli ayirmalar usuli, Gauss va Laplas usullariga asoslangan metodika va algoritm ishlab chiqilgan.

Dissertatsiyaning "**Qovushoq-elastik muhitda joylashgan ellips ko'ndalang kesimli deformatsiyalanuvchan silindrik jismning tebranishlari**" deb nomlangan uchinchi bobida elastik muhitda joylashgan elliptik jismlarning xos tebranishlari masalasi ko'rilgan. Bunday masalalar juda kam o'rganilgan bo'lib, asosan muvozanat yoki harakat tenglamalari xususiy hosilali integro differensial tenglamalardan iborat bo'ladi. Elastik muhitda joylashgan elliptik jismning xos tebranishi to'liq o'rganilmagan. Muhit nuqtalarining tebranishlari elastiklik

nazariyasining Lamé tenglamasini qanoatlantiradi. Sonli natijalar olingan va tahlil qilingan. Cheksizlikda Zommerfeldning yutilish sharti o‘rniga, uning qisqartirilgan shaklidan foydalanish tavsiya etiladi.

Qovushoq-elastik muhitda joylashgan elliptik bo‘shliqning xos tebranishlari tenglamasi qovushoq-elastiklik nazariyasining tekis masalasi uchun ikkinchi bobda keltirilgan Lamé tenglamasidan foydalanib olindi. Bo‘shliq chegarasida kuchlanishlarning nol bo‘lish sharti qo‘yiladi:

$$\left[\frac{(\lambda + 2\mu)}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \frac{\lambda}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\lambda sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi + \frac{(\lambda + 2\mu)}{2aJ^3} \sin 2\eta u_\eta \right]_\Gamma = 0, \quad (17)$$

$$\left[\frac{\lambda}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \frac{\lambda}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\lambda sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi + \frac{\lambda}{2aJ^3} \sin 2\eta u_\eta \right]_\Gamma = 0.$$

Agar (5) chegaraviy shartlardan foydalanilsa, u holda kompleks koeffitsientli bir jinsli algebraik tenglamalar sistemasini olamiz. Bu bir jinsli tenglamalar sistemasi notrivial yechimga ega bo‘lishi uchun uning noma’lumlar oldidagi koeffitsiyentlaridan tuzilgan asosiy aniqlovchisi nolga teng bo‘lishi kerak. Asosiy aniqlovchining elementlari kompleks parametr ω ning funksiyasi hisoblanadi. Bu munosabatdan kompleks parametr ω ni aniqlash uchun quyidagicha chastota tenglamasini olamiz:

$$(n^2 - 1)F_n(x)F_n(y) - (y^2/2)F_n(x) + F_n(y) + n^2 - (n^2 - y^2/2)^2 = 0, \quad (18)$$

bu yerda $F_n(x) = xce_n(x)/se_n(x)$, $n=1,2,3...$ Kompleks parametrli chastota tenglamasi (18) Myuller usuli yordamida yechiladi. Bu transcendent tenglama (18) ni ildizlari ikki qismdan iborat: haqiqiy ($\text{Re}\Omega$) va mavhum ($\text{Im}\Omega$) qismlar. Kompleks chastotaning haqiqiy qismi mexanik sistemani tebranishlar chastotasini ifoda qilsa, mavhum qismi esa dempirlash koeffitsiyentini ifodalay ekan (so‘ndirish koeffitsiyenti).

1-jadval.

Kompleks chastota haqiqiy qismining a/b ga bog‘liq o‘zgarishi

a	b	Xos sonlar (kompleks chastotani haqiqiy qismi)				
		n=1	n=2	n=3	n=4	n=5
1	1/2	0,07906	0,65168	1,50937	3,46217	5,43208
2	1/4	0,07472	0,43827	1,32169	2,86027	4,01843
3	1/5	0,06763	0,32809	0,97891	2,37612	4,21305
4	1/6	0,07672	0,23245	0,78271	1,58961	3,58168
5	1/7	0,12445	0,292026	0,53272	1,47858	3,30664

Hisoblash natijalari ($n \geq 0$, $v_1 = 0,25$) 1 - jadvalda keltirilgan. Jadvaldagi natijalarni tahlilidan n ni ortib borishi bilan kompleks chastotaning haqiqiy va mavhum qismlari ham ortib borar ekan. Chastota tenglamasi (18) faqat Puasson koeffitsientiga (ν) bog‘liq bo‘lar ekan. Puasson koeffitsiyentining qiymati $0 \leq \nu \leq 0,4$ oralig‘ida o‘zgaranda chastotaning haqiqiy va mavhum qismlari 27% gacha o‘zgarishi topildi.

Shuningdek, dissertatsiya ishining uchinchi bobida qovushoq-elastik muhitda elastik yarim tekislikda joylashgan ko'ndalang kesimi ellips bo'lgan jismning tebranishlari o'rganilgan. Qo'yilgan masala Myuller va Gauss usullari yordamida yechilgan.

Dissertatsiyaning **“Qovushoq-elastik muhitdagi elliptik silindrda garmonik to'lqin difraksiyasi”** deb nomlangan to'rtinchi bobida qovushoq-elastik muhitdagi elliptik silindrda garmonik to'lqinlar difraksiyasi masalasini yechish algoritmi va sonli natijalar keltirilgan. Faraz qilaylik qovushoq-elastik muhitda absolyut qattiq elliptik silindr berilgan bo'lsin. U holda qattiq jismni Dekart koordinatalar sistemasida tekis deformatsiya holati masalalari uchun harakat differensial tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$m \frac{d^2 U}{dt^2} = \int_{-a}^a [\sigma_{xy}] dx, \quad m \frac{d^2 V}{dt^2} = \int_{-a}^a [\sigma_{yy}] dx, \quad I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \int_{-a}^a [\sigma_{yy}] x dx, \quad (19)$$

bu yerda m - elliptik jism massasi; Θ - elliptik jismning buralishi; σ_{xy} - muhitning urinma kuchlanishi, σ_{yy} - muhitning normal kuchlanishi.

Aytaylik, elliptik qattiq jismga tekis bo'ylama to'lqin tushsin:

$$\begin{aligned} \Phi_p e^{i\omega t} e^{ik_1 sh \xi \sin \eta} = \\ = \Phi_p e^{i\omega t} \left[\sum (B_{2n} c e_{2n}(i\xi, k_1) c e_{2n}(\eta, k_1) + C_{2n+1} s e_{2n+1}(i\xi, k_1) s e_{2n+1}(\eta, k_1)) \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Bu (20) to'lqin elliptik jismga kelib tushsa, u holda ikkita to'lqinga ajraladi: Φ^s va Ψ^s . Elliptik silindrni o'rab turuvchi qovushoq-elastik muhitning to'lqin maydoni ikki xil to'lqin potentsiallarining yig'indisiga (tushuvchi va qaytgan to'lqinlar yig'indisi) teng: $\Phi = \Phi_p + \Phi^{(s)}$, $\Psi = \Psi^{(s)}$.

Qaytgan to'lqinlar elliptik koordinatalardagi to'lqin tenglamasini qanotlantiradi va quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} \Phi^{(s)} &= \sum_{n=0}^{\infty} [B_n M c_n^{(3)}(\xi, q_p) c e_n(\eta, q_p) + C_n M s_n^{(3)}(\xi, q_p) s e_n(\eta, q_p)], \\ \Psi^{(s)} &= \sum_{n=0}^{\infty} [D_n M c_n^{(3)}(\xi, q_s) c e_n(\eta, q_s) + E_n M s_n^{(3)}(\xi, q_s) s e_n(\eta, q_s)], \end{aligned} \quad (21)$$

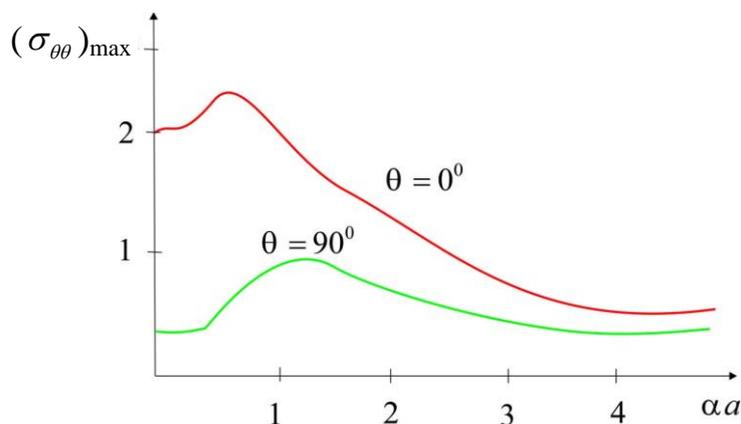
bu yerda B_n, C_n, D_n, E_n - ixtiyoriy o'zgarmaslar yoki integrallash doimiylari bo'lib, chegaraviy shartlardan topiladi. Chegaraviy shartlar elliptik jism sirtida va cheksizlikda qo'yiladi.

Umuman olganda, taklif etilgan algoritm bo'yicha qo'yilgan masalani umumiy yechimini olish prinsipial qiyinchiliklarga olib kelmaydi, lekin kompleks argumentli Matye funksiyalarini hisoblash prinsipial qiyinchiliklarga olib keladi. Ixtiyoriy o'zgarmaslarni topish uchun chegaraviy shartlardan foydalanib kompleks koeffitsientli algebraik tenglamalar sistemasini olamiz:

$$[C(\omega)] \{q(\omega)\} = [p].$$

Bu kompleks koeffitsientli algebraik tenglamalar sistemasi Gaussning o'zgaruvchilarni ketma-ket yo'qotish usuli yordamida dissertatsiyada ishlab chiqilgan algoritm bilan yechildi. Matye funksiyasini hisoblashda qatorning 10 ta

hadini yig'sak, uning 11 ta hadi umumiy yig'indisidan farqi 10^{-8} dan kichik bo'lamaydi. Qator juda sekin yaqinlashadi. Bu funksiya qatorni yig'indisini topishda kamida 15-20 ta had olish kerak. Lekin 20 va undan ortiq hadini hisoblashda yuqorida keltirilgan shart bajariladi. Elliptik koordinatalar sistemasida ham Dekart koordinata o'qlari bo'yicha simmetriklik sharti bajariladi. Bu yerda ham to'lqin ellips ko'ndalang kesimli bo'shliqqa urilsa, ikkita - bo'ylama va ko'ndalang qaytuvchi to'lqinlarga ajraladi.



4-rasm. Maksimal kontur kuchlanishlari ($\sigma_{\theta\theta}$) ning to'lqin soniga bog'liq o'zgarishi (To'lqin sonining turli burchaklarida 1. $\theta = 90^\circ$; 2. $\theta = 0^\circ$.)

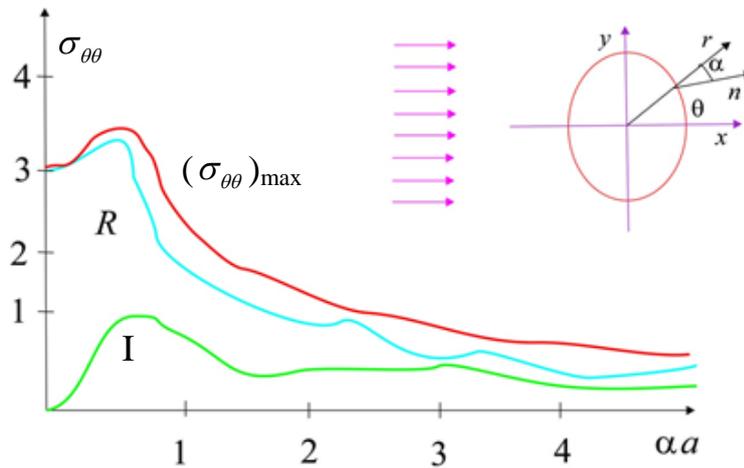
Qovushoq-elastik material relaksatsiya yadrosi sifatida uch parametrlilik kuchsiz singulyarlikka ega bo'lgan Rjanitsin-Koltunov yadrosini olamiz: $R_{\lambda, \mu k}(t) = A_{\lambda, \mu k} e^{-\beta_{\lambda, \mu k} t} / t^{1-\alpha_{\lambda, \mu k}}$, bu yerda A, α, β - yadro parametrlari. Bu parametrlar uchun quyidagi qiymatlarni qabul qilamiz:

$$A = 0,048; \quad \beta = 0,05; \quad \alpha = 0,1; \quad \nu = 0,25; \quad a/b = 1,4.$$

Tushadigan to'lqin amplitudasini birga teng deb olingan. Bu (20) qatorni hisoblashda, 20 ta hadni olganda xatolik $1,5 \cdot 10^{-17}$ ga teng bo'ldi. Funktsiyalarni differensiallashda $\text{diff}(f(x), x, x) = \text{diff}(\text{diff}(f(x), x), x)$ belgilashdan va natijalarni grafik tarzda ifodalash uchun **>with(plots):** dan foydalanildi.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, radius oshib borishi bilan kontur kuchlanishlari asimptotikaga intilar ekan. Olingan natijalar uzun to'lqin soni sohasida olingan.

Keyingi misolda absolyut qattiq elliptik silindrga garmonik to'lqin ta'sirida bo'ylama va ko'ndalang to'lqin potentsiallari haqiqiy (R) va mavhum (J) qismlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi keltirilgan. Birinchi misolda $a/b=2,0$. Natijalar 4-va 5- rasmlarda keltirilgan. Elliptik ko'ndalang kesimli silindrga bo'ylama to'lqin ta'sirida $\theta = 90^\circ$ va $\theta = 0^\circ$ da hosil bo'lgan kontur kuchlanishlarning o'zgarishini keltirilgan. O'lchamsiz kontur kuchlanishining to'lqin soniga bog'liq o'zgarishi 5-rasmda keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, kontur kuchlanishi maksimal qiymatiga uzun to'lqin soni sohasida erishar ekan.



5-rasm. Maksimal kontur kuchlanishi ($\sigma_{\theta\theta}$) to'liq soniga ($\theta = 90^\circ$) bog'liq o'zgarishi. Kontur kuchlanishining haqiqiy (R) va mavhum qismini (I) to'liq soniga bog'liq o'zgarishi.

5-rasmdan ko'rinib turibdiki, uzun to'liqin sohasida ($\alpha a = \frac{D}{\lambda} = 0,04 \div 0,16$) dinamik kuchlanishlar konsentratsiyasi ko'effitsiyenti statik kuchlanishdan 5-10% katta ekan. $\alpha a = \frac{D}{\lambda} > 0,16$ bo'lganda dinamik kuchlanishlar konsentratsiyasi ko'effitsiyenti statik holat kuchlanishlardan kichik bo'lar ekan. Qovushoqlik xususiyatlarini hisobga olish dinamik kuchlanishlar konsentratsiyasi ko'effitsiyentini 10-15% kamaytirishga imkon beradi.

UMUMIY XULOSALAR

1. Garmonik yuklanishlar ta'sirida ellips ko'ndalang kesim yuzali konstruksiyalarda dinamik kuchlanish va deformatsiyasiya, materiallarning qovushoqlik xususiyatlarini e'tiborga olib, hisoblash metodikasi va algoritmi ishlab chiqildi.

2. Qovushoq-elastik muhitda joylashgan elliptik jismning xos tebranishlarini o'rganish metodikasi va algoritmi ishlab chiqildi.

3. Muhit va konstruksiya materiallari qovushoqligini hisobga olish dinamik yuklanish ta'sirida muhitda va konstruksiyada hosil bo'ladigan kuchlanishlarni 15% gacha kamaytirish imkonini berishi aniqlandi.

4. Garmonik bo'ylama to'liqin ta'sirida eng katta kuchlanishlar ($a/b=2$) kontur kuchlanishi bo'lib, uzun to'liqinlar sohasida $\theta = 90^\circ$ va $\theta = 270^\circ$ da, ko'ndalang to'liqin ta'sirida $\theta = 45^\circ$ va $\theta = 135^\circ$ larda erishishi aniqlandi.

5. Deformatsiyalanuvchan muhitda joylashgan elliptik ko'ndalang kesimli silindrik jismning xos tebranishlaridagi kompleks chastotasi bir nechta modasining (haqiqiy va mavhum qismlarining) geometrik parametrlarga nisbatan o'zgarishiga baho berildi. Qovushoq-elastik muhitdagi elliptik ko'ndalang kesimli silindrik jismning kompleks chastotasining qiymati, elastik muhitdagi faza tezligining qiymatidan 10% gacha kichik bo'lishi topildi.

6. Hisoblashlar shuni ko'rsatdiki, amplitudaning fiksirlangan (qayd qilingan) qiymatida, tushadigan to'lqinning ta'sir etish davrida, muhitning akustik parametrlari oshishi bilan ko'chish va kuchlanishlar ham oshib borar ekan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ БУХАРСКОМ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УМАРОВ АЛОВИДДИН ОЧИЛОВИЧ

**ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЛН НА
ЭЛЛИПТИЧЕСКИЙ ЦИЛИНДР В ВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЕ**

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

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

Бухара – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей Аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2023.2.PhD/FM755

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте.

Автореферат диссертации размещен на веб-странице Бухарского инженерно-технологического института (www.buxmti.uz) и на Информационно образовательном портале "ZiyoNet" (www.ziynet.uz) на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)).

Научный руководитель:

Сафаров Исmoil Иброхимович

доктор физико-математических наук, профессор.

Официальные оппоненты:

Мардонов Ботир Мардонович

доктор физико-математических наук, профессор.

Мирзаев Ибрахим

доктор физико-математических наук, профессор.

Ведущая организация:

Наманганский инженерно-строительный институт

Защита диссертации состоится «22»январь 2024 г. в «15:00» часов на заседании Научного совета Phd.03/27.02.2021.FM.101.02 при Бухарском инженерно-технологическом институте по адресу: 200100, г.Бухара, ул. К. Муртазаева, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84; факс: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института (зарегистрирована за № 453). (Адрес:Бухарская область, 200100, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, 15. Тел.: (+99895) 604-44-70).

Автореферат диссертации разослан «10»январь 2024 года.

(протокол рассылки № 7 от « 28 » ноябрь 2023 г.)



М.Х.Тешаев.

Председатель Ученого совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н. (DSc)

З.И.Болтаев

Ученый секретарь Ученого совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н. (DSc)

М.З.Шарипов

Председатель научного семинара при Ученом совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н. (DSc), профессор.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация к докторской (PhD) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире применение усовершенствованных вычислительных методов при решении задач динамического напряженно-деформационного состояния, возникающего под действием сейсмических (или стоячих гармонических) волн в цилиндрических телах с различным поперечным сечением, находящихся в вязкоупругих средах, взаимодействия волны с телом в среде, а также дифракции занимает одно из ведущих мест. В мировом масштабе снижение динамических напряжений и деформаций в упругих и вязкоупругих протяженных слоях, являющихся составной частью подземных сооружений, требует внедрения новых методов исследования и оценки динамики волнового нагружения в них. В связи с этим актуальным является использование цилиндрических полимерных, бетонных и металлических оболочек, обладающих сложными физическими свойствами и контактирующих с окружающей средой.

В связи с этим особое внимание уделяется обеспечению стабильности параметров, позволяющих уменьшить колебания цилиндрических жидкостных труб с эллиптическим поперечным сечением, изучению проблемы дифракции волн в цилиндрических телах с различным поперечным сечением, снижению создаваемых ими отрицательных состояний и повышению прочности деформируемого тела, разработке и развитию методики определения его свойств.

В нашей Республике с целью изучения прочности конструкций исследуются характеристики динамического напряженно-деформируемого состояния, проводятся целенаправленные научные исследования для выявления опасных напряжений, изучения собственных колебаний и резонансных состояний тел, взаимодействующих с окружающей средой, проводятся широкомасштабные мероприятия и достигаются определенные результаты.

В Постановлении Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года «Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года», определены задачи, в том числе, «...широкое использование научного и инновационного потенциала, приоритеты регулярного реформирования науки в будущем, определяя, готовя высококвалифицированные кадры, обладающие современными знаниями и независимым мышлением,...»¹. При реализации этих задач, среди прочего, большое значение имеет разработка и развитие методики определения собственных и вибрационных характеристик деформируемого эллиптического тела, взаимодействующего с вязкоупругой средой.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, определённых в Указах Президента Республики

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года № УП-6097 "Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года

Узбекистан от 28 января 2022 года УП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Указе Президента Республики Узбекистан от 30 июля 2020 года УП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» и Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан от 26 августа 2020 года № 515 «О дальнейшем совершенствовании государственной системы Республики Узбекистан по предупреждению чрезвычайных ситуаций и действиям в таких ситуациях», а также поставленных в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследований приоритетам развития науки и технологий Республики. Данное исследование является IV этапом развития республиканской науки и инновационных технологий. Оно проводилось в рамках приоритетного направления «Математика, механика, сейсמודинамика сооружений и информатика».

Степень изученности проблемы. Теоретические и экспериментальные научные исследования, связанные с проблемой дифракции волн на цилиндрических телах эллиптического сечения, находящихся в деформируемой вязкоупругой среде, и характеристическими колебаниями тел, контактирующих с окружающей средой, проводятся известными университетами и крупными учеными мира, в том числе это: Бреховских Л.В., Ильющин А.А., Горшков А.Г., Викторов И.А., Вольмир А.С., Шемякин Е.И., Гузь А.Н., Гринченко В.Т., Трояновский И.Е., Кийко И.А., Новичков Ю.И., Петрашень Г.И., Матвеев В.П., Шардаков И.Н., Старовойтов Е.И., Микер Т., Мейтцлер А., Дэвис Р.М., Митра Р., Уайт, Ахенбах Дж.Д., Шафер Б.В., Сан Р.И. и другие.

Решением этих проблем среди ученых Узбекистана занимались Рахматулин К.А., Уразбаев М.Т., Ширинкулов Т.Ш., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Мубараков Я.Н., Марданов Б.М., Султанов К.С., Маматкулов Ш.М., Мирсаидов М.М., Сафаров И.И., М.Х. Тешаев, З.И.Болтаев и др. которые разработали методы расчета динамических напряжений и деформационных состояний с учетом вязкостных свойств материалов, и нашли решение многих задач дифракции волн (или вязкоупругих и акустических) в цилиндрических и сферических телах, контактирующих с окружающей средой.

В их работах изучалась задача дифракции упругих волн в цилиндрических телах круглого сечения, находящихся в упругой среде. С помощью специальных функций получены асимптотические решения задачи дифракции плоских упругих волн в цилиндрической полости с идеальной жидкостью. Подобными исследованиями занимаются учёные США, России, Украины и Китая, однако проблемы дифракции волн в сосредоточенных однородных цилиндрических объектах с учётом реологических свойств материала пока не нашли своего решения. Проблема методологии, алгоритма и программы для исследования дифракции волн и характеристических колебаний в эллиптических цилиндрических телах с эллиптическим

поперечным сечением, взаимодействующих с вязкоупругой средой, и решение новых задач требуют дальнейшего решения.

Связь диссертационного исследования с научными планами высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проекта ФМ-01-2020-2024 «Математическое моделирование механических процессов в вязкоупругих телах» (2020-2021 годы) в соответствии с планом Бухарского инженерно-технологического института.

Целью исследования является разработка методики и алгоритма исследования напряженно-деформированного состояния, вызванного воздействием гармонических волн на цилиндрические трубы эллиптического сечения, находящиеся в вязкоупругой среде, получение численных результатов и их анализ.

Задачи исследования:

-разработка математической постановки, методики и алгоритма решения задач воздействия продольных и поперечных волн на цилиндрические тела эллиптического поперечного сечения, находящиеся в вязкоупругой среде, с учетом вязкоупругих свойств материалов;

-разработка математической постановки, методики и алгоритма решения задач о собственных колебаниях цилиндрических тел, эллиптического поперечного сечения, находящиеся в вязкоупругой среде, с учетом вязкоупругих свойств материалов

-сравнительная оценка изменения динамического напряженно-деформационного состояния цилиндрического тела эллиптического поперечного сечения, находящегося в вязкоупругой среде, под действием гармонического волнового нагружения;

-сравнительная оценка влияния изменения амплитуды ядра релаксации на напряженно-деформированное состояние.

В качестве объекта исследования принято цилиндрическое тело эллиптического поперечного сечения, находящееся в вязкоупругой среде.

Предметом исследования является развитие математической модели и разработка алгоритма численного решения задач волнового воздействия на цилиндрические тела эллиптического поперечного сечения, находящиеся в вязкоупругой среде с учетом вязкоупругих и геометрических параметров материалов.

Методы исследования. В процессе исследования для решения интегро-дифференциальных уравнений в частных производных механики деформируемого твердого тела использованы методы нахождения решения через специальные функции механики деформируемого твердого тела и математической физики, методы Мюллера, Гаусса и «замораживания».

Научная новизна исследования заключается в следующем:

-разработаны математическая постановка задач о воздействии продольных и поперечных волн на цилиндрические тела с эллипсоидным поперечным сечением, находящиеся в вязкоупругой среде, на основе уравнений Ламе теории вязкоупругости с учетом вязкостных свойств

материалов, методика решения на основе специальных функций и алгоритм, основанный на методах Гаусса, Мюллера и Лапласа;

-на основе теории затухания волн математически сформулирована задача о собственных колебаниях цилиндрических тел с эллиптическим поперечным сечением, находящихся в вязкоупругой среде, разработаны методика и алгоритм решения с учетом вязкостных свойств материала;

-установлено, что напряжения, возникающие в среде и эллиптическом цилиндре под действием динамической нагрузки на среду и эллиптический цилиндр, могут быть снижены до 15 % по сравнению с напряжениями цилиндра круглого сечения за счет удлинения большой оси эллипса;

-на основе методов Мюллера и Гаусса установлено, что вязкость среды вызывает линейное увеличение значения амплитуды ядра, а ее уменьшение вызывает уменьшение коэффициента диссипации энергии;

-на основе методов Мюллера и Гаусса установлено, что значение комплексной частоты цилиндрического тела эллиптического поперечного сечения в вязкоупругой среде на 10 % меньше значения частоты в упругой среде.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

-разработаны методы расчета прочности цилиндрических тел для напряженно-деформированного состояния, вызванного волновым нагружением цилиндрических тел эллиптического поперечного сечения, находящихся в деформируемой среде;

-решена задача нахождения конечного числа мод комплексных частот в краевой задаче;

-определено распределение напряжений при продольном и поперечном волновом нагружении в деформируемой среде и цилиндрическом теле эллиптического поперечного сечения.

Достоверность результатов исследования обоснована правильной постановкой краевых задач, строгостью полученных математических выражений, систематическим использованием обоснованных методов решения, оценкой точности решений сравнение с решениями других исследователей и их совпадением.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость полученных в исследовании результатов заключается во внесении существенного вклада в развитие теории волнового нагружения и дифракции на телах эллиптического сечения, находящихся в деформируемой среде.

Практическая значимость исследовательской работы объясняется в возможности изучения новых закономерностей напряженно-деформированного состояния, вызванного волновым нагружением цилиндрических объектов эллиптического поперечного сечения, находящихся в деформируемой среде, решением задачи нахождения конечного числа мод комплексных частот в краевой задаче, разработанными алгоритмом и программой.

Внедрение результатов исследований. На основе результатов, полученных по методике и алгоритму расчета динамического напряженно-деформированного состояния деформируемого эллиптического тела, находящегося в упругой и вязкоупругой среде под действием динамических сил:

методика получения дифференциальных уравнений с комплексными коэффициентами из интегро-дифференциальных уравнений, полученных в эллиптической системе координат и для сравнительной оценки аналитических решений, полученных под действием периодических внешних сил, с решениями, полученными для классических ядер использована в научном проекте ОТ-Ф4-04(05) «Применение спектрального метода в решении матричных нелинейных эволюционных уравнений биомеханики сердечно-сосудистой системы», выполненном в 2017-2020 годах (Справка № 01-01/14-11/653 от 6 апреля 2023 г.). В результате это позволило провести сравнительную оценку амплитуд колебаний в упругих и вязкоупругих средах:

алгоритм нахождения собственного числа и формы колебаний использован в фундаментальном проекте на тему: «Разработка и развитие теории нелинейных динамических напряженно-деформационных состояний криволинейных сечений многослойных композитных трубопроводов, протекающих вязкой жидкостью, под воздействием температуры и динамических нагрузок», выполненном в 2016-2020 годах в Ташкентском химико-технологическом институте в рамках государственной научно-технической программы (Справка № 1/01-2930 от 17 октября 2023 г.) В результате это позволило снизить максимальные напряжения некруглых труб на 15%.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены и одобрены на международных и республиканских конференциях, в том числе на 4 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 36 научных работ, в том числе 11 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD), из которых 1 в республиканском и 10 статей в международных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации обоснована актуальность и необходимость диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования. Продемонстрировано соответствие исследования

приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования. Обоснована достоверность полученных результатов, освещена научная и практическая значимость исследований. Приведены сведения о внедренности результатов исследования, апробации работы, опубликованных работах, структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации, названной **«Анализ литературы, посвященной изучению воздействия гармонических волн на цилиндр в вязкоупругой среде»**, дан краткий анализ литературы, посвященной изучению напряженно-деформированного состояния труб, и на основе анализа литературы сделаны выводы. Представлен анализ результатов экспериментальных наблюдений и теоретических исследований воздействия сейсмических и взрывных волн на цилиндрические трубы и тоннели круглого сечения, находящиеся в деформируемой среде. Учитывая вязкость подземного сооружения и грунта вокруг него, а также эллиптическую форму сечения подземного сооружения обосновано, что методика и алгоритм решения задачи дифракции сейсмических (длинных) волн до настоящего времени не разработаны. Данная глава состоит из двух параграфов, первый из которых посвящен анализу литературы, посвященной изучению воздействия (дифракции) сейсмических волн на тоннели и трубы, расположенные в упругой среде. Второй параграф посвящен оценке воздействия волн на цилиндрическую оболочку, находящуюся в вязкоупругой среде методами механики твердого тела.

Таким образом, хотя проблемам изучения дифракции волн в цилиндрическом теле эллиптического сечения, находящемся в вязкодеформируемой среде, посвящено большое количество литературы, на основании выводов, сделанных в конце анализа литературы, следует, что проблема далека от своего окончательного решения, и создание теоретической основы решения этой задачи, постановка краевой задачи, разработка методики, алгоритма и программ решения является актуальной задачей.

Во второй главе диссертации, названной **«Постановка задачи о воздействии гармонических волн на эллиптический цилиндр в вязкоупругой среде, методика и алгоритм решения»**, представлены математическая постановка и метод их решения (рис.1). Предположим, что на цилиндрический слой эллиптического поперечного сечения, расположенный в однородной изотропной вязкоупругой среде, воздействуют гармонические волны. Схема расчета представлена на рисунке 1. Пусть цилиндрический слой эллиптического поперечного сечения ограничен поверхностями Σ_1 и Σ_2 . И пусть эллипс контактирует с вязкоупругой средой через поверхность поперечного сечения Σ_1 . Аналогично, поверхность Σ_2 дает внутреннюю поверхность цилиндра эллиптического сечения и представляет собой поверхность, ограниченную заполнителем внутри. Движение цилиндра

эллиптического сечения и окружающей ее вязкоупругой среды имеют операторные коэффициенты (модули упругости $\tilde{\lambda}_j$ и $\tilde{\mu}_j$, $j=1,2$):

-операторные модули эластичности для окружающей среды

$$\tilde{\lambda}_1[f(t)] = \lambda_{01} \left[f(t) - \int_0^t R_{c\lambda}(t-s)f(s)ds \right], \tilde{\mu}_1[f(t)] = \mu_{01} \left[f(t) - \int_0^t R_{c\mu}(t-s)f(s)ds \right], \quad (1,a)$$

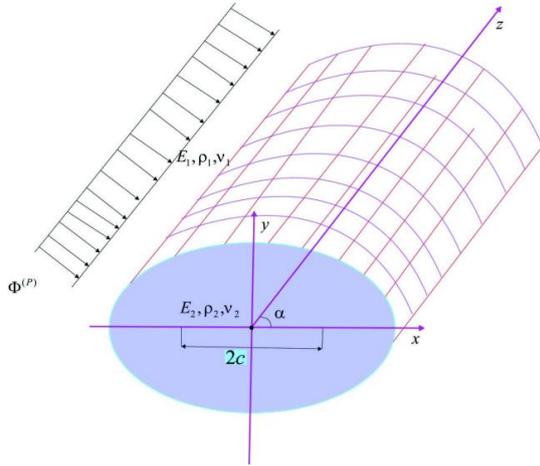


Рис.1. Схема расчета цилиндрического тела эллиптического поперечного сечения

-для среды, состоящей из вязкоупругой эллиптической среды:

$$\tilde{\lambda}_2[f(t)] = \lambda_{02} \left[f(t) - \int_0^t R_{\lambda_2}(t-s)f(s)ds \right], \tilde{\mu}_2[f(t)] = \mu_{02} \left[f(t) - \int_0^t R_{\mu_2}(t-s)f(s)ds \right], \quad (1,b)$$

где $\tilde{\lambda}_{1,2}$ и $\tilde{\mu}_{1,2}$ - модули упругости в операторной форме, $f(t)$ - непрерывная функция; $R_{c\lambda}(t-s), R_{\lambda_2}(t-s), R_{c\mu}(t-s), R_{\mu_2}(t-s)$ - ядра релаксации; $\lambda_{01}, \lambda_{02}, \mu_{01}, \mu_{02}$ - мгновенные модули упругости вязкоупругих материалов.

Если заменить в уравнениях Ламе упругие модули с их операторной формой, то получим следующие интегро-дифференциальные уравнения в частных производных в векторной форме:

$$\begin{aligned} &(\lambda_{01} + 2\mu_{01}) \text{graddiv}\bar{u}_1 - \mu_{01} \text{rotrot}\bar{u}_1 - \\ & - (\lambda_{01} + 2\mu_{01}) \int_0^t R_{c\lambda\mu}(t-s) \text{graddiv}\bar{u}_1(\bar{r}, s) ds + \\ & + \mu_{01} \int_0^t R_{c\mu}(t-s) \text{rotrot}\bar{u}_1(\bar{r}, s) ds = \rho_1 \frac{\partial^2 \bar{u}_1}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (2,a)$$

$$\begin{aligned} &(\lambda_{02} + 2\mu_{02}) \text{graddiv}\bar{u}_2 - \mu_{02} \text{rotrot}\bar{u}_2 - \\ & - (\lambda_{02} + 2\mu_{02}) \int_0^t R_{\lambda\mu}(t-s) \text{graddiv}\bar{u}_2(\bar{r}, s) ds + \\ & + \mu_{01} \int_0^t R_{\mu}(t-s) \text{rotrot}\bar{u}_2(\bar{r}, s) ds = \rho_2 \frac{\partial^2 \bar{u}_2}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (2,b)$$

$$R_{c\lambda\mu}(t-s) = R_{c\lambda}(t-s) + 2R_{c\mu}(t-s), R_{\lambda\mu}(t-s) = R_{\lambda}(t-s) + 2R_{\mu}(t-s),$$

ρ_j ($j=1,2$) - плотность материала.

Задача решается в эллиптической системе координат. Связь между этой системой координат и декартовой системой координат следующая:

$$\begin{aligned} x &= cch\xi \cos \eta, \quad y = csh\xi \sin \eta, \quad z = z, \\ c^2 &= a^2 - b^2, \quad \xi \geq 0, 0 \leq \eta \leq 2\pi. \end{aligned} \quad (3)$$

В диссертации вопросы движения абсолютно твердого эллиптического тела в вязкоупругой среде под воздействием гармонических волн, динамического напряженно-деформационного состояния эллиптического пространства в вязкоупругой среде, а также задачи их собственных колебаний решались в аналитической постановке.

Если исследовать напряженно-деформированное состояние пространственного эллиптического цилиндра (рис. 1), то ставятся условия жесткого контакта между слоями:

$$\begin{aligned} \sigma_{\xi\xi 1} \Big|_{\Sigma_1} &= \sigma_{\xi\xi 2} \Big|_{\Sigma_1}, \quad \sigma_{\xi\eta 1} \Big|_{\Sigma_1} = \sigma_{\xi\eta 2} \Big|_{\Sigma_1}, \quad \sigma_{\xi z 1} \Big|_{\Sigma_1} = \sigma_{\xi z 2} \Big|_{\Sigma_1}, \\ u_{\xi 1} \Big|_{\Sigma_1} &= u_{\xi 2} \Big|_{\Sigma_1}, \quad u_{\eta 1} \Big|_{\Sigma_1} = u_{\eta 2} \Big|_{\Sigma_1}, \quad u_{z 1} \Big|_{\Sigma_1} = u_{z 2} \Big|_{\Sigma_1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Аналогично, если поверхность Σ_2 свободен от напряжений на поверхности сечения эллипса, тогда

$$\sigma_{\xi\xi 2} \Big|_{\Sigma_2} = 0; \quad \sigma_{\xi\eta 2} \Big|_{\Sigma_2} = 0; \quad \sigma_{\xi z 2} \Big|_{\Sigma_2} = 0. \quad (5)$$

На бесконечности ставятся условия затухания или поглощения волны и условие, определяющее ограничение амплитуды ее смещения.

Пусть на эллиптическое тело падает плоская продольная гармоническая волна (рис. 1). Тогда выражение потенциала смещения будет следующим:

$$\varphi_p = \Phi_p e^{i(k_1 y - \omega t)} = \Phi_p e^{i\omega t} e^{ik_1 sh\xi \sin \eta}, \quad (6)$$

где Φ_p – амплитуда падающей волны, ω – частота падающей волны, k_1 – волновое число.

Вектор смещения цилиндрического тела и среды имеет вид

$$\vec{u}_j = \text{grad}\varphi_j + \text{rot}\vec{\psi}_j; \quad \text{div}\vec{\psi}_j = 0. \quad (7)$$

Основные задачи приведены к задачам плоской деформации теории упругости. Следовательно, φ_j -продольный и $\vec{\psi}_j(0, \psi, \chi)$ - поперечный волновые потенциалы удовлетворяют следующим интегро-дифференциальным уравнениям:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \varphi_j - \int_0^t R_{pj}(t-s) \nabla^2 \varphi_j(s) ds &= \frac{1}{c_{0pj}^2} \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial t^2}, \\ \nabla^2 \psi_j - \int_0^t R_{sj}(t-s) \nabla^2 \psi_j(s) ds &= \frac{1}{c_{0sj}^2} \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial t^2}, \\ \nabla^2 \chi_j - \int_0^t R_{sj}(t-s) \nabla^2 \chi_j(s) ds &= \frac{1}{c_{0sj}^2} \frac{\partial^2 \chi_j}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где:

$$\begin{aligned}\nabla^2 \varphi_j &= \left[\frac{1}{a_0^2 J^2} \left(\frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial z^2} \right], \\ \nabla^2 \psi_j &= \left[\frac{1}{a_0^2 J^2} \left(\frac{\partial^2 \psi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial z^2} \right], \\ \nabla^2 \chi_j &= \left[\frac{1}{a_0^2 J^2} \left(\frac{\partial^2 \chi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \chi_j}{\partial \eta^2} \right) + \frac{\partial^2 \chi_j}{\partial z^2} \right].\end{aligned}$$

Если изучается продольная волна, то принимается C_{0rj} , если изучается поперечная волна, то принимается C_{0sj} .

Предположим, что в интегродифференциальном волновом уравнении (8) подинтегральная функция является медленно меняющейся, тогда для (8) можно применить метод замораживания. В этом случае (8) принимает следующий вид:

$$\nabla^2 \varphi_j = \frac{1}{c_{0pj}^2 \Gamma_{pj}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \psi_j = \frac{1}{c_{0sj}^2 \Gamma_{sj}} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \chi = \frac{1}{c_{0s}^2 \Gamma_{sj}} \frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2}. \quad (9)$$

Здесь:

$$\begin{aligned}\Gamma_{pj} &= \lambda_{0j} \left[1 - \Gamma_{\lambda_j}^C(\omega_R) - i \Gamma_{\lambda_j}^S(\omega_R) \right] + 2\mu_{0j} \left[1 - \Gamma_{\mu_j}^C(\omega_R) - i \Gamma_{\mu_j}^S(\omega_R) \right], \\ \Gamma_{sj} &= \mu_{0j} \left[1 - \Gamma_{\mu_j}^C(\omega_R) - i \Gamma_{\mu_j}^S(\omega_R) \right], \\ \Gamma_{\lambda_j}^C(\omega_R) &= \int_0^\infty R_{\lambda_j}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau; \quad \Gamma_{\lambda_j}^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_{\lambda_j}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau, \\ \Gamma_{G_j}^C(\omega_R) &= \int_0^\infty R_{G_j}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau; \quad \Gamma_{G_j}^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_{G_j}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau\end{aligned}$$

косинус и синус Фурье-изображения материала, соответственно; ω_R - реальная величина.

Векторное выражение (7) можно записать через компоненты смещения в виде:

$$\begin{aligned}u_\xi &= \frac{1}{aJ} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{\partial \psi}{\partial \eta} + l \frac{\partial \chi}{\partial \xi \partial z} \right), \\ u_\eta &= \frac{1}{aJ} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \eta} - \frac{\partial \psi}{\partial \xi} + l \frac{\partial \chi}{\partial \eta \partial z} \right), \\ u_z &= \frac{\partial \varphi}{\partial z} + l \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \chi.\end{aligned}$$

Из обобщенного закона Гука операторные напряжения также могут быть выражены через перемещения или деформации:

$$\begin{aligned}\sigma_{\xi\xi} &= \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu})}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \frac{\bar{\lambda}}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\bar{\lambda} sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi + \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}) \sin 2\eta}{aJ^3} \frac{1}{1}, \\ \sigma_{\eta\eta} &= \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu})}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\bar{\lambda}}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \bar{\lambda} \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\bar{\lambda} \sin 2\eta}{2aJ^3} u_\eta + \frac{(\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}) sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi.\end{aligned}$$

Для перехода из эллиптической системы координат в полярную систему координат используем следующие соотношения:

$$r = a(ch^2 \xi - \sin^2 \eta)^{1/2}, \quad \theta = \frac{1}{tg(th\xi tg\eta)}.$$

Используя последние выражения условия поглощения, заданное в цилиндрической (полярной) системе координат, можно записать в эллиптических координатах.

Ищем решение, выраженное гармоническими функциями, для уравнений движения в перемещениях, заданного в эллиптических координатах, в следующем виде:

$$\Phi_{1j} = \Re e^{i\omega t} \Phi_j(\xi, \eta), \quad \Psi_{1j} = \Re e^{i\omega t} \Psi_j(\xi, \eta). \quad (10)$$

В этом случае основные волновые уравнения в новых координатах примут следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Phi_j}{\partial \eta^2} + k_{1j}^2 (ch^2 \xi - \cos^2 \eta) \Phi_j &= 0; \\ \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Psi_j}{\partial \eta^2} + k_{2j}^2 (ch^2 \xi - \cos^2 \eta) \Psi_j &= 0, \\ \frac{\partial^2 X_j}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 X_j}{\partial \eta^2} + k_{2j}^2 (ch^2 \xi - \cos^2 \eta) X_j &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

здесь:

$$k_{1j}^2 = \frac{\rho_j \omega^2}{\lambda_j + 2\bar{\mu}_j} = \frac{\omega^2}{c_{1j}^2 \Gamma_{pj}}; \quad k_{2j}^2 = \frac{\rho_j \omega^2}{\bar{\mu}_j} = \frac{\omega^2}{c_{2j}^2 \Gamma_{sj}}; \quad J^2 = (ch^2 \xi - \cos^2 \eta) / 2$$

ρ – плотность; λ, μ – Коэффициенты Ламе, Γ_{pj}, Γ_{sj} – параметры, представляющие вязкость. Решение Φ_j и Ψ_j , заданное в эллиптических координатах, находим методом разделения переменных $F(\xi)G(\eta)$. Тогда получаем следующее:

$$\frac{d^2 F_{\phi jk}(\xi)}{d\xi^2} + (b - 0.5a^2(k_1^2 - \gamma^2)ch^2 \xi) F_{\phi jk}(\xi) = 0, \quad (12)$$

$$\frac{d^2 G_{\psi jk}(\eta)}{d\eta^2} - (b - 0.5a^2(k_1^2 - \gamma^2)\cos^2 \eta) G_{\psi jk}(\eta) = 0, \quad (13)$$

$$\frac{d^2 Z_{zjk}(z)}{dz^2} + \gamma^2 Z_{zjk}(z) = 0.$$

Решение последнего уравнения (13) ищем в виде ряда:

$$G(\eta) = g_0(\eta) + \varepsilon g_1(\eta) + \varepsilon^2 g_2(\eta) + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon^k g_k(\eta). \quad (14)$$

Если решение (14) подставить в уравнение (13) и приравнять коэффициенты перед ε к нулю, то получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \ddot{g}_0(\eta) + \delta g_0(\eta) &= 0 \\ \ddot{g}_1(\eta) + \delta g_1(\eta) &= -2g_0 \cos 2\eta \\ \ddot{g}_2(\eta) + \delta g_2(\eta) &= -2g_1 \cos 2\eta. \end{aligned} \quad (15)$$

Решение первого уравнения системы (15) можно записать в следующем виде:

$$g_0 = a \cos(\omega \eta + \beta), \quad \delta = \omega^2,$$

где α и β — произвольные константы. Аналогично, второе уравнение (15)

$$\ddot{g}_1(\eta) + \omega^2 g_1(\eta) = -a \cos[(\omega + 2)\eta + \beta] - a \cos[(\omega - 2)\eta + \beta].$$

в общем виде выражается через решения этих уравнений: здесь a и ω — комплексные величины.

В расчетах используем выражения в виде ряда функции Матье:

$$\begin{aligned} ce_0(\eta, q) &= 1 + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^{r+1} q^r}{r|r|} - \frac{2^{r+3} r(3r+4)q^{r+2}}{(r+1)!(r+1)!} + O(q^{r+4}) \right\} \cos 2r\eta, \\ ce_1(\eta, q) &= \\ &= \cos \eta + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^r q^r}{(r+1)!r!} - \frac{2^{r+1} r q^{r+1}}{(r+1)!(r+1)!} + \frac{2^r q^{r+2}}{(r-1)!(r+2)!} + O(q^{r+3}) \right\} \cos(2r+1)\eta, \\ se_1(\eta, q) &= \sin \eta + \\ &+ \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^r q^r}{(r+1)!r!} - \frac{2^{r+1} r q^{r+1}}{(r+1)!(r+1)!} + \frac{2^r q^{r+2}}{(r-1)!(r+2)!} + O(q^{r+3}) \right\} \sin(2r+1)\eta, \\ ce_2(\eta, q) &= \left\{ -2q + \frac{40}{3} q^3 + O(q^3) \right\} \cos 2\eta + \\ &+ \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2^{r+1} q^r}{(r+2)!r!} + \frac{2^{r+1} r(47r^2 + 222r + 247)q^{r+2}}{3^2(r+2)!(r+3)!} + O(q^{r+4}) \right\} \cos(2r+2)\eta, \end{aligned} \quad (16)$$

При $q \rightarrow 0$, ряд имеет $q \rightarrow O(q^6)$ порядковую точность. Существуют различные виды функции, и с помощью которых значения функций находятся путем присвоения значений аргументу.

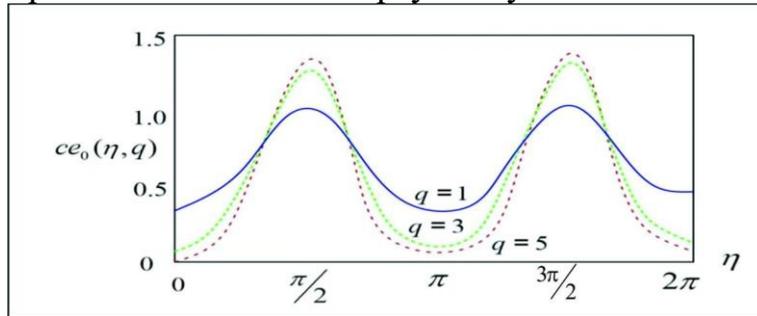


Рис. 2. Изменение функции Матье по параметру ординаты

При расчетах использованы связи в виде ряда. Изменение функции Матье представлено на рисунках 2 и 3. Вычисление функции Матье с комплексным аргументом приводит к трудностям. В связи с этим использовали тригонометрическую форму комплексного числа.

Существование периодического решения упомянутого выше уравнения Матье было изучено и доказано Флоком. Согласно этой теореме дифференциальное уравнение имеет частное решение $e^{\mu\eta}\varphi(\eta)$, где $\varphi(\eta)$ — функция с периодом 2π . Эта функция не меняется при переходе от η к $-\eta$. Общее решение дифференциального уравнения Матье имеет вид.

$$u = c_1 e^{\mu\eta} \varphi(\eta) + c_2 e^{-\mu\eta} \varphi(-\eta).$$

Здесь c_1 и c_2 — произвольные константы.

Точные числовые расчеты производятся путем вычисления суммы ряда (16). Для расчета контурных напряжений используем

$$\sigma_{\eta\eta} = (\text{Re} + i \text{Im}) e^{-i\omega t} = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2} e^{-i(\omega t - \gamma)}, \quad \gamma = \arctg \frac{\text{Im}}{\text{Re}}.$$

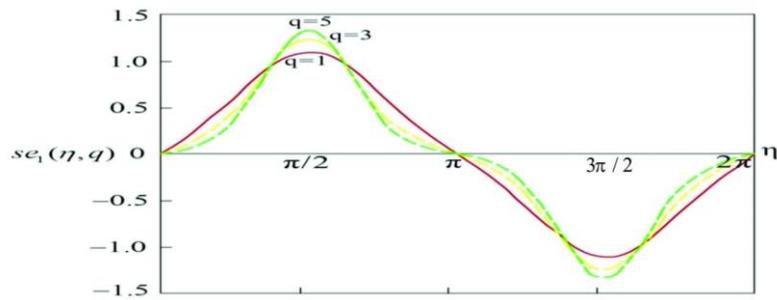


Рис.3. Изменение функции Маттье по параметру ординаты

Таким образом, во второй главе диссертации исследован вопрос о гармонических волнах, падающих на тело эллиптического сечения. Связь между напряжением и деформацией трубы в вязкоупругой среде описывается интегралом Больцмана-Вольтерра. Представлены граничные условия для нахождения частного решения полученной системы интегро-дифференциальных уравнений. С помощью метода «замораживания», разработанного Филатовым и Сунчалиевым, из этой системы уравнений получена система дифференциальных уравнений в частных производных с комплексными коэффициентами. Разработаны методика и алгоритм решения задачи о действии гармонических волн на цилиндрическое тело эллиптического поперечного сечения через потенциалы смещения теории упругости. Дифференциальное уравнение движения среды и цилиндрического тела с эллиптическим поперечным сечением было сведено к уравнению Гельмгольца с комплексным параметром, а решение найдено с помощью функций Маттье с комплексным аргументом. Найденное решение удовлетворяет граничным условиям. Для решения этой системы и получения численных результатов разработаны методика и алгоритм, основанные на метод конечных разностей, методах Гаусса и Лапласа.

Третья глава диссертации, названная **«Колебания деформируемого цилиндрического тела эллиптического поперечного сечения, находящегося в вязкоупругой среде»**, рассмотрена задача о собственных колебаниях тел эллиптической формы, находящихся в упругой среде. Такие задачи мало изучены, и уравнения равновесия или движения состоят из интегро-дифференциальных уравнений в частных производных. Собственные колебания эллиптического тела в упругой среде мало изучены. Колебания точек среды удовлетворяют уравнению Ламе теории упругости. Получены численные результаты и проанализированы. В место условия поглощения Зоммерфельда на бесконечности рекомендуется использовать его укороченную форму.

Уравнения собственных колебаний эллиптической полости в вязкоупругой среде получены с помощью уравнений Ламе, приведенные во второй главе для плоской задачи теории вязкоупругости:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{(\lambda + 2\mu)}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \frac{\lambda}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\lambda sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi + \frac{(\lambda + 2\mu)}{2aJ^3} \sin 2\eta u_\eta \right]_\Gamma = 0, \\ & \left[\frac{\lambda}{aJ} \frac{\partial u_\xi}{\partial \xi} + \frac{\lambda}{aJ} \frac{\partial u_\eta}{\partial \eta} + \frac{\lambda sh 2\xi}{2aJ^3} u_\xi + \frac{\lambda}{2aJ^3} \sin 2\eta u_\eta \right]_\Gamma = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Если использовать граничное условие (5), то получим систему однородных алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами. Для того чтобы эта система однородных уравнений имела нетривиальное решение, ее главный определитель, составленный из коэффициентов перед неизвестными, должен быть равен нулю. Элементами базового определителя являются функции комплексного параметра ω . Из этого соотношения получаем частотное уравнение для определения комплексного параметра ω :

$$(n^2 - 1)F_n(x)F_n(y) - (y^2/2)F_n(x) + F_n(y) + n^2 - (n^2 - y^2/2)^2 = 0, \quad (18)$$

где $F_n(x) = xce_n(x) / se_n(x)$, $n = 1, 2, 3, \dots$

Уравнение частоты с комплексным параметром (18) решается методом Мюллера. Корни этого трансцендентного уравнения (18) состоят из двух частей: действительной ($Re\Omega$) и мнимой ($Im\Omega$) частей. Действительная часть комплексной частоты представляет собой частоту колебаний механической системы, а абстрактная мнимая часть представляет собой коэффициент демпфирования (коэффициент поглощения).

Таблица 1.

Изменение действительной части комплексной частоты в зависимости от a/b

a	b	Собственные значения (действительная часть комплексной частоты)				
		$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$
1	1/2	0,07906	0,65168	1,50937	3,46217	5,43208
2	1/4	0,07472	0,43827	1,32169	2,86027	4,01843
3	1/5	0,06763	0,32809	0,97891	2,37612	4,21305
4	1/6	0,07672	0,23245	0,78271	1,58961	3,58168
5	1/7	0,12445	0,292026	0,53272	1,47858	3,30664

Результаты расчета при $n \geq 0$ ($\nu_1 = 0,25$) представлены в таблице 1. Из анализа представленных результатов видно, что с увеличением n также увеличиваются действительная и мнимая части комплексной частоты. Уравнение частоты (18) зависит только от коэффициента Пуассона. При изменении значения коэффициента Пуассона (ν) в интервале $0 \leq \nu \leq 0,4$ действительная и мнимая части частоты изменяются до 27%.

Также в третьей главе диссертации исследуются колебания тела эллиптического сечения, расположенного в упругой полуплоскости в вязкоупругой среде. Задача решалась методами Мюллера и Гаусса.

В четвертой главе диссертации, названной «Дифракция гармонических волн на эллиптическом цилиндре в вязкоупругой среде», представлены алгоритм решения задачи дифракции гармонических волн на эллиптическом цилиндре в вязкоупругой среде и численные результаты. Предположим, что в вязкоупругой среде задан абсолютно жесткий эллиптический цилиндр. Тогда дифференциальные уравнения движения для задач плоского деформирования твердого тела в декартовой системе координат, имеет вид:

$$m \frac{d^2 U}{dt^2} = \int_{-a}^a [\sigma_{xy}] dx, \quad m \frac{d^2 V}{dt^2} = \int_{-a}^a [\sigma_{yy}] dx, \quad I \frac{d^2 \Theta}{dt^2} = \int_{-a}^a [\sigma_{yy}] x dx, \quad (19)$$

где m - масса эллиптического тела; Θ - кручение эллиптического тела; σ_{xy} - касательные напряжения среды, σ_{yy} - нормальное напряжение среды.

Пусть плоская продольная волна падает на эллиптическое твердое тело:

$$\begin{aligned} & \Phi_p e^{i\omega t} e^{ik_1 sh \xi \sin \eta} = \\ & = \Phi_p e^{i\omega t} \left[\sum (B_{2n} ce_{2n}(i\xi, k_1) ce_{2n}(\eta, k_1) + C_{2n+1} se_{2n+1}(i\xi, k_1) se_{2n+1}(\eta, k_1)) \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Когда эта волна (20) падает на эллиптическое тело, она распадается на две волны Φ^s и Ψ^s . Волновое поле вязкоупругой среды, окружающей эллиптический цилиндр, равно сумме двух различных волновых потенциалов (суммы падающих и отраженных волн): $\Phi = \Phi_p + \Phi^{(s)}$, $\Psi = \Psi^{(s)}$.

Отражённые волны удовлетворяют волновому уравнению в эллиптических координатах и имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \Phi^{(s)} &= \sum_{n=0}^{\infty} [B_n Mc_n^{(3)}(\xi, q_p) ce_n(\eta, q_p) + C_n Ms_n^{(3)}(\xi, q_p) se_n(\eta, q_p)], \\ \Psi^{(s)} &= \sum_{n=0}^{\infty} [D_n Mc_n^{(3)}(\xi, q_s) ce_n(\eta, q_s) + E_n Ms_n^{(3)}(\xi, q_s) se_n(\eta, q_s)], \end{aligned} \quad (21)$$

где B_n, C_n, D_n, E_n – произвольные постоянные, или постоянные интегрирования, которые находятся из граничных условий. Граничные условия ставятся на поверхности эллиптического тела и на бесконечности.

В целом, получение общего решения данной задачи по предложенному алгоритму не приводит к принципиальным трудностям, однако вычисление функций Матье с комплексными аргументами приводит к принципиальным трудностям.

Для нахождения произвольных постоянных, используя граничные условия получаем систему алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами:

$$[C(\omega)] \{q(\omega)\} = [p].$$

Эта система алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами решается по разработанному в диссертации алгоритму с использованием метода последовательного исключения переменных Гаусса. Если при вычислении функции Матье взять 10 членов ряда, то её разность от суммы 11-ти членов не будет меньше 10^{-8} . Ряд будет сходиться очень медленно. Для этой функции требуется не менее 15-20 членов, чтобы найти сумму ряда. Но при расчете взять 20 и более членов вышеуказанное условие выполняется. В эллиптической системе координат также выполняется условие симметрии по декартовым осям координат. И здесь при попадании волны в полость эллиптического сечения она распадается на две - продольную и поперечную отраженные волны.

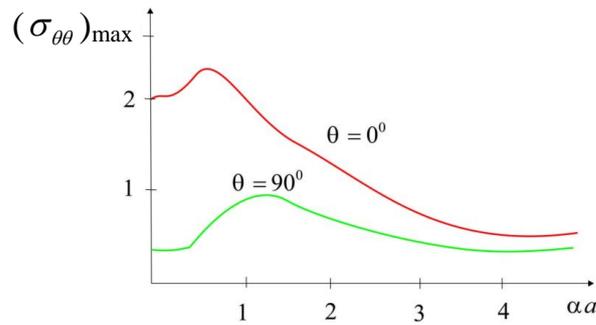


Рис.4. Изменение максимального контурного напряжения $\sigma_{\theta\theta}$ в зависимости от волнового числа (при разных углах волнового числа. 1. $\theta = 90^\circ$; 2. $\theta = 0^\circ$)

В качестве ядра релаксации вязкоупругого материала примем трехпараметрической ядро Ржаницына-Колтунова с слабой сингулярностью: $R_{\lambda, \mu, \nu}(t) = A_{\lambda, \mu, \nu} e^{-\beta_{\lambda, \mu, \nu} t} / t^{1-\alpha_{\lambda, \mu, \nu}}$, здесь A, α, β - параметры ядра. Принимаем следующие значения для этих параметров: $A = 0,048$; $\beta = 0,05$; $\alpha = 0,1$; $\nu = 0,25$; $a/b = 1,4$. Амплитуда падающей волны принято равной единице. При расчете ряда (20), при принятии 20 членов ряда, ошибка составила $1,5 \cdot 10^{-17}$. При дифференцировании функций использовалось обозначение: $>diff(f(x), x, x) = diff(diff(f(x), x), x)$ и для графического представления результатов: $> \mathbf{with(plots):}$.

Как видно из рисунка, с увеличением радиуса натяжение контура стремится к асимптотике. Результаты получены в области длинноволновых чисел.

В следующем примере показаны действительная (R) и мнимая (J) составляющие продольного и поперечного волновых потенциалов при воздействии гармонической волны на абсолютно твердый эллиптический цилиндр. В первом примере $a/b = 2,0$. Результаты представлены на рисунках 4 и 5. При воздействии продольных волн на цилиндр эллиптического поперечного сечения при $\theta = 90^\circ$ и $\theta = 0^\circ$ приведено изменение контурных напряжений. Изменение безразмерного контурного напряжения в зависимости от волнового числа представлено на рис.5. Видно, что максимальное значение контурного напряжения достигается в области длинноволнового числа.

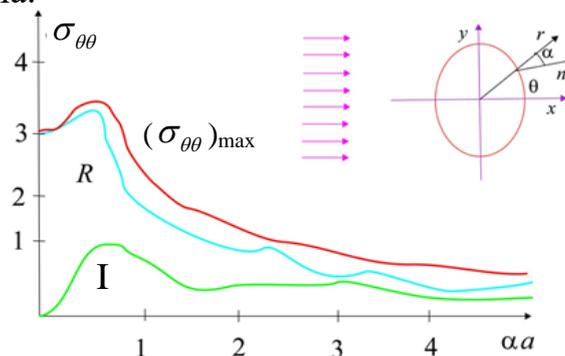


Рис.5. Изменение максимального контурного напряжения $\sigma_{\theta\theta}$ в зависимости от волнового числа

($\theta = 90^\circ$). Изменение действительной (R) и мнимой (I) частей контурного напряжения в зависимости от волнового числа.

Из рис.5 видно, что коэффициент концентрации динамических напряжений в длинноволновом диапазоне $\alpha a = \frac{D}{\lambda} = 0,04 \div 0,16$, на 5-10% больше статических напряжений. При $\alpha a = \frac{D}{\lambda} > 0,16$ коэффициент концентрации динамических напряжений меньше напряжения при статическом состоянии. Учет вязкостных свойств позволяет снизить коэффициент концентрации динамических напряжений на 10-15%.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны методика и алгоритм расчета динамических напряжений и деформаций конструкций эллиптического поперечного сечения под действием гармонических нагрузок с учетом вязкостных свойств материалов.

2. Разработаны методика и алгоритм исследования собственных колебаний эллиптического тела, находящегося в вязкоупругой среде.

3. Установлено, что учет вязкостных свойств среды и материалов конструкции позволяет снизить напряжения, возникающие в окружающей среде и конструкции под действием динамических нагрузок, до 15%.

4. Наибольшими напряжениями при гармоническом воздействии продольной волны ($a/b=2$) являются контурные напряжения в области длинных волн при $\theta = 90^\circ$ и $\theta = 270^\circ$, и при поперечном воздействии волн – при $\theta=45^\circ$ и $\theta=135^\circ$.

5. Оценено изменение нескольких мод (реальной и мнимой частей) комплексной частоты собственных колебаний цилиндрического тела эллиптического поперечного сечения, находящегося в деформируемой среде, в зависимости от геометрических параметров. Установлено, что значение комплексной частоты цилиндрического тела эллиптического поперечного сечения в вязкоупругой среде меньше значения фазовой скорости в упругой среде на 10%.

6. Расчеты показывают, что по мере увеличения акустических параметров среды, при воздействии падающей волны, при фиксированном (регистрированном) значении амплитуды, смещения и растяжения также возрастут.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT BUKHARA ENGINEERING AND
TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

BUKHARA ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE

UMAROV ALOVIDDIN OCHILOVICH

**FEATURES OF THE INFLUENCE OF HARMONIC WAVES ON AN
ELLIPTICAL CYLINDER IN A VISCOELASTIC MEDIUM**

01.02.04 – mechanics of a deformable solid

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

Bukhara – 2024

The topic of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) in physical and mathematical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan for B2023.2.PhD/FM 755

The dissertation has been prepared at Tashkent of Chemical Technology Institute

The abstract of the dissertation is posted on the website of the Bukhara Institute of Engineering and Technology (www.buxmti.uz) and on the Information and educational portal "ZiyoNET" (www.ziynet.uz) in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)).

Scientific adviser: **Safarov Ismoil Ibrokhimovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Professor

Official Opponents: **Mardonov Botir Mardonovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Professor

Mirzaev Ibrakhim
Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Professor

Lead organization: Namangan engineering and construction institute

The defense of the thesis will take place on "22" January 2024 at "15:00" hours at a meeting of the Scientific Council Phd.03/27.02.2021.FM.101.02 at the Bukhara Institute of Engineering and Technology at the address: 200100, Bukhara, st. K. Murtazayev, 15. Phone: (+99865) 223-78-84; fax: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz.

The dissertation can be found at the Information resource center of the Bukhara Engineering and Technology Institute (registered under the number No. 453.). (Address: Bukhara region, 200100, Bukhara, K. Murtazaev st., 15. Phone: (+99895) 604-44-70).

Abstract of dissertation sent out on "10" January 2024 year
(mailing report № 7 on "28" november 2023 year)



M.Kh.Teshaev
Chairman of the Scientific Council
On awarding academic degrees
Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, (DSc)

Z.I.Boltaev
Scientific Secretary of the Scientific
Council On awarding academic
degrees, Doctor of Physical and
Mathematical Sciences (DSc)

M.Z.Sharipov
Chairman of the scientific seminar At
the Scientific Council for awarding
Academic Degrees Doctor of Physical
and Mathematical Sciences (DSc).
Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The relevance and relevance of the topic of the dissertation. In the world, the use of advanced computational methods in solving problems of dynamic stress-strain state arising under the action of seismic (or standing harmonic) waves in cylindrical bodies with different cross sections located in viscoelastic media, wave-body interaction in the medium, as well as diffraction occupies one of the leading places. On a global scale, the reduction of dynamic stresses and deformations in elastic and viscoelastic extended layers, which are an integral part of underground structures, requires the introduction of new methods for studying and evaluating the dynamics of wave loading in them. In this regard, the use of cylindrical polymer, concrete and metal shells with complex physical properties and in contact with the environment is relevant.

the object of study A cylindrical body of elliptical cross-section located in a viscoelastic medium was chosen as.

The scientific novelty of the research is as follows:

-a mathematical formulation of problems on the effect of longitudinal and transverse waves on cylindrical bodies with an ellipsoidal cross-section located in a viscoelastic medium based on the Lamé equations of the theory of viscoelasticity, taking into account the viscous properties of materials, a solution technique based on special functions and an algorithm based on the methods of Gauss, Muller and Laplace have been developed;

-based on the theory of wave attenuation, the problem of natural vibrations of cylindrical bodies with an elliptical cross section located in a viscoelastic medium is mathematically formulated, a method and algorithm for solving taking into account the viscous properties of the material are developed;

-it has been found that the stresses arising in the medium and the elliptical cylinder under the action of a dynamic load on the medium and the elliptical cylinder can be reduced by up to 15% compared with the stresses of the circular cylinder due to the elongation of the large axis of the ellipse;

-based on the methods of Muller and Gauss, it was found that the viscosity of the medium causes a linear increase in the value of the amplitude of the nucleus, and its decrease causes a decrease in the energy dissipation coefficient;

-based on the methods of Muller and Gauss, it was found that the value of the complex frequency of a cylindrical body of elliptical cross-section in a viscoelastic medium is 10% less than the value of the frequency in an elastic medium.

Implementation of research results. From the calculation methods, algorithms and programs obtained for the development of the theory of mathematical modeling of problems under the influence of longitudinal and transverse waves or loads on cylindrical bodies of elliptical cross-section located in a viscoelastic medium, taking into account the viscous properties of the material when assessing the dynamic stress-strain state, the following are introduced:

from the method of obtaining a differential equation with complex coefficients from Integro-differential equations obtained in an elliptic coordinate system, and for comparative evaluation of analytical solutions obtained under the

action of periodic external forces with solutions obtained for classical nuclei, the "spectral method" ot-F4-04 was developed at Urgench State University in 2017-2020.(05 applications to the solution of matrix nonlinear evolutionary equations, cardiovascular system biomechanics of the vascular system". (As of April 6, 2023) 01-01/14-11/653- numerical reference). The result made it possible to carry out a comparative assessment of the oscillation amplitudes in both elastic and viscoelastic media.

from the algorithm for finding specific numbers and vibrational forms, Tashkent Institute of Chemical Technology in a fundamental project on the topic "Development and development of the theory of nonlinear dynamic stress-strain states of curved sections of multilayer composite pipes flowing with a viscous liquid under the influence of temperature and dynamic loads", carried out in 2016-2020. Within the framework of the state scientific and technical program (Reference 1/01-2930 of October 17, 2023) is used. The result was the ability of pipes with a non-circular cross-section to reduce maximum stresses by up to 15%.

Publication of research results. In total, 36 scientific works were published on the topic of the dissertation, including 11 articles in scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of Doctor of Philosophy (PhD) dissertations, of which 1 in the republican and 10 articles in international journals.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and an appendix. The total volume of the dissertation is 116 pages.

E'LON QILINGAN I SHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; part I)

1.Umarov Aloviddin Ochilovich. Vibrations of a cylindrical body in a viscoelastic medium // International Scientific journal. Theoretical & Applied Science. p-ISSN: 2308-4944(print). <http://T-Science.org> USA.– 2023. –P.352-356.(IF=1,5).

2. Сафаров И.И., Болтаев З.И., Умаров А.О. Вынужденные установившиеся колебания цилиндрических тел с внешним трением на границ // Узбекский журнал “Проблемы механики”. Ташкент. –2012. –№2. – С.79-83. (01.00.00.№4).

3. Safarov I.I., Umarov A.O., Rustamova L.A. Fluctuations of Cylindrical shells when exposed internal unsteady load // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). ISSN:3159-0040. Vol. 2. Issue 7, July 2015. –P.1663-1672.(IF=2,27).

4. Safarov I.I., Umarov A.O., Axmedov M.SH., Ashurova U.D. Linear of Viscoelastic Oscillations of Mechanical Sitemes with a Finite Number of Degress of Freedom // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). Vol.2. Issue 5, may.–2015. –P.881-883.(IF=2.27).

5. Ruziyev T.R., Umarov A.O., Nuriddinov B.Z., Khojiyev A.Kh. About distribution natural waves in dissipative inhomogeneous flat bodies // Diskovery 54 (270), June 1, 2018. ISSN 2278-5460. e-ISSN 2278-5450.–P.235-244. (IF=0.428).

6. Kuldashov N.U., Akhmedov M.Sh., Ruziyev T.R., Umarov A.O. Bending Vibrations Polymeric of Variable Section with Interference inside the Liquid // WWJMRD 2018; 4(2): 72-74. www.wwjmr.com International journal Peer Reviewed Journal Refereed Journal Indexed Journal UGC Approved Journal Impact Factor MJIF:4.25 e-ISSN 2454-6615; –P.72-74. (IF=4.25).

7. Akhmedov M.Sh., Ruziyev T.R., Umarov A.O., Atoyev A.B. Spatial Oscillations Varied Viscoelastic Pipeline under AC Varied Internal Pressure // WWJMRD 2018; 4(2): 75-79. www.wwjmr.com International journal Peer Reviewed Journal Refereed Journal Indexed Journal UGC Approved Journal Impact Factor MJIF:4.25 e-ISSN 2454-6615; –P.75-79. (IF=4.25).

8. Umarov A.O., Rustamova L.A. Distribution of Natural Wave of the Cylindrical Bodu in a State Of Tension // World Wide journal of Multidisciplinaru research and Developoment. WWJMRD 2019; 5(6):29-35. www.wwjmr.com International Journal,Peer Reviewed Journal, Refereed Journal, Impact Factor MJIF:4.25.E-ISSN 2454-6615; –P. 29-35. (IF=4.25).

9. А.О. Умаров. О классификации интегро-дифференциальных уравнений нецелых порядков и существующих методов их решения // ISSN 2414-5718 (Print) ISSN 2541-7789(Online) Наука и образование сегодня № 5 (64),2021 Москва 2021. –С.12-13. (IF=0.661).

10. Umarov A.O., Jurayev U.SH., Zhuraev T.O., Khamidov F.F., Kalandarov N.. Seismic vibration of spherical bodies in a viscoelastic deformable medium // AIP Conference Proceedings 2432, 03012(2022): <https://doi.org/10.1063/5.0091187> Published Online: 16 June 2022.

11. Usmanov B.Sh., Safarov I.I., Teshayev M.Kh., Umarov A.O., Kurbonova X. On the propagation of intrinsic viscoelastic waves in a cylindrical shell // Journal of Physics: Conference Series. –2022. –P.1-5.

II bo‘lim (II часть; part II)

12. Ismoil Safarov, Maksud Akhmedov, Alouddin Umarov. (Monografiya). “Own vibrations of toroidal shell with flowing liquid.” LAMBERT Academic Publishing. Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved/ Saarbrücken 2017.

13. Сафаров И.И., А.О.Умаров. Воздействие продольных и поперечных волн на цилиндрические слон с жидкостью // Вестник Пермского университета, 2014. Математика. Механика. Информатика. –Вып.–3(26).–С.69-75.

14. И.И.Сафаров., М.Ш.Ахмедов., А.О.Умаров “Собственные линейные колебания цилиндрической оболочки в упругой среде.” Вестник пермского университета 2015.Математика Механика Информатика.–Вып.3(30).–С.40-45.

15. И.И.Сафаров, Н.Н.Авлякулов, А.О.Умаров, О.Ахмедов Нестационарная дифракция сейсмических волн на подземном двухниточном трубопроводе // Сборник трудов Международной научно-практической конференции “Проблемы интенсификации интеграции науки и производства”. Бухара-2006. –С.131-133.

16. И.И.Сафаров, Р.Мухитдинов, А.Умаров. О распространении и дисперсии волн в скважине // Сборник научных трудов. Республиканский научно-практическая конференции 18-19 мая 2007 год. Г.Джизак. –С.47-53.

17. А.О.Умаров. “Воздействие сейсмических волн на подземные цилиндрические сооружения в деформируемой среде”. “Юқори технологияларга асосланган техник ва технологик жараёнларни моделлаштиришнинг замонавий муаммолари” (“Олий математика” кафедраси ташкил этилганлигининг 50 йиллигига бағишланади) мавзусида республика илмий – амалий анжумани. 26-28 ноябрь Бухара 2013. –8-11 б.

18. А.О.Умаров. “Математическое моделирование динамического напряженного состояния вблизи поверхности отверстия от плоской волны.” “Юқори технологияларга асосланган техник ва технологик жараёнларни моделлаштиришнинг замонавий муаммолари” (“Олий математика” кафедраси ташкил этилганлигининг 50 йиллигига бағишланади) мавзусида республика илмий – амалий анжумани . 26-28 ноябрь. Бухара 2013. –81-83 б.

19. И.И.Сафаров, А.О.Умаров. «Цилиндрик жисмга эластик тўлқиннинг дифракцияси». “Юқори технологияларга асосланган техник ва технологик жараёнларни моделлаштиришнинг замонавий муаммолари” (“Олий математика” кафедраси ташкил этилганлигининг 50 йиллигига бағишланади)

мавзусида республика илмий – амалий анжумани . 26-28 ноябрь. Бухоро 2013йил 33-35 б.

20. О.К.Солиева, А.О.Умаров. “Математическое моделирование взаимодействие трубопровода и сейсмической волны при наличии трения на границе контакта”. “Юкори технологияларга асосланган техник ва технологик жараёнларни моделлаштиришнинг замонавий муаммолари” (“Олий математика” кафердаси ташкил этилганлигининг 50 йиллигига бағишланади) мавзусида республика илмий-амалий анжумани материалларига илова Бухоро 2013 й. 26-28 ноябр 74-75 б.

21. И.И.Сафаров, Х.Б.Исмаилов, А.О.Умаров. “О современных осесимметричных колебаниях цилиндрической оболочки и жидкости.” Материалы XVIII международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам. ВМСППС. 2013. 22-31 мая.–2013.–С.422-424.

22. И.И.Сафаров, М.Ш.Ахмедов, А.О.Умаров. “Динамические напряжения и смещения вблизи цилиндрической подкрепленной полости от плоской гармонической волны.” VIII Международная научно-практическая конференция: «Научное обозрение физико-технических наук в XXI веке» (Россия, г.Москва, 29-0.08.2014).–С.57-61.

23. А.О.Умаров. “Дифракция гармонических волн на двух ниточного трубопровода с жидкостью.” Западно-Сибирский научный центр. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. «Современные тенденции развития науки и производства» 23-24 октября,2014. Том II г.Кемерово .–С.119-122

24. А.О.Умаров., З.Х.Хамраева. “Решение дифференциального уравнения изгибных колебаний кольца с учетом сил инерции”. Бухоро муҳандислик-технология институти “Бухоро худудий электр тармоқлари” ОАЖ Замонавий ишлаб чиқаришни энергия таъминоти илмий муаммолари Республика илмий-амалий анжуманининг II том материаллари тўплами 2014 йил,26-28 ноябр 23-25 б.

25. З.И.Болтаев., А.О.Умаров. “Математическое моделирование распространения гармонических волн в пластине переменной толщины.” Техника ва технологияларни ривожланиши истиқболлий йўналишлари” мавзусида “Соғлом бола йили”га бағишланган профессор – ўқитувчилар, катта илмий ходим-изланувчилар ва магистрлар илмий-амалий анжумани материаллари (2014 йил 28-30 апрел). Бухоро–2014йил 255-257 б.

26. Болтаев З.И., Жураев Ш.И., Умаров.А.О. “Динамических характеристик диссипативных механической систем о конечным числом степеней свободы.” Тезисы докладов IV международного научного семинара «Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы». 15-19 февраля.–2016. –С.34-36.

27. Сафаров.И.И., Ахмедов.М.Ш., Умаров.А.О. “Динамические эффекты, связанные со структурной неоднородностью конструкций.” “Современные тенденции развития науки и технологий”. –2016. –№ 1-2 по

материалам X Международной научно-практической конференции. Белгород–2016.–С.63-65.

28. Исматов Х.Б., Умаров А.О. “Составление мат.модель дизаксиального движения кривошипно-ползунного механизма а алгоритм решения.” Бухоро муҳандислик-технология институти. Олий ва ўрта махсус, касб таълими муассасалари хамкорлигининг долзарб муаммолари. II Республика илмий-амалий анжуманининг материаллар туплами. –2016 йил. 20-21 май. Бухоро нашриёти. –668-671 б.

29. M.Sh. Akhmedov, A.O.Umarov. “Mathematical simulation of cylindrical bodies, with environment.” Международная научно-практическая конференция. Актуальные вопросы развития. территорий: теоритические и прикладные аспекты. Пермь 2016. –С.7-8.

30. З.И. Болтаев, А.О.Умаров. “Линейные крутильные колебания вязкоупругой системы оболочка-вязкая жидкость.” O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi. Toshkent kimyo-texnologiya instituti Tabiiy fanlarni fundamental va amaliy muammolari Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari. 23 oktyabr.–2019 yil 167-173 б.

31. Умаров А.О., Ахмедов М.А. “Колебания тонких цилиндрических оболочек с идеальной жидкостью.” O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi.Toshkent kimyo-texnologiya institute.Tabiiy fanlarni fundamental va amaliy muammolari Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari. 23 oktyabr. –2019 yil 318-322 б.

32. А.О.Умаров, А.Х.Хожиев. “Задачи действие подвижных нагрузок на неподкреплённый тоннель.” O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi.Toshkent kimyo-texnologiya instituti. Tabiiy fanlarni fundamental va amaliy muammolari Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari 23oktyabr. –2019 yil 322-327 б.

33. Х.Б.Исматов, А.О.Умаров. “Анализ устойчивости колебательных систем с критериями столоты и гурвица.” “Ёшларни қўллаб-қувватлаш ва аҳоли саломатлигини мустаҳкамлаш йили” га бағишланган прафессор-ўқитувчилар, илмий изланувчилар, магистрлар ва талабаларнинг илмий-амалий анжумани. езислар тўплами(2021 йил 28-29 май)Бухоро–2021. 212-б.

34.У.Жураев, А.О.Умаров, А.Рузимов. «Воздействие нестационарных упругих волн в цилиндрических телах.» Proceedins of the XXII international conference on computational mtchanics and modern applied software sustems. 4-13 September, 2021. Alushta, Crimea. –С.208-210.

35. Х.Б.Исматов., А.О.Умаров., У.Д.Ашурова. “Действие подвижных нестационарных нагрузок на неподкреплённый тоннель.” Ташкентский химико-технологический институт материалы. Республиканская научно-практическая конференция.Проблемы практические задачи механики и математики. 26-28 мая,2022 г. Ташкент 2022.–С.56-60.

36.Ш.И.Жураев.,А.О.Умаров.” Собственные и вынужденные колебания деформируемых систем.” Вестник научных конференций. –2022. –№7-1 (83) Актуальные вопросы образования и науки.31 июля 2022 г.–С.39-42.

Avtoreferat “Durdona” nashriyotida tahrirdan o‘tkazildi hamda o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarning mosligi tekshirildi.

Bosishga ruxsat etildi: 04.01.2024 yil. Bichimi 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman» garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,7. Adadi: 100 nusxa. Buyurtma №9.

Guvohnoma AI №178. 08.12.2010.
“Sadriiddin Salim Buxoriy” MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Buxoro shahri, M.Iqbol ko‘chasi, 11-uy. Tel.: 65 221-26-45

