

BUXORO MUHANDISLIK - TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH ASOSIDA
TUZILGAN BIR MARTALIK ILMIY KENGASH

BUXORO MUHANDISLIK – TEXNOLOGIYA INSTITUTI

SAFAROV UCHQUN ISROILOVICH

QOVUSHOQ – ELASTIK MUXITDA JOYLASHGAN TO‘LDIRUVCHILI
SILINDRIK QOBIQDA GARMONIK TO‘LQINLAR TA’SIRDAN HOSIL
BO‘LGAN KUCHLANISHLAR – DEFORMATSIYA HOLATI
XUSUSIYATLARI

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI

Buxoro - 2024

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on Technical
Sciences**

Safarov Uchqun Isroilovich

Qovushoq - elastik muxitda joylashgan to'ldiruvchili silindrik qobiqda garmonik to'lqinlar ta'sirdan hosil bo'lgan kuchlanishlar - deformatsiya holati xususiyatlari.....3

Сафаров Учкун Исроилович

Свойства напряженно - деформированного состояния цилиндрической оболочки с заполнителем, находящегося в вязкоупругой среде, возникающего под действием гармонических волн.....19

Safarov Uchqun Isroilovich

Properties of the stress-strain state of a cylindrical shell with filler, located in a viscoelastic medium, arising under the action of harmonic waves.....37

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published

works.....41

BUXORO MUHANDISLIK - TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH ASOSIDA
TUZILGAN BIR MARTALIK ILMIY KENGASH

BUXORO MUHANDISLIK – TEXNOLOGIYA INSTITUTI

SAFAROV UCHQUN ISROILOVICH

QOVUSHOQ – ELASTIK MUHITDA JOYLASHGAN TO‘LDIRUVCHILI
SILINDRIK QOBIQDA GARMONIK TO‘LQINLAR TA’SIRDAN HOSIL
BO‘LGAN KUCHLANISHLAR – DEFORMATSIYA HOLATI
XUSUSIYATLARI

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI

Buxoro - 2024

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.1.PhD/T3427 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Buxoro muhandislik - texnologiya institutida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar:	Raxmonov Baxodir Sobirovich Texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
Rasmiy opponenlar:	Mirzayev Ibraxim fizika-matematika fanlari doktori, professor Mavlonov To'lqin Mavlonovich Texnika fanlari doktori, professor
Yetakchi tashkilot:	Namangan muhandislik-qurilish instituti

Dissertatsiya himoyasi Buxoro muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 raqamli Ilmiy kengash asosida tuzilgan ilmiy kengashning 2024 yil «15» aprel soat 10:00 dagi 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 tanishish mumkin (№ 461 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: (200100, Buxoro shahri, Q.Murtazoyev ko'chasi, 15. Tel.: (+99895) 604-44-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «29» mart kuni tarqatildi.
(2024 yil «23» fevraldagi № 1 raqamli reestr bayonnomasi).

M.X.Teshaev

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash raisi, f.-m.f.d. (DSc)

Z.I.Boltayev

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash kotibi, f.-m.f.d. (DSc)

M.Z.Sharipov

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik ilmiy kengash qoshidagi bir martalik ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d. prof.

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda jadal rivojlanayotgan texnika va texnologiyalar davrida, yer osti inshootlarini takomillashgan hisoblash usullarini ishlab chiqish yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida AQSh, Fransiya, Xitoy, Yaponiya, Rossiya Federatsiyasi va boshqa rivojlangan mamlakatlarda seysmik hududlarda yer osti tunnel inshootlarini zilzila yuklanishlariga bardosh beradigan, mustahkamligi yuqori bo‘lgan va tejamkorlikni ta‘minlovchi konstruksiyalarni joriy etishni taqazo etadi. Shu jihatdan yer osti quvurlari va kollektlaridagi buzilishlar, dinamik kuchlar va seysmik to‘lqinlar ta‘sirida binolar, to‘g‘onlar, ko‘priklar, yer osti inshootlarining talofat ko‘rishi yoki vayron bo‘lishini oldini olish, zilzilalar va kuchli portlashlar natijasida yuzaga keladigan to‘lqinlarni e‘tiborga olish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda yer osti inshootlari sohasida qo‘llaniladigan materiallarning, shu jumladan ko‘p qatlamli murakkab fizik xossalarga ega bo‘lgan va muhit bilan aloqada bo‘lgan kompozit materiallardan tayyorlangan silindrik va sferik qobiqlarning mustahkamligini tadqiq qilishga qaratilgan ilmiy - tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada silindrik va sferik ko‘rinishdagi to‘ldiruvchili qobiqlarning qovushoq - elastiklik xususiyatini hisobga olib, kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatini aniqlashning matematik modellarini va zamonaviy hisoblash usullarini takomillashtirishga yo‘naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, ko‘p qatlamli to‘ldiruvchili kompozit silindrik qobiqlarda seysmik to‘lqin ta‘siri muammosining ilmiy asoslarini o‘rganish nazariyasini rivojlantirish, ilmiy asosini takomillashtirish, hisoblash usullarini ishlab chiqish uchun mazkur yo‘nalishlarda maqsadli ilmiy tadqiqotlarni amalga oshirishga alohida e‘tibor berilmoqda.

Respublikamizda qurilish va texnika sohasida turli dinamik yuklanishlar ta‘siri ostida bo‘lgan to‘ldiruvchili qovushoq - elastik silindrik qobiqlarning kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatini topish metodikasi va algoritmini yaratish hamda amaliyotga tadbiiq etish yuzasidan keng qamrovli chora - tadbirlari 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 bo‘yicha muhim vazifalari belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, yer osti qurilish konstruksiyalarining mustahkamligi va raqobatbardoshligini ta‘minlash uchun takomillashtirilgan matematik modellarni, samarali hisoblash usullarini ishlab chiqish hozirgi zamon mexanikasida muhim ahamiyat kasb etmoqda.

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

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 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 me‘yoriy - huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishiga mosligi. Mazkur dissertatsiya O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining IV. “Matematika, mexanika va informatika” ustuvor yo‘nalishiga mos ravishda bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Ko‘p qatlamli suyuqlikli kompozit silindrik qobiqlarga seysmik to‘lqin ta‘siri masalalari ilmiy nuqtai - nazardan quyidagi taniqli chet el olimlari tomonidan o‘rganilgan: Ilyushin A.A., Gorshkov A.G., Volmir A.S., Genkin M.D., Shemyakin Ye.I., Guz A.N., Uayt, Axenbax J.D., Troyanovskiy I.E., Kiyko I.A., Novichkov Yu.I., Slepyan L.I., Frolov K.V., Matveenkov V.P., Shardakov I.N va boshqalar.

Bu muammoni yechishda O‘zbekiston olimlari Urazbayev M.T., Shirinqulov T.Sh., Raxmatulin X.A., Kabulov V.K., Rashidov T.R., Muborakov Ya.N., Mardonov B.M., Sultanov K.S., Mamatqulov Sh.M., Mirsaidov M.M., Badalov F.B., Xojmetov G.X., Ishanxodjeyev A.A., Mavlonov T.M., Abdusattorov A.A., Safarov I.I., Xudaynazarov X.X., Yuldashev Sh.S., Abduqodirov S.A. va boshqalar o‘z hissalarini qo‘shib, ko‘ndalang kesimi o‘zgarimas (yoki ba‘zi bir xususiy hollarda o‘zgaruvchan) bo‘lgan hollarda materialning reologik xususiyatlarini hisobga olib silindrik va sferik jismlarning dinamik xususiyatlarini xarakterlovchi parametrlarni hisoblash usullarini rivojlantirishgan. Yuqoridagilarga qaramay hozirgi vaqtda o‘z yechimini topmagan bir qator muammolar mavjud. Dissipativ bir jinsli bo‘lmagan to‘lqin o‘tkazgichlardagi dinamik jarayonlarni o‘rganish deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar dinamikasini nazariy jihatdan qanchalik ko‘p boyitsa, uning energiya dissipatsiyasi bilan bog‘liq bo‘lgan yangi natijalari muhim amaliy ahamiyatga ega bo‘lgan ko‘pgina muammolarni yechishga imkon yaratadi.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasining ilmiy - tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqot ishlari Buxoro muhandislik - texnologiya institutining F-4-04 “Dinamik yuklanishlar ta‘siridagi suyuqlik oquvchi yupqa devorli yer osti quvurning egri uchastkalarining dinamik kuchlanish-deformatsiya holatini tadqiq qilish metodlarini ishlab chiqish va nazariyasini rivojlantirish” ilmiy - texnologik rejasiga muvofiq holda bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Qovushoq - elastik yarim tekislikda joylashgan to‘ldiruvchili silindrik qobiqqa garmonik va noturg‘un to‘lqin yuklanishi

masalasini matematik qo'yilishi, yechish metodikasi va algoritmlarini ishlab chiqish hamda sonli natijalar olish va olingan natijalarni tajriba natijalari bilan solishtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

qovushoq - elastik yarim tekislikda joylashgan to'ldiruvchili silindrik qobiqqa garmonik to'lqinlar (tekis va silindrik) ta'sirida hosil bo'ladigan dinamik kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatini topish masalasining matematik qo'yilishi, yechish usuli va algoritimini ishlab chiqish;

suyuqlikli qovushoq - elastik silindrik qobiqqa garmonik to'lqin yuklanishi natijasida kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatiga solishtirma baho berish;

to'ldiruvchili silindrik qobiqning zo'riqlariga Kirxgof-Lyav va Timoshenko gipotezalari qo'llanishiga solishtirma baho berish;

to'ldiruvchili silindrik qobiqqa noturg'un to'lqin yuklanganda kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatiga solishtirma baho berish.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida qovushoq-elastik muhitda joylashgan to'ldiruvchili (suyuqlikli yoki qovushoq elastik muhit) silindrik qobiq olingan.

Tadqiqotning predmetini uzun, to'ldiruvchili silindrik qobiqqa bo'ylama (yoki ko'ndalang) to'lqin yuklanishi va difraksiyasi xususiyatlarini hisobga olgan holda qovushoq - elastiklik nazariyasi masalalarini yechish usullarini rivojlantirish tashkil etadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasining xususiy hosilali integro-differensial tenglamalarni yechish uchun matematik fizika va mexanika fanining usullaridan foydalanilgan (kompleks argumentli Bessel va Xankelning maxsus funksiyalari, Gauss, Myuller va mexanikaning kompleks amplituda usullari).

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

qovushoq - elastik yarim fazoda joylashgan to'ldiruvchili silindrik qobiqda garmonik to'lqinlar (tekis va silindrik) ta'sirida hosil bo'ladigan dinamik kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatini topish masalasi matematik qo'yildi, yechish metodikasi va algoritmi kompleks argumentli Bessel va Xankelning maxsus funksiyalari, Gauss, Myuller usullariga asoslanib ishlab chiqilgan;

material qovushoqligi va qaytgan seysmik to'lqinlarni hisobga olib, ular ta'sirda hosil bo'ladigan kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini analitik ko'rinishdagi ifodalari topildi, Rjanitsin-Koltunov va Rabotnov yadrolari bo'yicha kontur kuchlanishlar uzun to'lqin sohasidagi 5-8% ga kamaytirishi, materiallarning qovushoqlik xossalarini hisobga olish ko'chish va kuchlanishlarning 10-15 % ga kamaytirishi aniqlangan;

qovushoq-elastik yarim fazoda joylashgan to'ldiruvchili silindrik qobiqning statsionar masalalarini yechishda irsiy Bolsman-Voltera integrali o'rniga muhandislar uchun sodda va qulay bo'lgan umumlashgan Kelvin-Foygt modelini qo'llash mumkinligi bu masalalarni yechishda turli klassik modellarni qo'llash asosida ko'rsatilgan;

yarim deformatsiyalanuvchi fazodagi silindrik qobiqlarga hajmiy bo‘ylama va ko‘ndalang to‘lqin ta‘sirida hosil bo‘ladigan kuchlanishlar materiallarning qovushoqligi va qaytgan seysmik to‘lqinlarni hisobga olish asosida aniqlandi;

seismo-portlash to‘lqinlari ta‘sirida dala sharoitida amalga oshirilgan tajribalarda olingan kuchlanishlar va deformatsiya masofa (portlovchi modda va qobiq orasi)ning kichik (100m kam) qiymatlarida katta (46%) xatoliklarga, katta masofalarda esa 15% gacha xatoliklarga olib kelishi dala tajriba natijalari va nazariy analitik natijalar asosida aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

ko‘p qatlamli suyuqlikli kompozit silindrik qobiqlarga seysmik to‘lqin yuklanishi oqibatida hosil bo‘ladigan kuchlanishlar va deformatsiya holati uchun silindrik jismlar mustahkamligini hisoblash usullari ishlab chiqilgan;

ko‘p qatlamli suyuqlikli kompozit silindrik qobiqlarga seysmik spektral masalada kompleks chastotalarni chekli sondagi moddalarini topish muammosi hal qilingan;

ko‘p qatlamli suyuqlikli kompozit silindrik qobiqlarga seysmik bo‘ylama va ko‘ndalang yuklanish ostidagi deformatsiyalanuvchi muhit va silindrik qobiq bilan himoyalangan silindrik bo‘shliqdagi kuchlanishlar taqsimoti aniqlangan.

Tadqiqot natijalarning ishonchliligi. Chegaraviy va spektral masalaning qo‘yilishi, keltirib chiqarilgan matematik munosabatlarning qat‘iyligi asosida yechish usullaridan foydalanish va boshqa olimlarning olgan yechimlari bilan taqqoslashlar orqali asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarning ilmiy ahamiyati elastik muhitda joylashgan aniq parametrlarga ega bo‘lgan, quvur o‘tkazgichlarda to‘lqin yuklanishi va difraksiyasi nazariyasining rivojlanishiga salmoqli hissa qo‘shish bilan izohlanadi.

Tadqiqot ishining amaliy ahamiyati elastik muhitda joylashgan aniq parametrlarga ega bo‘lgan, quvur o‘tkazgichlarda to‘lqin yuklanishi oqibatida hosil bo‘ladigan kuchlanishlar va deformatsiya holatining yangi qonuniyatlarini o‘rganish imkoniyatining paydo bo‘lishi, chegaraviy va spektral masalada kompleks chastotalarning chekli sondagi moddalarini topish muammosini hal qilinishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Qovushoq – elastik muhitda joylashgan to‘ldiruvchili silindrik qobiqqa garmonik to‘lqinlar ta‘siridan hosil bo‘lgan kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holati xususiyatlarini tadqiq qilish bo‘yicha olingan natijalar asosida:

eng kichik xususiy chastotani aniqlashning asimptotik formulasidan hamda asosiy xususiy chastotani aniqlashning nazariy-tajribaviy formulasidan Buxoro muhandislik–texnologiya institutida 2012-2016 yillarda bajarilgan F-4-14 raqamli “Suyuqlik oquvchi yer osti egri chiziqli quvurning tashqi kuchlari ta‘siridagi kuchlanish-deformatsiyalar holatini tadqiq qilish nazariyasini rivojlantirish va hisoblab chiqish” mavzusidagi fundamental loyiha doirasida foydalanilgan (Buxoro muhandislik-texnologiya institutining 2023 yil 24 fevraldagi № 02/01-86-403-son ma’lumotnomasi). Natijada bu suyuqlik oquvchi qovushoq elastik egri

chiziqli quvurning eng kichik xususiy chastotasini va asosiy xususiy chastotani aniqlashga hamda ularga mos keluvchi tebranish formalarini aniqlash imkonini bergan;

manbadan tarqaluvchi seysmik to'liqin egriligini hisobga olgan holda vibratsion yuklanish natijasida hosil bo'ladigan kuchlanish va deformatsiyani topish metodikasidan Toshkent kimyo-texnologiya institutida 2016-2020 yillarda bajarilgan OT-F4-01 "Qovushqoq suyuqlik oquvchi ko'p qatlamli kompozit quvurlar egri chiziqli bo'laklarining harorat va dinamik yuklanishlar ta'sirida chiziqli bo'lmagan dinamik kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini o'rganish usullarini ishlab chiqish va nazariyasini rivojlantirish" mavzusidagi fundamental loyiha doirasida foydalanilgan (Toshkent kimyo-texnologiya institutining 2023 yil 11 martdagi № 1/01-831-sonli ma'lumotnomasi). Natijada qovushqoq suyuqlik oquvchi ko'p qatlamli kompozit quvurlar egri chiziqli bo'laklarining harorat va dinamik yuklanishlar ta'sirida chiziqli bo'lmagan dinamik kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini toppish imkonini bergan;

seysmik to'liqinlarning bo'ylama va ko'ndalang uzunliklarini hisoblashda dissertatsiyada taqdim qilingan hisoblash usullaridan "Qishloqquretilishloyiha" MChJ, "Uzjamoaloyiha" MChJ, "Buxoro eksperimental loyihalash ilmiy tekshirish instituti" MChJ va "Qurilishloyiha" MChJlarda foydalanilgan (O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2023 yil 9 noyabrdagi № 08-06/11700-sonli ma'lumotnomasi). Natijada ko'ndalang va bo'ylama to'liqinlar yuklanganda silindrik qatlamdagi kuchlanishlar orasidagi farq 16-22 % bo'lishi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 6 ta respublika va 2 ta xalqaro ilmiy - amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari quyidagi ilmiy seminarlarda ma'ruza qilindi va muhokama etildi: Buxoro muhandislik-texnologiya instituti (21 oktyabr 2023, Buxoro); Toshkent kimyo texnologiya instituti (12 iyun 2023, Toshkent), Navoiy davlat konchilik universiteti (11 noyabr 2023, Navoiy). Urganch davlat universiteti (25 dekabr 2023, Urganch)

Tadqiqot natijalarning e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 23 ta ilmiy ish chop etilgan, jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining fan doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqola, jumladan 3 tasi respublika va 4 tasi xorijiy ilmiy jurnallarida nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 114 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

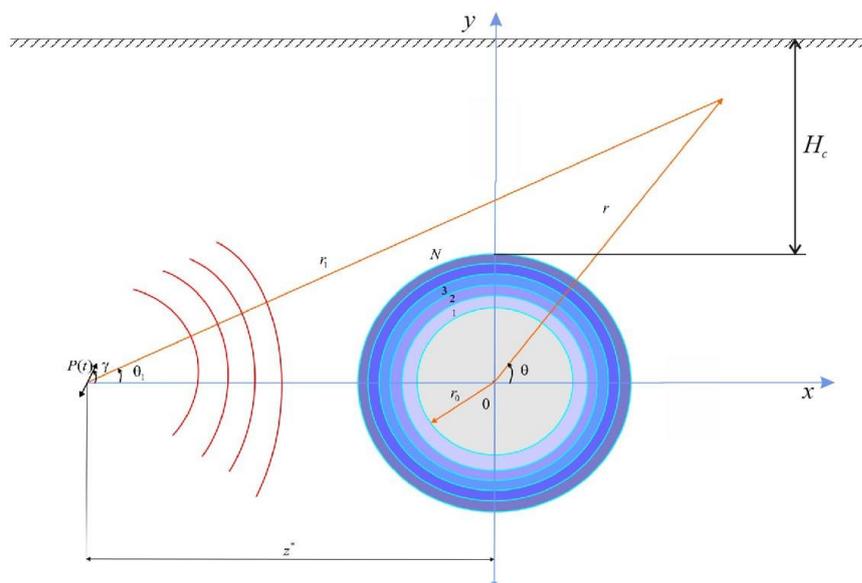
Kirish qismida dissertatsiya tadqiqotining dolzarbligi va zaruriyati asoslab berilgan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, ob'ekt va predmetlari shakllantirilgan. Tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan. Olingan natijalarning

ishonchliligi asoslangan, ularning ilmiy va amaliy ahamiyatlari yoritilgan. Tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi, ishning abrobatsiyasi, chop etilgan ishlar, dissertatsiya tuzilishi va hajmi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Qovushqoq-elastik muhitda joylashgan silindrik qobiqda seysmik (garmonik) to'lqinlar ta'sirdan hosil bo'lgan kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini 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. Bu bob uch paragrafdan iborat. Birinchi paragrafi “Elastik muhitda joylashgan silindrik qobiqlarga to'lqin yuklanishi va difraksiyasini o'rganishga bag'ishlangan adabiyotlar tahlili” deb nomlanadi. Unda seysmik zonada gruntli muhitda joylashgan silindrsimon qobiqlar, quvur o'tkazgichlarining tuzilmalari, metro tunnellari, gaz omborlari va boshqa yer osti inshootlarini zilzila bardoshliligini o'rganishga bag'ishlangan adabiyotlar tahlili qisqacha keltirilgan. Bu bobning ikkinchi paragrafi “Quvur o'tkazgichlarni loyihalashda seysmik ta'sirlarni modellashtirish orqali hisobga olish” deb nomlangan. Seysmik hududlarda quvurlarni loyihalashning asosiy maqsadi zilzila zo'riqishlariga bardosh beradigan, xavfsiz va tejamkor bo'lgan va shu bilan birga boshqa tabiiy va texnogen xavf-xatarlarga qarshi kurashda qo'llaniladigan yechimlarga mos keladigan konstruksion yechimlarni ishlab chiqishga bag'ishlangan adabiyotlar tahlili keltirilgan. Uchinchi paragraf “Yupqa yotqizilgan tunnelling seysmik hisobi” deb nomlanadi. Unda seysmik yuklanishlarning yupqa devorli tunnelling hisoblashga bag'ishlangan adabiyotlar tahlil etilgan. Ularni hisoblashda fazoviy holatini hisobga olish va hisoblash usullarini takomillashtirish zarurligi ko'rsatib o'tilgan.

Dissertatsiyaning **“Seysmik to'lqin ta'sirida qovushqoq-elastik muhitdagi ko'p qatlamli silindrik qobiqning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holati masalasining qo'yilishi, yechish metodikasi va algoritmi”** deb nomlangan ikkinchi bobida masalalarning matematik qo'yilishi va yechish metodikasi keltirilgan. Bu bobda seysmik to'lqin ta'siridagi qovushqoq elastik muhitdagi silindrik qobiqning kuchlanganlik-deformatsiya holatini topish va tahlil qilish muammosini qo'yilishi ko'rib chiqilgan.

Yupqa silindrik qobiqlar uchun Kirxgof-Lyav gipotezasi yoki Timoshenko S.P. gipotezasi o'rinli bo'ladi. Qobiqning harakat differensial tenglamasi, qalin silindrlar uchun deformatsiyalanuvchan jismlar mexikasining qovushqoq - elastiklik nazariyasining tenglamalaridan foydalanildi. U holda ko'p qatlamli qobiq (yoki qalin devorli silindr)lardan tashkil topgan mexanik sistemaning harakat tenglamalari quyidagicha bo'ladi.



1-rasm. Deformatsiyalanuvchi muhitda joylashgan ko‘p qatlamli silindrik qobiqqa to‘lqin yuklanishining hisob sxemasi

$$(\tilde{\lambda}_j + 2\tilde{\mu}_j) \text{grad div } \vec{u}_j - \tilde{\mu} \text{rot rot } \vec{u}_j + \vec{b}_j = \rho_j \frac{\partial^2 \vec{u}_j}{\partial t^2}, \quad (j=1, 2, \dots, N). \quad (1)$$

Agar mexanik sistema silindrik qobiqlardan tashkil topgan bo‘lsa, u holda uning harakat differensial tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$L\tilde{E}\vec{u} = \frac{(1-\nu_0^2)}{E_0 h_0} \vec{p} + \rho_0 \frac{(1-\nu_0^2)}{E_0} \left(\frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} \right), \quad (k=1, 3, \dots, N-1), \quad (2)$$

$$\Delta \phi_0 - \frac{1}{c_\infty^2} \ddot{\phi}_0 = 0. \quad (3)$$

Agar silindrik qatlam qovushoq suyuqlik bilan to‘ldirilgan bo‘lsa, u holda Nave-Stoks tenglamasidan foydalaniladi. Suyuqlik zarralarini harakati uchun quyidagi munosabat olingan

$$\vec{g} = \frac{\partial}{\partial t} \left[\vec{\nabla} \psi + \vec{\nabla} \times \vec{e}_3 \chi_1 + \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{e}_3 \chi_2) \right];$$

$$p = \rho_0 \left(\frac{\lambda_1 + 2\mu}{\rho_0} \Delta - \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial}{\partial t} \psi; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\rho_0}{c_0^2} \left(\frac{\lambda_1 + 2\mu}{\rho_0} \Delta - \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial}{\partial t} \psi. \quad (4)$$

Bu yerda $\vec{g}_r(\vartheta_r, \vartheta_\theta, \vartheta_z)$ - suyuqlik zarrasining tezligi, r - silindrik qatlamni deformatsiyalanishi natijasida yuzaga keladigan tezlik parametri, μ - qovushoqlik koeffitsiyenti, $\lambda_1 = -\frac{2}{3}\mu$ - ikkinchi qovushoqlik koeffitsiyenti, ψ, χ_1, χ_2 - potensial funksiyalar quyidagi to‘lqin tenglamalarini qanoatlantiradi:

$$\left[\left(1 + \frac{\lambda_1 + 2\mu}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \psi = 0, \quad \left(\frac{\partial}{\partial t} - \nu \Delta \right) \chi_1 = 0; \quad \left(\frac{\partial}{\partial t} - \nu \Delta \right) \chi_2 = 0. \quad (5)$$

Agar silindrik inshoot qatlamlardan tashkil topgan bo‘lsa, u holda uning harakat tenglamalari (2) ko‘rinishda bo‘ladi. Quyidagicha kontakt va chegaraviy shartlar qo‘yiladi:

1. Agar silindrik jism qatlamlardan tashkil topgan bo'lsa, u holda uning harakat tenglamalari (1) ko'rinishda bo'ladi. Qatlamlar orasida qattiq mahkamlanganlik yoki sirpanuvchanlik sharti qo'yiladi

$$r = a_k: \quad \sigma_{rrk} = \sigma_{rr(k+1)}; \quad \sigma_{r\theta k} = \sigma_{r\theta(k+1)}; \quad \sigma_{rzk} = \sigma_{rz(k+1)}; \\ u_k = u_{k+1}; \quad \vartheta_k = \vartheta_{k+1}; \quad w_k = w_{k+1}. \quad (6)$$

2. Qatlamlar orasida sirpanuvchanlik sharti (qatlamlar orasida qarshilik bo'lmasa) qo'yiladi

$$r = a_k: \quad \sigma_{rrk} = \sigma_{rr(k+1)}; \quad \sigma_{r\theta k} = \sigma_{rzk} = 0; \\ \sigma_{r\theta(k+1)} = \sigma_{rz(k+1)} = 0; \quad w_k = w_{k+1}. \quad (7)$$

3. Agar $r = a_1$ birinchi qatlam suyuqliksiz yoki to'ldiruvchisiz bo'lsa, u holda kuchlanishlardan ozod bo'lish sharti qo'yiladi:

$$r=a_k: \quad \sigma_{rrN} = 0; \quad \sigma_{r\theta N} = 0; \quad \sigma_{rzn} = 0. \quad (8)$$

Agar inshootdan radial koordinata cheksizlikka intilsa, u holda bo'ylama va ko'ndalang to'lqin potentsiali Zommerfeldning yutilish shartini qanoatlantiradi

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r\varphi = const, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} r \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} - ik\varphi \right) = 0 \\ \lim_{r \rightarrow \infty} r\psi = const, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} r \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} - ik_2\psi \right) = 0 \quad (9)$$

Muhitda tarqalayotgan silindrik to'lqinlar tekis deformatsiya holati uchun quyidagicha bo'ladi

$$\varphi_N^{(p)} = \varphi_0 i\pi \sum_{n=1}^{\infty} [(-1)^n E_n J_n(\alpha_N r) H_n^{(1)}(\alpha_N z)] \cos n\theta e^{-i\omega t}. \quad (10)$$

To'ldiruvchili silindrik qobiq va uni o'rab turuvchi muhitning xususiy hosilali differensial tenglamasini ko'chish vektorini bo'ylama va ko'ndalang to'lqin potentsiallari orqali ifodalaymiz:

$$\vec{u}_j = \text{grad} \phi_j + \text{rot} \vec{\psi}_j, \quad \text{div} \vec{\psi}_j = 0. \quad (11)$$

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

$$\Gamma_{\lambda\mu\kappa} \nabla^2 \varphi_k - \frac{1}{c_{p0k}^2} \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial t^2} = 0; \quad \Gamma_{\mu\kappa} \nabla^2 \psi_z - \frac{1}{c_{s0k}^2} \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial t^2} = 0; \quad (12)$$

$$\varphi_j = \sum_{n=0}^{\infty} [A_{nj} H_n^{(1)}(\alpha_j r) + A'_{nj} H_n^{(2)}(\alpha_j r)] \cos n\theta e^{-i\omega t};$$

$$\psi_j = \sum_{n=0}^{\infty} [B_{nj} H_n^{(1)}(\beta_j r) + B'_{nj} H_n^{(2)}(\beta_j r)] \sin n\theta e^{-i\omega t}; \quad j = 1, 2, \dots, N-1$$

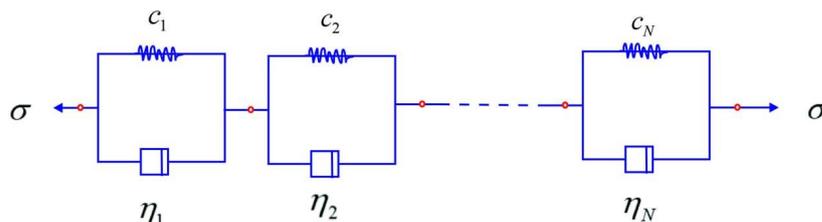
$$\varphi_N = \sum_{n=0}^{\infty} [C_{nN} H_n^{(1)}(\alpha_N r) + D_{nN} H_n^{(2)}(\alpha_N r)] \cos n\theta e^{-i\omega t}, \quad (13)$$

$$\psi_N = \sum_{n=0}^{\infty} [M_{nN} H_n^{(1)}(\beta_N r) + L_{nN} H_n^{(2)}(\beta_N r)] \sin n\theta e^{-i\omega t},$$

$$\varphi_0 = \sum_{n=0}^{\infty} [K_{n0} J_n(\alpha_0 r) + K'_{n0} N_n(\alpha_0 r)] \cos n\theta e^{-i\omega t},$$

bunda n - butun son; ω - erkin tebranish masalasi o'rganganda kompleks chastota, majburiy tebranish o'rganilganda haqiqiy kattalik deb olinadi, bunda $A_{nj}, A'_{nj}, B_{nj}, B'_{nj}, C_{nj}, D_{nj}, L_{nN}, M_{nN}, K_{nN}$ va K'_{nN} - ixtiyoriy o'zgarmas kattaliklar, bo'lib chegaraviy shartlardan topiladi; $H_n^{(1)}(\alpha_j r)$ va $H_n^{(2)}(\alpha_j r)$ - mos ravishda Bessel va Xankel funksiyalari. $H_n^{(1,2)}(\alpha r) = J_n(\alpha r) \pm iN_n(\alpha r)$. To'ldiruvchili silindrik qobiqqa kuchlanishlar va deformatsiya orasidagi munosabat Kelvin - Foygtning modeliga (2 rasm) asosan yozilsa quyidagicha bo'ladi

$$\sigma = E(\omega) = [E'(\omega) + iE''(\omega)]\varepsilon_0 \quad (13a)$$



2 rasm. Umumlashgan Kelvin – Foygt modeli

Rjanitsin-Koltunov yadrosi asosida va yuqorida keltirilgan umumlashgan Kelvin-Foygt modeli asosida olingan natijalar 2 rasmda keltirilgan. Agar muhitda tekis formadagi to'lqin tarqalsa, u holda kuchlanish amplitudasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi. Ixtiyoriy o'zgarmaslarni topish uchun chegaraviy shartlar (6) - (9) dan foydalansak bir jinsli bo'lmagan kompleks koeffitsiyentli algebraik tenglamalar sistemasini olamiz

$$[C_2(c_{pj}, c_{sj}, R_{Ej}, a_j)]\{q\} = \{P_1\}, \quad (14)$$

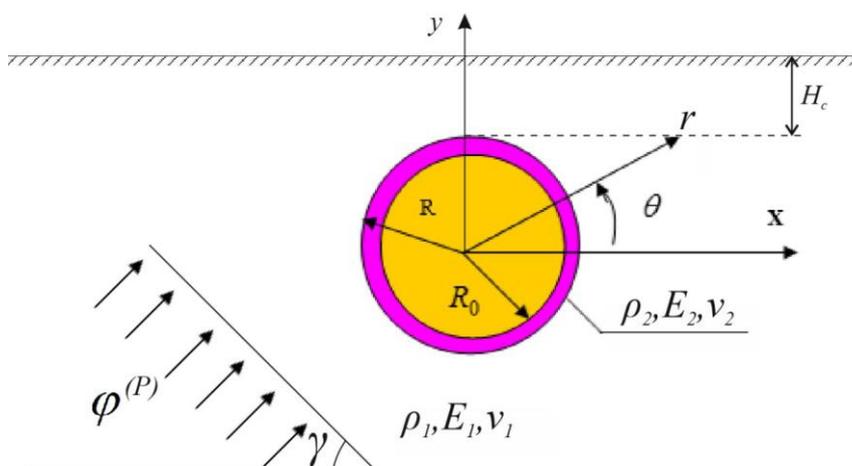
bunda $\{q\}$ -vektor ustun bo'lib, ixtiyoriy o'zgarmaslardan tashkil topgan; $\{R\}$ -tashqi tushadigan to'lqin ta'siridagi vektor; $[C_1]$ -kvadrat matritsa, elementlari Bessel va Xankel funksiyalaridan tashkil topgan. Kontur kuchlanishi $\sigma_{\theta\theta}$ ni hisoblash uchun

$$\sigma_{\theta\theta}|_{r=0} = (Re + iJ_m) e^{-i\omega r} = \sqrt{Re^2 + J_m^2} e^{-i(\omega r - \gamma)}, \quad \gamma = \arctg \frac{J_m}{Re} \quad (15)$$

Shunday qilib, ikkinchi bobda garmonik to'lqin yuklanishi (va difraksiyasi) masalalarini yechishda ko'chishlar orqali ifodalangan Lamé tenglamasidan foydalanib, ko'chish potensialari orqali ifodalangan xususiy hosilali integro-differensial tenglamalar sistemasi olindi va analitik yechimni Gauss, Laplas va maxsus funksiyalar usullari asosida olish metodikasi va algoritmi ishlab chiqilgan. To'ldiruvchili silindrik qobiqqa kuchlanishlar va deformatsiya orasidagi munosabat Kelvin-Foygtning modeliga asosan olindi.

Dissertatsiyaning **“To'ldiruvchili qovushqoq - elastik silindrik qobiqqa bo'ylama (yoki ko'ndalang) to'lqin yuklanishi va difraksiyasi”** deb nomlangan uchinchi bobida qovushqoq-elastik muhitda joylashgan to'ldiruvchili (yoki suyuqlikli silindrik) qobiqqa bo'ylama yoki ko'ndalang to'lqin yuklanishi va difraksiyasi masalasi yechiladi. Bu bob ikkita paragrafdan iborat. Birinchi paragrafda suyuqlikli silindrik qobiqqa bo'ylama (yoki ko'ndalang) to'lqin

yuklanishi o'rganilgan. Ikkinchi paragrafda sonli natijalar va ularning tahlili keltirilgan.



3– rasm. Suyuqlikli silindrik qobiq va unga tekis to‘lqin tushishining hisob sxemasi

Sonli natijalar 3.1 va 3.2-jadvalga keltirilgan ($D/\lambda = 0.25$). Natijalar o‘lchamsiz parametrlarda olingan.

3.1-jadval. Suyuqlikli qatlamda bo‘ylama to‘lqin ta‘siridagi radial kuchlanishning o‘zgarishi ($\theta = 90^0$)

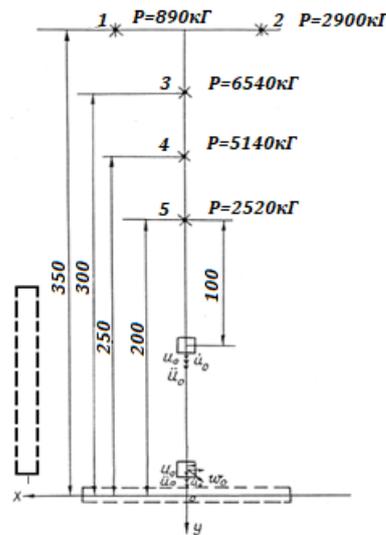
To‘lqin uzunligi (D/λ)	0.10	0.20	0.40	0.60	0.70
Bo‘sh qatlam σ_{rr} (elastik)	1.4423	1.6172	1.7511	1.6218	1.5550
Bo‘sh qatlam σ_{rr} (Rjanitsin – Koltunov yadrosi)	1.3362	1.4687	1.5985	1.4936	1.4068
Bo‘sh qatlam σ_{rr} (Rabotnov yadrosi)	1.2151	1.3407	1.4819	1.3367	1.2842
Suyuqlikli qatlam σ_{rr} (Rjanitsin – Koltunov yadrosi)	1.4535	1.7278	1.7421	1.6747	1.5885
Suyuqlikli qatlam σ_{rr} (Rabotnov yadrosi)	1.3743	1.6732	1.6862	1.5582	1.5183

3.2-jadval. Suyuqlikli qatlamda ko‘ndalang to‘lqin ta‘siridagi radial kuchlanishning o‘zgarishi ($\beta_1 R_1 = 0.45$)

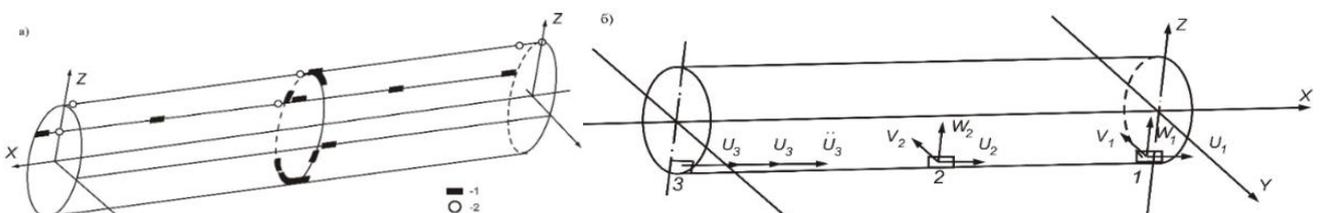
Burchak: θ	0^0	45^0	90^0	135^0	180^0
Bo‘sh qatlam σ_{rr} (elastik)	1.9531	1.9751	1.6521	1.9701	1.8847
Bo‘sh qatlam σ_{rr} (Rjanitsin – Koltunov yadrosi)	1.8483	1.8214	1.5397	1.8625	1.7065
Bo‘sh qatlam σ_{rr} (Rabotnov yadrosi)	1.7181	1.6942	1.4321	1.7322	1.5871
Suyuqlikli qatlam σ_{rr} (Rjanitsin – Koltunov yadrosi)	2.0483	2.9214	1.7397	2.9625	2.0886
Suyuqlikli qatlam σ_{rr} (Rabotnov yadrosi)	1.9054	2.7172	1.6120	2.7552	1.9424

Bo‘ylama to‘lqin yuklanishida maksimal radial kuchlanish, qatlamning $\theta = 90^\circ$ va 270° burchak nuqtalarida topildi. Xuddi shunday maksimal kuchlanish ko‘ndalang to‘lqin yuklanishida $\theta = 45^\circ$ va 135° burchaklarida erishadi. Materiallarning qovushoqlik xossalarini hisobga olish ko‘chish va kuchlanishlarni 10–15% kamaytirishga imkon beradi. Olingan natijalardan ko‘rinib turibdiki, qisqa to‘lqinlar sohasida rezonans hodisasiga o‘xshash holat yuz berishi mumkin ekan.

Dissertatsiyaning to‘rtinchi bobi “**Seysmik to‘lqinlar va ular ta’siridagi silindrik qobiqning kuchlanganlik – deformatsiyalanganlik holatining qiyosiy tahlili**” deb nomlanadi. **Portlash va statsionar to‘lqinlarning gruntnda tarqalishi va yer osti inshootlariga ta’siri** deb nomlangan paragrafda o‘tgan asrning 80-yillarida O‘zbekiston FA mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti olimlari tomonidan portlash to‘lqinlarini gruntnda tarqalish qonuniyatini o‘rganish hamda ularning yer osti inshootlariga ta’sirini tadqiq etish borasida akademik Ya.N. Muborakov rahbarligida asl naturaviy dala sharoitida tadqiqotlar o‘tkazilgan. Tajriba maydonida sinalgan yer osti yupqa devorli qobiqsimon silindrik inshootlar joylashishi hamda portlovchi moddalar joylashish nuqtalari 4-rasmda keltirilgan.



4 - rasm. Tajriba maydonida sinalayotgan yer osti inshootlari joylashishi hamda yer osti portlashlari amalga oshirilish nuqtalari sxematik ko‘rinishi



5 - rasm. Sinalayotgan inshootlarga tenzoelementlar va bosim datchiklari(a) hamda seysmopriyomniklarning (b) joylashishi sxemasi: 1- halqali va bo‘ylama deformatsiyani o‘lchash uchun mo‘ljallangan tenzoelementlar; 2- bosim datchigi.

Silindrik trubaning 1 va 2 nuqtalarida bo‘ylama, ko‘ndalang va vertikal ko‘chishlar, 3 nuqtasida esa bo‘ylama ko‘chish, tezlik va tezlanish kabi kinematik parametrlar qayd qilingan. Gruntning uch o‘q bo‘ylab fazoviy ko‘chishlari

seismometrlar yordamida bevosita sinalayotgan yer osti inshootlariga maksimal yaqin nuqtada, grunt sirtidan 1 m. chuqurlikda qayd qilingan. Sinalayotgan yupqa devorli qobiqsimon yer osti inshooti - truba yer sirtidan 5,0 m. chuqurlikka joylashtirilgan.

Ma'lumki, yer osti inshootlarini seysmik to'liqlar: bo'ylama va ko'ndalang to'liqlar ta'siriga izotrop muhitda o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda vujudga keladigan siqilish va siljish kuchlanishlari quyidagi tenglamalar yordamida hisoblash mumkin, ya'ni

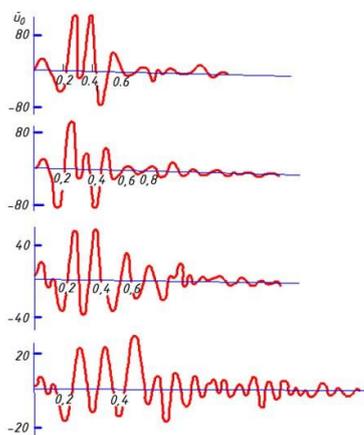
$$\sigma_y^{(x)} = \pm \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma C_p T_0; \quad \sigma_y^{(x)} = \frac{V_0}{1 - \nu_0} \sigma_x^{(x)}; \quad \tau_{xy}^{(x)} = \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma C_s T_0; \quad (16)$$

bu yerda A- me'yoriy hujjatlardan olinadigan seysmik ta'sir intensivligiga mos keluvchi koeffitsiyent; K_1 -inshoot shikastlanish darajasini hisobga oluvchi koeffitsiyent; γ -muhit grundi hajmiy og'irligi, T/m³; C_p - mazkur grunt bo'ylama to'liqlar tarqalish tezligi, m/sek; C_s -mazkur muhit gruntida ko'ndalang to'liqlar tarqalish tezligi, m/sek; T_0 - grunt zarralarining tebranma harakat davri, sek.; ν_0 - muhit grundi uchun Puasson koeffitsiyenti.

Asl naturaviy dala tajribalar natijalarini qayta ishlash natijasida Ya. N. Muborakov va uning o'quvchilari tomonidan quyidagi bog'lanish taklif etilgan:

$$\mathcal{G} = 325,24 R_{np}^{-1,45553} \quad \text{yoki} \quad \mathcal{G} = 325,24 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^{1,46} \quad (17)$$

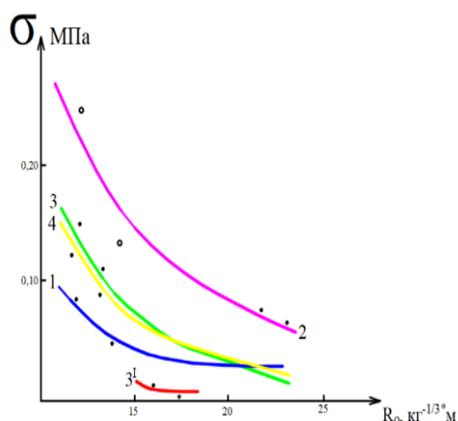
Bu to'liqin tarqalish tezligi bo'yicha olingan natijalar boshqa olimlarning natijalari bilan solishtirilgan. 6-rasmda grunt zarralarining ko'chishlar tezligini masofaga bog'liq o'zgarishi keltirilgan.



6-rasm. Turli keltirilgan masofalarda qayd qilingan grunt zarralari harakat tezliklari yozuvlari (kontrol nuqtasi, portlash nuqtasiga yaqin nuqta).

Shunday qilib, bu paragrafda muhit grunting seysmik - portlash to'liqlari ta'siridan harakatini ifodalovchi parametrlari tahlil qilindi.

Seysmik-portlash va statsionar to'liqlarning muhitga va yer osti inshootlarga ta'sirini nazariy-tajribaviy o'rganish. Shunday ishlardan biri asl naturaviy dala tajribalarida seysmik-portlash to'liqlari muhitda tarqalganda grunt vujudga keladigan kuchlanishlar tenzometrlar yordamida bevosita qayd qilinganligi keltirilgan.



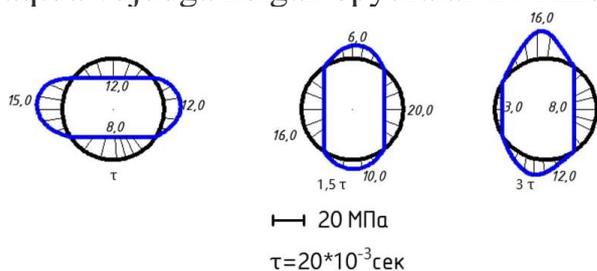
7-rasm. Gruntda seysmik - portlash to'liqlari tarqalganda muhitda vujudga keladigan kuchlanishning keltirilgan masofaga bog'liqligi: 1-Sh.G. Napedvaridze metodikasi asosida olib borilgan hisob natijalari asosida qurilgan grafik; 2-L.D. Landau formulasi asosida hisoblash asosida olingan grafik; 3-M. Saydimuratov tajribalari natijalari; 4-I. Ya. Dorman metodikasi asosida hisoblash natijalari.

Nazariy va tajribaviy olingan silindrik qobiqqa bo'ylama to'liqin ta'siridan inshootda vujudga keladigan kuchlanishlarni taqqoslash natijalari 4.3-jadvalda keltirilgan.

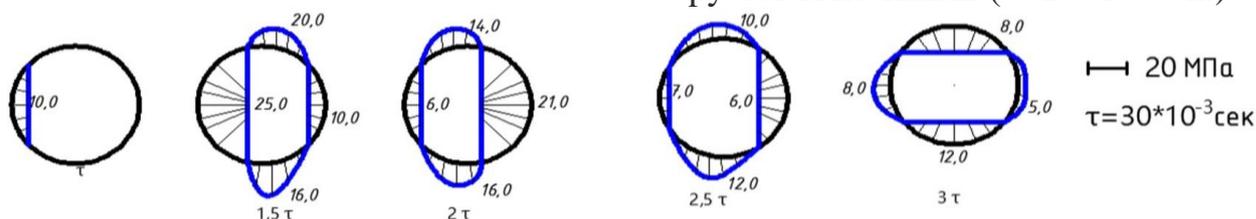
4.3-jadval

Kuchlanishlar	Eksperemental natijalar	Nazariy natijalar	Eksperemental natijalar	Nazariy natijalar
	$\theta = \pi / 4$	$\theta = \pi / 4$	$\theta = \pi / 2$	$\theta = \pi / 2$
$\sigma_{\theta} (MPa)$	-3.0121	-1.3986	-3.8901	-2.0274
$\sigma_r (MPa)$	0.3327	0.2931	0.4435	0.3387
$\tau (MPa)$	0.3473	0.2067	0.4573	0.2567

Quyidagi 8 va 9 - rasmlarda shunday natijalardan ayrimlari keltirilgan bo'lib, bu yerda tajribada seysmik - portlash to'liqlari ta'siridan sinalayotgan yer osti inshootida vujudga kelgan radial kuchlanishlar epyuralari bayon etilgan. Bu rasmda real vaqtda yozib olingan kuchlangan - zo'riqqan holatining $\tau = 20 \cdot 10^{-3}$ sek. vaqtda vujudga kelgan epyuralar ko'rinishi yoritilgan.



8-rasm. Turli masofalarda bo'ylama yo'nalishda amalga oshirilgan portlashlar seysmik - portlash to'liqlari ta'siridan silindrik qobiqsimon yer osti inshootlarida vujudga keladigan radial kuchlanish epyuralari ko'rinishi ($\tau = 20 \cdot 10^{-3}$ sek.).



9-rasm. Turli masofalarda amalga oshirilgan portlashlar seysmik - portlash to'liqlari ko'ndalang yo'nalishdagi ta'siridan silindrik qobiqsimon yer osti inshootlarida vujudga keladigan halqasimon kuchlanish epyuralari ko'rinishi ($\tau = 30 \cdot 10^{-3}$ sek.).

UMUMIY XULOSALAR

1. Qovushoq elastik muhitda joylashgan to'ldiruvchili silindrik qobiqqa garmonik to'lqinlar (tekis va silindrik) ta'siridan hosil bo'ladigan dinamik kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatini ifodalovchi chiziqli xususiy hosilali integro - differensial tenglamalar sistemasi olindi. Ularni qanoatlantiruvchi chegaraviy va boshlang'ich shartlar keltirildi. Masalalarning matematik qo'yilishi, yechish metodikasi va algoritmi ishlab chiqildi;

2. Silindrik qobiqning suyuqlikli ichki sirtida maksimal kuchlanish kontur va radial kuchlanishlar bo'lishi topildi. Ko'ndalang to'lqin ta'sirida bo'lgan kontur kuchlanishlari bo'ylama to'lqin ta'siridagi kontur kuchlanishlaridan 18 % ko'p bo'lishi aniqlandi.

3. Suyuqlik bilan to'ldirilgan quvurlar uchun ikki xil Rjanitsin - Koltunov va Rabotnov yadrolari bo'yicha olingan natijalarni solishtirish radial kuchlanishlar farqi, uzun to'lqin sohasida 5-8 % gacha bo'lar ekan. Materiallarning qovushoqlik xossalari hisobga olish ko'chish va kuchlanishlarni 10-15 % kamaytirishga imkon beradi.

4. Materiallarning qovushoqligi umumlashgan Kelvin - Foygt modeli orqali ifodalanganda garmonik - seysmik to'lqin ta'sirida inshootda va muhitda hosil bo'lgan kuchlanishlar Rjanitsin - Koltunov yadrosi qo'llanganda hosil bo'ladigan kuchlanishlardan, uzun to'lqinlar sohasida, 10 % gacha ko'p bo'lar ekan. Qisqa to'lqinlar sohasida 20 – 30 % ko'p bo'lishi mumkin ekan.

5. To'ldirilgan quvurlar uchun ikki xil Rjanitsin - Koltunov va Rabotnov yadrolari bo'yicha olingan natijalarni solishtirish keltirilgan. Rabotnov yadrosi bo'yicha olingan kuchlanishlar uzun to'lqin sohasida 5-7 % kam bo'lishi topildi.

6. Yupqa qobiq uchun Timoshenko S.P. va Krixgof - Lyav gipotezalari qo'llanganda kuchlanishlar orasidagi farq, uzun to'lqinlar sohasida – 10 % gacha, qisqa to'lqinlar sohasida - 15 % gacha bo'lishi topildi;

7. To'ldiruvchili silindrik qobiqqa ko'ndalang va bo'ylama to'lqinlar yuklanganda kuchlanganlik - deformatsiyalanganlik holatiga va zo'riqishlarga solishtirma baho berildi. Ko'ndalang va bo'ylama to'lqinlar yuklanganda silindrik qatlamdagi kuchlanishlar orasidagi farq 16-22 % bo'lishi topildi;

8. Agar silindrik qobiq va materiallarning qovushoqligi hisobga olinmasa, ya'ni elastik muhitdagi ideal suyuqlikli bo'shliqning radial kuchlanishlari bo'yicha olingan natijalar, dissertatsiyada Pao Y.H. va Mow S.S. olgan natijalar bilan solishtirildi. Natijalarda 10 % - 15 % gacha farq bo'lishi topildi. Bu natijalar farqi Pao Y.H. va Mow S.S. ning natijalaridan maxsus funksiyalar bo'yicha asimptotik formulalar bilan ifodalanishi orqali izohlanadi. Ishlab chiqilgan algoritmnining to'g'riligi xususiy masalalar yechish va ma'lum bo'lgan natijalar bilan solishtirishlar orqali isbotlandi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ СОСТАВЛЕННЫЙ НА ОСНОВЕ
НАУЧНОГО СОВЕТА PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ БУХАРСКОМ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

САФАРОВ УЧКУН ИСРОИЛОВИЧ

**СВОЙСТВА НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ,
НАХОДЯЩЕГОСЯ В ВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЕ, ВОЗНИКАЮЩЕГО
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЛН**

01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Бухара - 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей Аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2023.1.PhD/Т3427.

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно -технологическом институте.

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

Научный руководитель:	Рахмонов Баходир Собирович Доктор технических наук (DSc), доцент
Официальные оппоненты:	Мирзаев Ибрахим Доктор физико-математических наук, профессор Мавлонов Тулкин Мавлонович Доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	Наманганский инженерно-строительный институт

Защита диссертации состоится «15» апреля 2024 г. в «10:00» часов на заседании разового Научного совета созданного на основе 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 № 461). (Адрес:Бухарская область, 200100, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, 15. Тел.: (+99895) 604-44-70).

Автореферат диссертации разослан «29» марта 2024 года.
(протокол рассылки №1 от «23» февраля 2024 г.)

М.Х.Тешаев

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

З.И. Болтаев

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

М.З. Шарипов

Председатель разового научного семинара при разовом научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

Введение (аннотация к докторской (PhD) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В эпоху бурно развивающейся техники и технологий в мире разработка передовых методов расчета подземных сооружений занимает одно из ведущих мест. Во всем мире, в США, Франции, Китае, Японии, Российской Федерации и других развитых странах, в сейсмических регионах рекомендуется внедрять конструкции, выдерживающие сейсмические нагрузки, обладающие высокой прочностью и обеспечивающие экономичность в подземных тоннельных сооружениях. В связи с этим для предотвращения повреждения или разрушения подземных трубопроводов, коллекторов, зданий, плотин, мостов, подземных сооружений под воздействием динамических сил и сейсмических волн, землетрясений и сильных взрывов важно учитывать возникающие волны.

В мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на исследование прочности материалов, применяемых в конструкциях подземных сооружений, в том числе цилиндрических и сферических оболочек из композиционных материалов со сложными физическими свойствами, состоящих из нескольких слоев и контактирующих с окружающей средой. В связи с этим с учетом вязкоупругих свойств цилиндрических и сферических оболочек-заполнителей проводятся научно-исследовательские работы, направленные на совершенствование математических моделей и современных методов расчета для определения напряженно-деформированного состояния.

В нашей Республике в области строительства и машиностроения проводятся широко масштабные мероприятия в связи с созданием и внедрением методики и алгоритма нахождения напряженно-деформированного состояния вязкоупругих цилиндрических оболочек с заполнителями под воздействием различных динамических нагрузок и достигнуты определенные результаты. В постановлении Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года "Об утверждении Концепции развития науки на период до 2030 года", в том числе "...широкое использование научно-инновационного потенциала, приоритетные направления систематической реформы науки являются важными задачами выявления, подготовки высококвалифицированных кадров с современными знаниями и независимым мышлением в будущем..."². При реализации этих задач, среди прочего, большое значение в современной механике имеет разработка усовершенствованных математических моделей и эффективных методов расчета, обеспечивающих прочность и конкурентоспособность подземных сооружений.

Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 "О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы" и от 30 июля 2020 года № ПП-4794 – «О мерах по коренному совершенствованию

² Указ Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года № ПФ-6097 "Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года"

системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан” и постановлениями Кабинета Министров Республики Узбекистан от 26 августа 2020 года № 515 “О дальнейшем совершенствовании государственной системы предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации в Республике Узбекистан” и другими нормативно-правовыми актами, касающимися данной деятельности. Данная диссертационная работа в определенной степени служит реализации поставленных в документах задач.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Математика, механика и информатика».

Степень изученности проблемы. Проблемы воздействия сейсмических волн на многослойные композитные цилиндрические оболочки с жидкостью изучались с научной точки зрения следующими выдающимися зарубежными учеными: Илюшин А.А., Горшков А.Г., Волмир А.С., Генкин М.Д., Шемякин Э.И., Гуз А.Н., Уайт, Ахенбах Ж.Д., Трояновский И.Е., Кийко И.А., Новичков Ю.И., Слепян Л.И., Фролов К.В., Матвеев В.П., Шардаков И.Н. и другими.

При решении этой проблемы узбекские ученые Уразбаев М.Т., Ширинкулов Т.Ш., Рахматулин Х.А., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Мубораков Я.Н., Мардонов Б.М., Султанов К.С., Маматкулов Ш.М., Мирсаидов М.М., Бадалов Ф.Б., Хожметов Г.Х., Ишанходжаев А.А., Мавлонов Т.М., Абдусатторов А.А., Сафаров И.И., Худайназаров Х.Х., Юлдашев Ш.С., Абдуқодиров С.А. внося свой вклад, разработали методы расчета параметров, характеризующих динамические свойства цилиндрических и сферических тел с учетом реологических свойств материала, в случаях, когда поперечное сечение постоянно (или, в некоторых частных случаях, переменное).

Несмотря на вышеприведенные, в настоящее время существует ряд проблем, которые не нашли своего решения. Поскольку исследование динамических процессов в диссипативно-неоднородных волноводах теоретически обогащает динамику деформируемых твердых тел, его новые результаты, связанные с диссипацией энергии, позволяют решить многие задачи, имеющие важное практическое значение.

Связь темы диссертации с исследовательскими планами высшего учебного заведения, в котором выполнялась диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана исследований Бухарского инженерно-технологического института и фундаментального научно-технического проекта Ф-4-04 “Развитие теории и разработка методов исследования динамического напряженно-деформированного состояния криволинейных участков тонкостенных подземных трубопроводов с протекающей жидкостью при воздействии динамических нагрузок”.

Целью исследования является разработка математической постановки задачи о гармоническом и неустановившемся волновом нагружении цилиндрической оболочки с заполнителем, расположенным в вязко - упругой полуплоскости, разработка методик и алгоритмов решения, получении численных результатов и сравнении их с экспериментальными результатами.

Задачи исследования:

разработка математической постановки, методики решения и алгоритма определения задачи динамического напряженно-деформированного состояния, вызванного воздействием гармонических волн (плоских и цилиндрических) на цилиндрическую оболочку с заполнителем, расположенным в вязкоупругой полуплоскости;

сравнительно оценить напряженно-деформированное состояние цилиндрической оболочки с жидкостью в результате гармонического волнового нагружения;

сравнительно оценить применение гипотез Кирхгофа-Лява и Тимошенко к усилиям цилиндрической оболочки с заполнителем;

сравнительно оценить напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки при неустановившемся волновом нагружении.

дать сравнительную оценку напряжениям цилиндрической оболочки с заполнителями при использовании гипотез Кирхгофа-Лява и Тимошенко;

дать сравнительную оценку напряженно-деформированному состоянию и усилиям при приложении поперечных и продольных волновых нагрузок к цилиндрической оболочке с заполнителем.

В качестве **объекта исследования** принята цилиндрическая оболочка с заполнителем (с жидкостью), находящимся в вязкоупругой среде.

Предметом исследования является разработка методов решения задач теории вязкоупругости с учетом особенностей продольного (или поперечного) волнового нагружения и дифракции протяженной цилиндрической оболочки с заполнителем.

Методы исследования. В ходе исследований использовались методы математической физики и механики для решения интегро - дифференциальных уравнений в частных производных механики деформируемого твердого тела (специальные функции Бесселя и Ханкеля с комплексными аргументами, Гаусса, Мюллера и комплексно-амплитудные методы механики).

Научная новизна исследования состоит в следующем:

математически поставлена задача нахождения динамического напряженно-деформированного состояния, вызванного воздействием гармонических волн (плоских и цилиндрических) на цилиндрическую оболочку с заполнителем, находящуюся в вязкоупругой полуплоскости, разработаны методика и алгоритм решения на основе методов специальных функций Бесселя и Ханкеля с комплексными аргументами, методов Гаусса, Мюллера;

с учетом вязкости материала и отраженных сейсмических волн были получены выражения в аналитическом виде напряженно - деформируемого состояния, возникающего при их действии, установлено, что контурные напряжения по ядрам Ржаницына - Колтунова и Работнова составляет разницу, в длинноволновой области 5-8%, а учет вязкостных свойств материалов позволяет уменьшить перемещения и напряжения на 10-15%;

основанную на применении различных классических моделей при решении этих задач показано, что вместо наследственного интеграла Больцмана - Вольтера при решении стационарных задач с заполненной цилиндрической оболочкой, находящейся в вязкоупругом полупространстве, можно применять более простую и удобную для инженеров обобщенную модель Кельвина – Фойгта;

на основе учета вязкости материалов и отраженных сейсмических волн определены напряжения, создаваемые объемными продольными и поперечными волнами на цилиндрических оболочках в полудеформируемом пространстве;

по результатам полевых экспериментов и теоретическим аналитическим результатам установлено, что напряжения и деформации, полученные в опытах, проводимых в полевых условиях под действием сейсмозрывных волн, приводят к большим (46%) погрешностям при малых (менее 100м) значениях расстояния (между взрывчатым веществом и оболочкой), а на больших расстояниях – к погрешностям до 15%.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны методы расчета на прочность цилиндрических тел для напряженно - деформированного состояния, вызванного сейсмическим волновым нагружением многослойных композиционных цилиндрических оболочек с жидкостью;

решена задача нахождения конечного числа мод комплексных частот в спектральной задаче, когда сейсмические волны воздействуют на многослойные композитные цилиндрические оболочки с жидкостью;

определено распределение напряжений в цилиндрической полости, защищенной деформируемой средой и цилиндрической оболочкой, при сейсмических продольных и поперечных нагрузках на многослойные композитные цилиндрические оболочки с жидкостью.

Достоверность результатов исследования обусловлена на применении краевой и спектральной задачи, использовании методов решения, основанных на строгости получаемых математических соотношений, и сравнении с решениями, полученными другими учеными.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов, полученных при исследовании свойств напряженно - деформированного состояния, вызванного воздействием гармонических волн на цилиндрическую оболочку с наполнителем, расположенную в вязкоупругой среде:

из асимптотической формулы определения наименьшей собственной

частоты и из теоретико - экспериментальной формулы для определения основной собственной частоты использован при выполнении фундаментального проекта по теме “Развитие теории и методов расчета напряженно - деформационного состояния подземной криволинейной трубы, протекающей жидкостью под воздействием внешних сил” под номером Ф-4 - 14, проведенный в 2012-2016 годах в Бухарском инженерно - технологическом институте (Справка № 02/01-86-403 Бухарского инженерно - технологического института от 24 февраля 2023 года). В результате это позволило определить наименьшую собственную частоту и основную собственную частоту вязкоупругой изогнутой трубы протекающей жидкостью и определить соответствующие формы колебаний;

методика нахождения напряжений и деформаций, возникающих при вибрационной нагрузке с учетом кривизны сейсмической волны, распространяющейся от источника использовалась в фундаментальном проекте ОТ-Ф4-01 “Развитие теории и разработка методов исследования нелинейного динамического напряженно-деформационного состояния композитной многослойной трубы с протекающей жидкостью под воздействием температурных и динамических нагрузок”, выполненном в 2016-2020 годах в рамках Государственной научно-технической программы в Ташкентском химико - технологическом институте (Справка № 1/01-831 Ташкентского химико - технологического института от 11 марта 2023 года).

Результат позволил найти нелинейное динамическое напряженно-деформируемое состояние криволинейных сечений многослойных композитных труб, в которых течет вязкая жидкость, под воздействием температуры и динамических нагрузок;

при расчете продольных и поперечных длин сейсмических волн методы расчета, представленные в диссертации, были использованы в ООО «Кишлоккурилишлойиха», ООО «Узжамалойиха», ООО «Бухарский опытно-конструкторский научно-исследовательский институт» и ООО «Курилишлойиха»» (Справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан от 9 ноября 2023 года № 08-06/11700). В результате установлено, что разница напряжений в цилиндрическом слое при нагружении поперечных и продольных волн составляет 16-22%.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены и одобрены на международных, республиканских конференциях, в том числе на 2 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Основные результаты диссертации были представлены и обсуждены на следующих научных семинарах: Бухарский инженерно-технологический институт (21 октябрь 2023 г., Бухара); Ташкентский химико-технологический институт (12 июнь 2023 г., Ташкент); Навоийский государственный горный университет (11 ноябрь 2023 г., Навои), Ургенчский государственный университет (25 декабря 2023 г., Ургенч)

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 23 научных работ, в том числе 7 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD), из которых 3 - в республиканском и 4 статей - в международных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 114 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации обоснованы 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 их научная и практическая значимость. Приведены сведения о внедренности результатов исследования, апробациях работы, опубликованных работах, структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации, названной **“Обзор литературы, посвященной изучению напряженно-деформированного состояния, вызванного действием сейсмических (гармонических) волн на цилиндрическую оболочку, находящуюся в вязкоупругой среде”**, представлен краткий анализ литературы, посвященной исследованию напряженно-деформированного состояния глубоко залегающих цилиндрических труб (различного сечения) под воздействием гармонических и неустановившихся волн, и на основе анализа литературы сделаны выводы. Данная глава состоит из трёх параграфов, первый параграф озаглавлен **“Обзор литературы, посвященной изучению волнового нагружения и дифракции на цилиндрическую оболочку, расположенной в упругой среде”**. В нем представлен краткий анализ литературы, посвященной изучению сейсмостойкости цилиндрических оболочек, конструкций трубопроводов, тоннелей метро, газовых резервуаров и других подземных сооружений, расположенных в грунтовой среде в сейсмической зоне. Второй параграф настоящей главы озаглавлен **“Учет сейсмических воздействий путем моделирования при проектировании трубопроводов”**. Здесь приведен обзор литературы, посвященной основному требованию к проектированию трубопроводов в сейсмических регионах, т.е., разработке конструктивных решений, выдерживающих сейсмические нагрузки, безопасных и экономичных и в то же время совместимых с решениями, применяемыми при борьбе с другими природными и сейсмическими воздействиями, техногенными опасностями. Третий параграф называется **“Сейсмический расчет тонких тоннелей”**. В нем проанализирована литература, посвященная расчету тонкостенных тоннелей под воздействием

сейсмических нагрузок. При их расчете показана необходимость учета пространственного положения тоннелей и совершенствования методов расчета.

Во второй главе диссертации названной “Методика и алгоритм решения задачи о напряженно-деформированном состоянии многослойной цилиндрической оболочки в вязкоупругой среде под воздействием сейсмических волн” представлены математическая постановка и методика решения поставленных задач. Для тонких цилиндрических оболочек применима гипотеза Кирхгофа - Лиавы или Тимошенко С.П. Для получения дифференциального уравнения движения оболочки использованы уравнения теории механики вязкоупругих деформируемых тел для толстых цилиндров. Тогда уравнения движения механической системы, состоящей из многослойных оболочек (или толстостенных цилиндров) (рис.1), будут иметь вид:

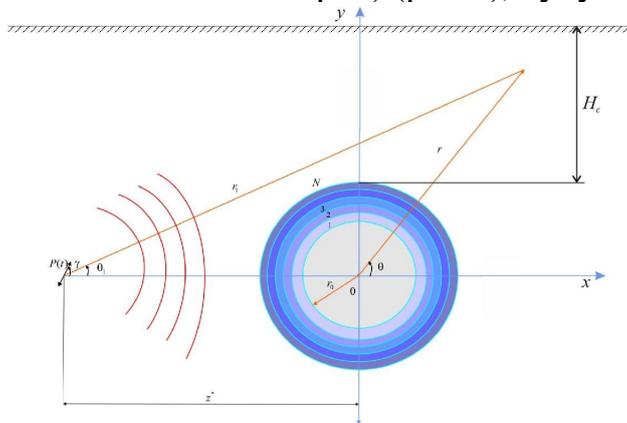


Рис. 1. Схема расчета волнового нагружения многослойной цилиндрической оболочки, находящейся в деформируемой среде

$$(\tilde{\lambda}_j + 2\tilde{\mu}_j) \text{grad div } \vec{u}_j - \tilde{\mu} \text{rot rot } \vec{u}_j + \vec{b}_j = \rho_j \frac{\partial^2 \vec{u}_j}{\partial t^2}, (j=1,2,..N). \quad (1)$$

Если механическая система состоит из цилиндрических оболочек, то ее дифференциальное уравнение движения имеет вид:

$$L\tilde{E}\vec{u} = \frac{(1-\nu_0^2)}{E_0 h_0} \vec{p} + \rho_0 \frac{(1-\nu_0^2)}{E_0} \left(\frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} \right), (k=1,3...N-1) \quad (2)$$

$$\Delta \phi_0 - \frac{1}{c_\infty^2} \ddot{\phi}_0 = 0. \quad (3)$$

Если цилиндрический слой заполнен вязкой жидкостью, то используются уравнения Навье - Стокса. Для движения частиц жидкости были приняты следующие соотношения:

$$\vec{g} = \frac{\partial}{\partial t} \left[\vec{\nabla} \psi + \vec{\nabla} \times \vec{e}_3 \chi_1 + \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{e}_3 \chi_2) \right];$$

$$p = \rho_0 \left(\frac{\lambda_1 + 2\mu}{\rho_0} \Delta - \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial}{\partial t} \psi; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\rho_0}{c_0^2} \left(\frac{\lambda_1 + 2\mu}{\rho_0} \Delta - \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial}{\partial t} \psi. \quad (4)$$

Здесь \vec{g}_r, g_θ, g_z – скорость частицы жидкости, p – параметр скорости, возникающий в результате деформации цилиндрического слоя, μ –

коэффициент вязкости, $\lambda_1 = -\frac{2}{3}\mu$ – второй коэффициент вязкости, ψ, χ_1, χ_2 – потенциальные функции, удовлетворяющие следующим волновым уравнениям:

$$\left[\left(1 + \frac{\lambda_1 + 2\mu}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \psi = 0, \left(\frac{\partial}{\partial t} - \nu \Delta \right) \chi_1 = 0; \left(\frac{\partial}{\partial t} - \nu \Delta \right) \chi_2 = 0. \quad (5)$$

1. Если цилиндрическая конструкция состоит из слоев, то ее уравнения движения имеют вид (2). Контактные и граничные условия задаются следующим образом:

$$r = a_k: \quad \sigma_{rrk} = \sigma_{rr(k+1)}; \quad \sigma_{r\theta k} = \sigma_{r\theta(k+1)}; \quad \sigma_{rz k} = \sigma_{rz(k+1)}; \\ u_k = u_{k+1}; \quad v_k = v_{k+1}; \quad w_k = w_{k+1}. \quad (6)$$

2. Ставятся условия скольжения между слоями (при отсутствии сопротивления между слоями):

$$r = a_k: \quad \sigma_{rrk} = \sigma_{rr(k+1)}; \quad \sigma_{r\theta k} = \sigma_{rz k} = 0; \\ \sigma_{r\theta(k+1)} = \sigma_{rz(k+1)} = 0; \quad w_k = w_{k+1}. \quad (7)$$

3. Если первый слой при $r=a_1$ без жидкости и без заполнителя, то ставится условие отсутствия напряжений:

$$p=a_k: \quad \sigma_{rrN} = 0; \quad \sigma_{r\theta N} = 0; \quad \sigma_{rzN} = 0. \quad (8)$$

Если радиальная координата конструкции стремится к бесконечности, то продольный и поперечный волновые потенциалы удовлетворяют условиям излучения Зоммерфельда:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r\varphi = const, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} r \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} - ik\varphi \right) = 0 \\ \lim_{r \rightarrow \infty} r\psi = const, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} r \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} - ik_2\psi \right) = 0 \quad (9)$$

Цилиндрические волны, распространяющиеся в среде, для случая плоской деформации имеют следующий вид:

$$\varphi_N^{(p)} = \varphi_0 i\pi \sum_{n=1}^{\infty} [(-1)^n E_n J_n(\alpha_N r) H_n^{(1)}(\alpha_N z)] \cos n\theta e^{-i\omega t}. \quad (10)$$

Выразим дифференциальные уравнения в частных производных цилиндрической оболочки с заполнителем и окружающей ее среды через продольный и поперечный волновые потенциалы вектора смещения:

$$\vec{u}_j = grad \phi_j + rot \vec{\psi}_j, \quad div \vec{\psi}_j = 0. \quad (11)$$

Основные задачи приводятся к проблеме плоской деформации теории упругости. Следовательно, продольные $\vec{\psi}_j(\psi_j, 0, 0)$ и поперечные волновые потенциалы удовлетворяют следующим интегро-дифференциальным уравнениям:

$$\Gamma_{\lambda\mu\kappa} \nabla^2 \varphi_k - \frac{1}{c_{\rho 0 k}^2} \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial t^2} = 0; \quad \Gamma_{\mu\kappa} \nabla^2 \psi_z - \frac{1}{c_{s 0 k}^2} \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial t^2} = 0; \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned}
\varphi_j &= \sum_{n=0}^{\infty} [A_{nj} H_n^{(1)}(\alpha_j r) + A'_{nj} H_n^{(2)}(\alpha_j r)] \cos n\theta e^{-i\omega t}; \\
\psi_j &= \sum_{n=0}^{\infty} [B_{nj} H_n^{(1)}(\beta_j r) + B'_{nj} H_n^{(2)}(\beta_j r)] \sin n\theta e^{-i\omega t}; \quad j = 1, 2, \dots, N-1 \\
\varphi_N &= \sum_{n=0}^{\infty} [C_{nN} H_n^{(1)}(\alpha_N r) + D_{nN} H_n^{(2)}(\alpha_N r)] \cos n\theta e^{-i\omega t}, \\
\psi_N &= \sum_{n=0}^{\infty} [M_{nN} H_n^{(1)}(\beta_N r) + L_{nN} H_n^{(2)}(\beta_N r)] \sin n\theta e^{-i\omega t}, \\
\varphi_0 &= \sum_{n=0}^{\infty} [K_{n0} J_n(\alpha_0 r) + K'_{n0} N_n(\alpha_0 r)] \cos n\theta e^{-i\omega t},
\end{aligned} \tag{13}$$

где n - целое число; ω - комплексная частота, когда изучается вопрос о свободных колебаниях, принимается за реальную величину, когда изучается вынужденные колебания, $A_{nj}, A'_{nj}, B_{nj}, B'_{nj}, C_{nj}, D_{nj}, L_{nN}, M_{nN}$ и K'_{nN} - произвольные постоянные величины, которые определяются из граничных условий; $H_n^{(1)}(\alpha_j r)$ и $H_n^{(2)}(\alpha_j r)$ - функции Бесселя и Ханкеля, соответственно: $H_n^{(1),(2)}(\alpha r) = J_n(\alpha r) \pm iN_n(\alpha r)$.

Соотношение между напряжениями и деформацией в цилиндрической оболочке наполнителя, записанное в соответствии с моделью Кельвина - Фойгта (рис. 2), выглядит следующим образом

$$\sigma = E(\omega) = [E'(\omega) + iE''(\omega)]\varepsilon_0 \tag{13a}$$

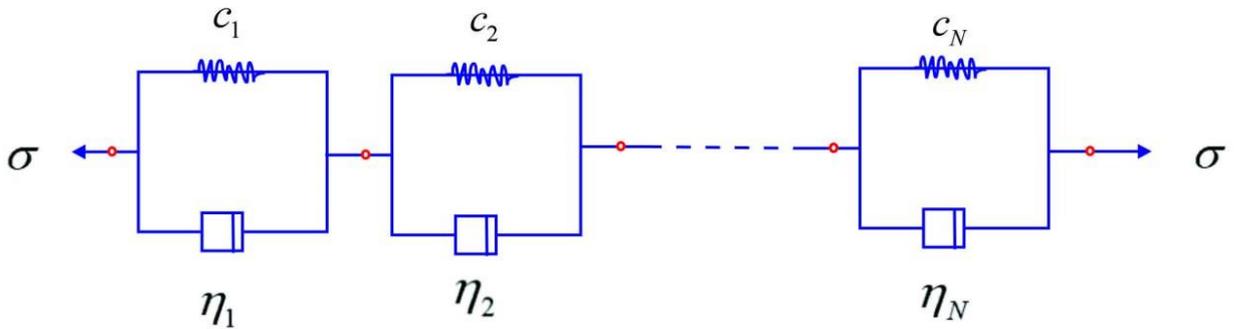


Рис. 2. Обобщенная модель Кельвина-Фойгта

Результаты, полученные на основе ядра Ржаницина - Колтунова и приведенной выше обобщенной модели Кельвина-Фойгта, представлены на рисунке 2. Если в среде распространяется волна плоской формы, то амплитуда напряжения будет выглядеть следующим образом. Используя граничные условия (6) - (9) для нахождения произвольных констант, мы получаем систему неоднородных алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами:

$$[C_2(c_{pj}, c_{sj}, R_{Ej}, a_j)]\{q\} = \{P_1\}, \tag{14}$$

где $\{q\}$ — вектор-столбец, состоящий из произвольных констант; $\{P\}$ - внешний падающий волновой вектор; $[C_2]$ -квадратная матрица, элементы

которой состоят из функций Бесселя и Ханкеля. Вычислим контурное напряжение $\sigma_{\theta\theta}$:

$$\sigma_{\theta\theta}|_{r=0} = (\text{Re} + iJ_m) e^{-i\omega t} = \sqrt{\text{Re}^2 + J_m^2} e^{-i(\omega t - \gamma)}, \quad \gamma = \arctg \frac{J_m}{\text{Re}}. \quad (15)$$

Таким образом, во второй главе при решении задач гармонического волнового нагружения (и дифракции) с использованием уравнения Ламе, выраженного через перемещения, получена система интегро-дифференциальных уравнений в частных производных, выраженные через потенциалы перемещений, а также разработаны методология и алгоритм получения решения, основанные на методы Гаусса, Лапласа и специальные функции.

Третья глава диссертации, озаглавленная “**Нагружение продольной (или поперечной) волной и дифракция на упругую цилиндрическую оболочку из наполнителя**”, посвящена вопросу нагружения продольной или поперечной волной и дифракции на цилиндрическую оболочку с наполнителем (или жидкости), расположенную в вязкоупругой среде. Эта глава состоит из двух параграфов. В первом параграфе изучается воздействие продольной (или поперечной) волны на цилиндрическую оболочку с жидкостью. Во втором параграфе приведены численные результаты и их анализ.

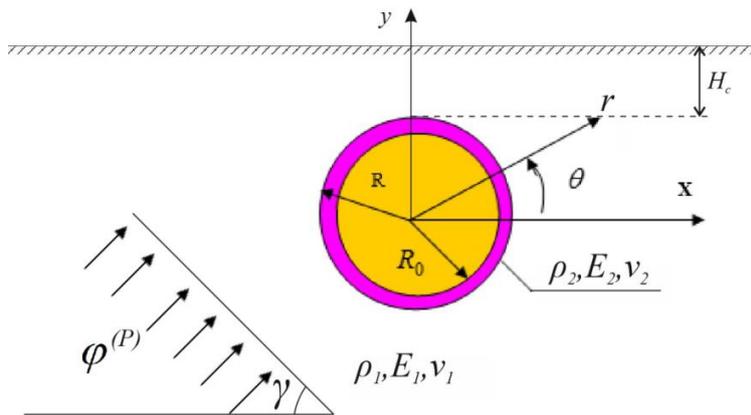


Рис. 3. Схема расчета цилиндрической оболочки с жидкостью и падающей на нее плоской волны

Численные результаты представлены в таблицах 1 и 2 ($D/\lambda = 0.25$). Результаты получены в безразмерных параметрах.

Таблица 3.1. Изменение радиальных напряжений под действием продольных волн в слое с жидкостью ($\theta = 90^\circ$)

Длина волны (D/λ)	0.10	0.20	0.40	0.60	0.70
Пустой слой σ_{rr} (эластичный)	1.4423	1.6172	1.7511	1.6218	1.5550
Пустой слой σ_{rr} (ядро Ржаницына – Колтунова)	1.3362	1.4687	1.5985	1.4936	1.4068
Пустой слой σ_{rr} (ядро Работнова)	1.2151	1.3407	1.4819	1.3367	1.2842
Слой с жидкостью σ_{rr} (ядро Ржаницына – Колтунова)	1.4535	1.7278	1.7421	1.6747	1.5885
Слой с жидкостью σ_{rr} (ядро Работнова)	1.3743	1.6732	1.6862	1.5582	1.5183

Таблица 2. Изменение радиальных напряжений под действием поперечных волн в слое с жидкостью ($\beta_1 R_1 = 0,45$)

Угол: θ	0°	45°	90°	135°	180°
Пустой слой σ_{rr} (эластичный)	1.9531	1.9751	1.6521	1.9701	1.8847
Пустой слой σ_{rr} (ядро Ржаницына – Колтунова)	1.8483	1.8214	1.5397	1.8625	1.7065
Пустой слой σ_{rr} (ядро Работнова)	1.7181	1.6942	1.4321	1.7322	1.5871
Слой с жидкостью σ_{rr} (ядро Ржаницына – Колтунова)	2.0483	2.9214	1.7397	2.9625	2.0886
Слой с жидкостью σ_{rr} (ядро Работнова)	1.9054	2.7172	1.6120	2.7552	1.9424

При продольном волновом нагружении максимальное радиальное напряжение было обнаружено в угловых точках слоя $\theta = 90^\circ$ и 270° . Аналогично, максимальное напряжение, при нагружении поперечной волной, достигается при углах $\theta = 45^\circ$ и 135° . Учет вязких свойств материала позволяет снизить смещения и напряжения на 10-15%. Из полученных результатов следует, что в поле коротких волн может возникать состояние, похожее на резонансную картину.

Четвертая глава диссертации называется “Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки под воздействием сейсмических волн”. В первом параграфе этой главы, озаглавленном “Распространение взрывных и стоячих волн в грунте и их воздействие на подземные сооружения”, проанализированы результаты исследований по изучению распространения взрывных волн в грунте и их воздействия на подземные сооружения ученых Института механики и сейсмостойкости сооружений А.Н Узбекистана в 80-е годы прошлого века, проведенных под руководством Я. Н. Муборакова в оригинальных природно-полевых условиях. Расположение подземных тонкостенных оболочечных цилиндрических конструкций, испытываемых на полигоне, и места размещения взрывчатых веществ показаны на рис. 4.

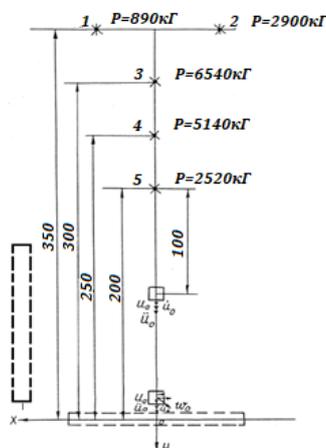


Рис.4. Схематическое изображение расположения испытываемых подземных сооружений и точек проведения подземных взрывов на полигоне

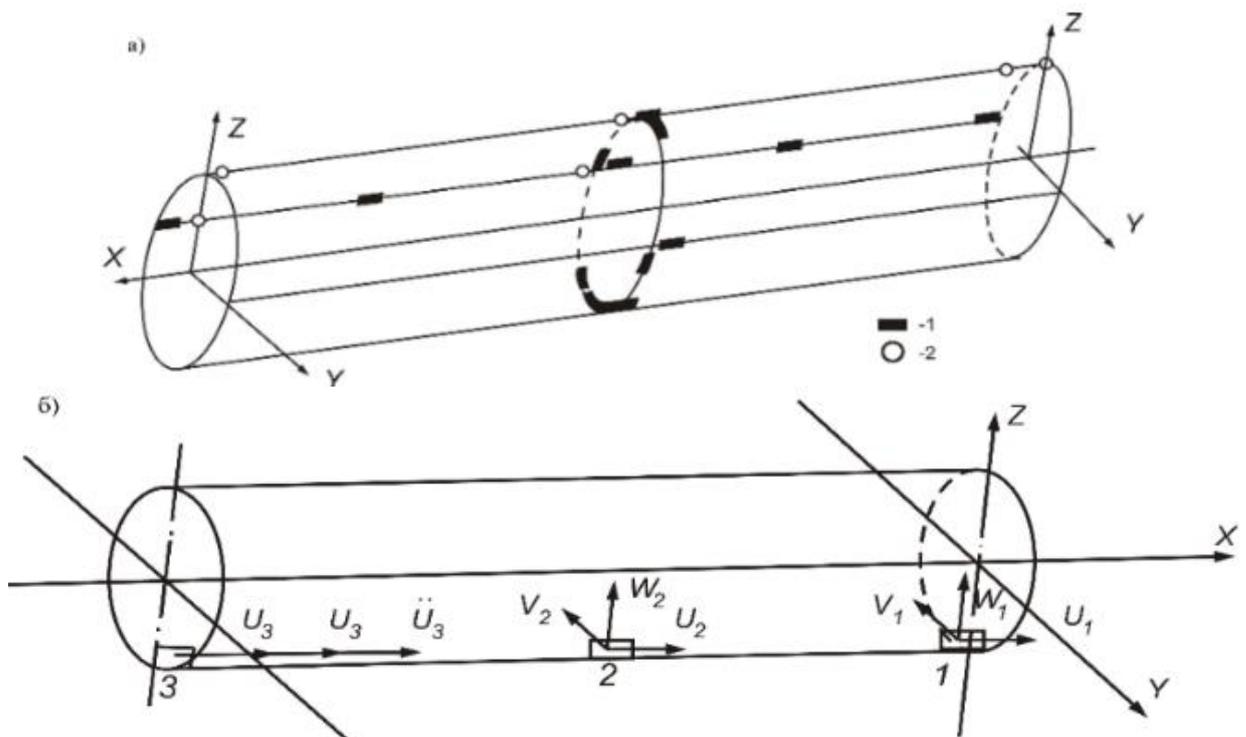


Рис. 5. Схема размещения тензодатчиков, датчиков давления (а) и сейсмографов (б) в испытуемых конструкциях: 1 - тензорезисторы, предназначенные для измерения кольцевых и продольных деформаций; 2- датчик давления

Продольные, поперечные и вертикальные перемещения регистрировались в точках 1 и 2 цилиндрической трубы, а кинематические параметры, такие как продольное перемещение, скорость и ускорение, регистрировались в точке 3. Пространственные перемещения грунта вдоль трех осей были зафиксированы с помощью сейсмометров в точке, максимально близкой непосредственно к испытуемым подземным сооружениям, на глубине 1 метр под поверхностью грунта. Испытуемая тонкостенная подземная труба размещается на глубине 5,0 м. от поверхности земли. Известно, что под действием сейсмических продольных и поперечных волн растягивающе-сжимающие и сдвиговые напряжения, возникающие во взаимно перпендикулярных (x' и u') направлениях в изотропной среде, можно рассчитать по следующим уравнениям:

$$\sigma_y^{(x)} = \pm \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma C_p T_0; \quad \sigma_y^{(x)} = \frac{V_0}{1-\nu_0} \sigma_x^{(x)}; \quad \tau_{xy}^{(x)} = \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma C_s T_0; \quad (16)$$

где A – коэффициент, соответствующий интенсивности сейсмического воздействия, полученный из нормативных документов; K_1 - коэффициент, учитывающий уровень повреждения конструкции; γ - объемный вес грунта, т/м³; C_p - скорость распространения продольных волн в этом грунте, м/сек; C_s - скорость распространения поперечных волн в грунте данной среды, м/сек; T_0 – период вибрации частиц грунта, сек; ν_0 - коэффициент Пуассона для окружающей почвы. В результате обработки результатов натурных

экспериментов Я.Н. Мубараковым и его учениками была предложена следующая зависимость:

$$g = 325,24R_{np}^{-1,45553} \quad \text{или} \quad g = 325,24 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^{1,46} . \quad (17)$$

Результаты скорости распространения этой волны сравнили с результатами других учёных. Вибрации опорных точек при взрывах представлены на рис. 6. На рис. 6 показано изменение скорости перемещения частиц грунта в зависимости от расстояния.

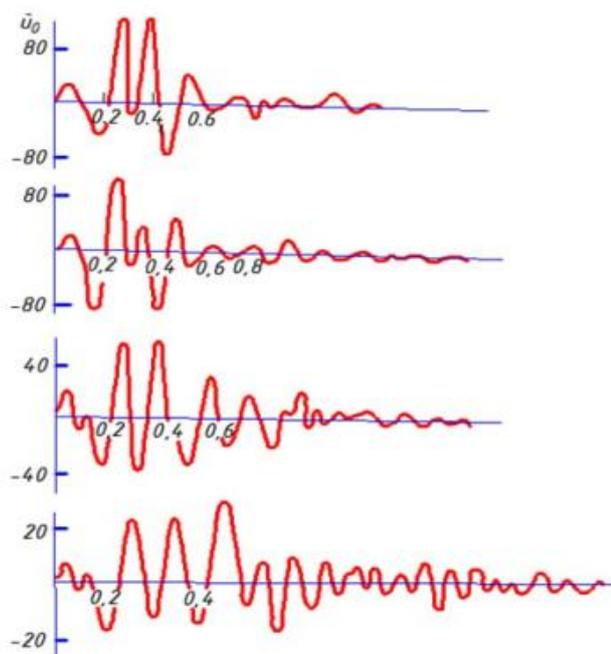


Рис. 6. Записи скоростей движения наземных частиц зафиксированные на различных заданных расстояниях (контрольная точка, точка, близкая к точке взрыва).

В следующих таблицах приведены графики времени достижения максимальной скорости движения частиц грунта под воздействием сейсмо-взрывных волн и времени воздействия нагрузки.

Времени достижения максимальной скорости движения частиц грунта под воздействием сейсмо - взрывных волн и времени воздействия нагрузки

Таким образом, в этом параграфе были проанализированы параметры, представляющие движение окружающей среды грунта под воздействием сейсмо-взрывных волн.

Во втором параграфе этой главы, озаглавленном “Теоретико-экспериментальное исследование воздействия сейсмо-взрывных и стационарных волн на окружающую среду и подземные сооружения”, указывается, что в натуральных экспериментах напряжения, возникающие в грунте при сейсмических воздействиях, сейсмо-взрывные волны, распространяющиеся в окружающей среде, фиксировались непосредственно с помощью тензометров.

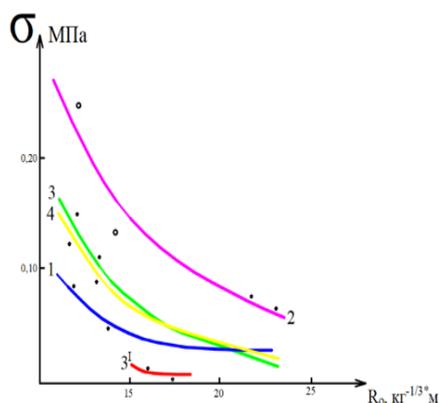


Рис. 7. Зависимость напряжения, образующегося в окружающей среде при распространении сейсмо-взрывных волн в грунте на заданное расстояние: 1- график, построенный на основе результатов расчета по методике Ш.Г. Напедваридзе; 2-график, рассчитанный по формуле Л.Д. Ландау, 3-результаты эксперимента М. Сайдимуратова; 4-результаты расчета по методике И. Я. Дормана.

В табл. 4.3 приведены результаты сравнения напряжений, возникающих в конструкции вследствие воздействия продольных волн на цилиндрическую оболочку. Таблица 4.3. Результаты сравнения напряжений, возникающих в конструкции при воздействии продольных волн на цилиндрическую оболочку

Напряжения	Результаты экспериментов $\theta = \pi/4$	Теоретические результаты $\theta = \pi/4$	Результаты экспериментов $\theta = \pi/2$	Теоретические результаты $\theta = \pi/2$
σ_θ (МПа)	-3.0121	-1.3986	-3.8901	-2.0274
σ_r (МПа)	0.3327	0.2931	0.4435	0.3387
τ (МПа)	0.3473	0.2067	0.4573	0.2567

Некоторые из этих результатов представлены на рисунках 8 и 9, где описаны кривые радиальных напряжений, возникающие в подземном сооружении под воздействием сейсмо - взрывных волн в эксперименте. На этих картинках показан вид получившихся эпюр напряженного состояния, записанных в реальном времени.

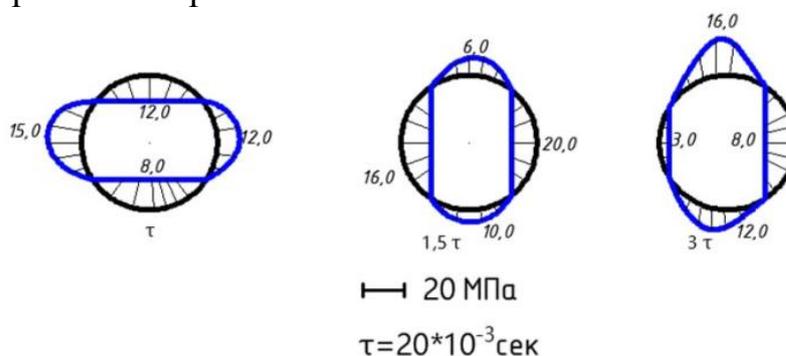


Рис. 8. Вид круговых (радиальных) контуров напряжений, создаваемых в цилиндрических оболочечных подземных сооружениях вследствие воздействия сейсмо - взрывных волн взрывов, осуществляемых в продольном направлении на различных расстояниях ($\tau=20*10^{-3}$ сек.)

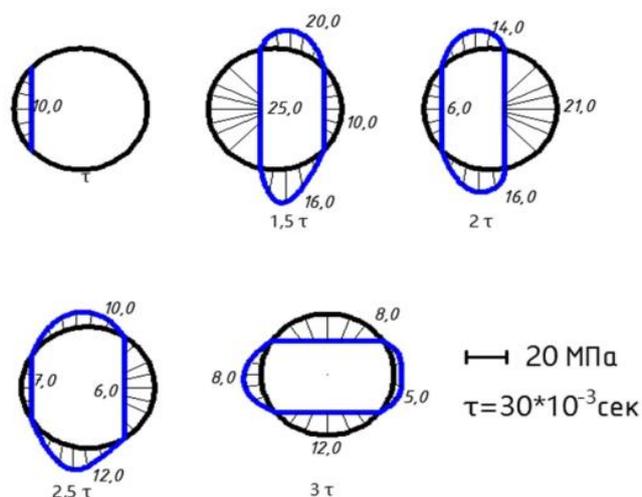


Рис. 9. Появление кольцеобразных контуров напряжений, возникающих в цилиндрических оболочечных подземных сооружениях вследствие воздействия сейсмозрывных волн в поперечном направлении при взрывах, осуществляемых на разных расстояниях ($\tau=30 \cdot 10^{-3}$ сек.).

Заключения

1. Получена система линейных интегро - дифференциальных уравнений, описывающая динамическое напряженно - деформированное состояние, вызванное гармоническими волнами (плоскими и цилиндрическими) на цилиндрическую оболочку с заполнителем, находящейся в вязкоупругой среде. Приведены удовлетворяющие им граничные и начальные условия. Разработаны математическая постановка задач, методика и алгоритм решения.

2. Установлено, что максимальными напряжениями жидкостной внутренней поверхности цилиндрической оболочки являются контурные и радиальные напряжения. Также установлено, что контурные напряжения под действием поперечных волн на 18 % больше, чем контурные напряжения под действием продольных волн.

3. Сравнение результатов, полученных на двух ядрах Ржаницына - Колтунова и Работнова для труб, заполненных жидкостью, показало, что разница в радиальных напряжениях составит до 5-8 % в области длинных волн. Учет вязкостных свойств материалов позволяет снизить смещения и напряжения на 10-15 %.

4. При выражении вязкости материалов обобщенной моделью Кельвина-Фойгта напряжения, возникающие в конструкции и окружающей среде под воздействием гармонико-сейсмических волн, до 10 % превышают напряжения, возникающие при использовании ядра Ржаницына - Колтунова, в области длинных волн. В области коротких волн она может составлять 20-30%.

5. Представлено сравнение результатов, полученных с использованием двух ядер Ржаницына – Колтунова и Работнова для заполненных труб. Напряжения, полученные с помощью ядра Работнова, оказались на 5-7 % ниже в длинноволновой области.

6. Когда были применены гипотезы Тимошенко и Кирхгофа - Ляве для тонкой оболочки, было обнаружено, что разница между напряжениями составляет до 10% - в длинноволновой области, до 15 % в коротковолновой области.

7. Сравнительно оценено напряженно-деформированное состояние и напряжения при поперечном и продольном волновом нагружении на цилиндрическую оболочку с заполнителем. Установлено, что разница напряжений в цилиндрическом слое при нагружении поперечными и продольными волнами составляет 16-22 %;

8. Если не учитывать вязкость цилиндрической оболочки и материалов, то есть результаты, полученные по радиальным напряжениям идеальной полости с жидкостью в упругой среде результаты, полученные в диссертации были сравнены с результатами полученными Пао Ю.Х. и Моу СС. Была обнаружена разница в результатах от 10 % до 15 %. Эта разница в результатах Пао Ю.Х. и Моу СС. объясняется выражением ее с помощью асимптотических формул для специальных функций.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE SCIENTIFIC
COUNCIL PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 FOR AWARDING ACADEMIC
DEGREES AT THE BUKHARA INSTITUTE OF ENGINEERING AND
TECHNOLOGY**

BUKHARA INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY

SAFAROV UCHQUN ISROILOVICH

**PROPERTIES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A CYLINDRICAL
SHELL WITH A FILLER LOCATED IN A VISCOELASTIC MEDIUM
ARISING UNDER THE ACTION OF HARMONIC WAVES**

01.02.04 – Mechanics of a deformable solid

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
IN TECHNICAL SCIENCES**

Bukhara- 2024

The topic of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan for № B2023.1.PhD/T3427

The dissertation was completed at the Bukhara Institute of Engineering and Technology. Abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) posted on the web page of the Bukhara Institute of Engineering and Technology (www.bmti.uz) and on the Information and educational portal "ZiyoNET" (www.ziyo.net)

Scientific adviser:	Raxmonov Baxodir Sobirovich Doctor of Technical Sciences, (DSc).
Official Opponents:	Mirzaev Ibraxim Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor Mavlanov Tulkin Mavlanovich Doctor of Technical Sciences, Professor
Leading organization:	Namangan Institute of engineering and construction

The defense of the thesis will take place on «15» april 2024 at «10:00» 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. Murtazaev, 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 № 461) (Address: Bukhara region, 200100, Bukhara, K. Murtazaev st., 15. Phone: (+99895) 604-44-70).

Abstract of dissertation sent out on «29» march 2024 year
(mailing report № 1 on «23» february 2024 year)

M. H. Teshayev.
Chairman of Scientific of the One-time Council for awarding degrees, doctor of Physical and Mathematical sciences (DSc)

Z. I. Boltayev
Scientific secretary of the One-time Scientific Council for awarding degrees, doctor of Physical and Mathematics sciences (DSc)

M. Z. Sharipov
Chairman of Scientific seminar at the Scientific of the One-time Council for awarding degrees, doctor of Physical and Mathematical sciences (DSc). Professor.

Relevance and relevance of the topic of the dissertation. In the era of rapidly developing technology and technology in the world, the development of advanced methods for calculating underground structures occupies one of the leading places. The main requirement for the design of underground tunnel structures in seismic areas is to ensure their withstanding seismic loads, high strength and efficiency.

Compliance of the research with the priority directions of the development of science and technology of the republic. This study was carried out in accordance with the priority direction of the development of science and technology of the Republic of Uzbekistan IV. "Mathematics, Mechanics and Computer science".

Implementation of the research results. Based on the results obtained in the study of the properties of the stress- strain state caused by the action of harmonic waves on a cylindrical shell with a filler located in a viscoelastic medium:

from the asymptotic formula for determining the lowest natural frequency and from the theoretical and experimental formula for determining the fundamental natural frequency, it was used in the implementation of a fundamental project on the topic "Development of the theory and methods for calculating the stress-strain state of an underground curved pipe flowing with liquid under the influence of external forces" under the number F-4 -14, conducted in 2012-2016 at the Bukhara Engineering - Technological Institute (Reference no. 02/01-86-403 Bukhara Institute of Engineering and Technology dated February 24, 2023). As a result, this made it possible to determine the lowest natural frequency and the main natural frequency of a viscoelastic curved pipe flowing liquid and determine the corresponding waveforms;

the method of finding stresses and deformations arising from a vibration load, taking into account the curvature of a seismic wave propagating from a source, was used in the fundamental project OT-F4-01 "Development of theory and development of methods for studying the nonlinear dynamic stress-strain state of a composite multilayer pipe with a flowing liquid under the influence of temperature and dynamic loads", completed in 2016-2020 in within the framework of the State Scientific and Technical Program at the Tashkent Chemical Institute - Institute of Technology (Reference No. 1/01-831 of the Tashkent Institute of Chemical Technology dated March 11, 2023);

The result made it possible to find a nonlinear dynamic stress-strain state of curved sections of multilayer composite pipes in which a viscous liquid flows under the influence of temperature and dynamic loads;

when calculating the longitudinal and transverse lengths of seismic waves, the calculation methods presented in the dissertation were used in LLC "Kishlokkurilishloiha", LLC "Uzjamaloyiha", LLC "Bukhara Experimental Design Research Institute" and LLC "Kurilishloiha" (Certificate of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan dated November 9, 2023 year No. 08-06/11700). As a result, it was found that the

stress difference in the cylindrical layer when loading transverse and longitudinal waves is 16-22%.

The scientific novelty of the research consists in the following:

the problem of finding a dynamic stress-strain state caused by the action of harmonic waves (flat and cylindrical) on a cylindrical shell with a filler located in a viscoelastic half-plane is mathematically posed, a methodology and algorithm for solving based on the methods of special Bessel and Hankel functions with complex arguments, Gauss and Muller methods are developed;

taking into account the viscosity of the material and reflected seismic waves, expressions in the analytical form of the stress-strain state arising from their action were obtained, it was found that the contour stresses along the Rzhantsyn - Koltunov and Worknov nuclei make up a difference of 5-8% in the long-wave region, and taking into account the viscous properties of materials allows reducing displacements and stresses by 10-15%;

based on the use of various classical models in solving these problems, it is shown that instead of the hereditary Boltzmann-Voltaire integral, when solving stationary problems about a filled cylindrical shell located in a viscoelastic half-space, a simpler and more convenient generalized Kelvin-Voigt model can be used for engineers;

taking into account the viscosity of materials and reflected seismic waves, the stresses created by volumetric longitudinal and transverse waves on cylindrical shells in a semi-deformable space are determined;

according to the results of field experiments and theoretical analytical results, it was found that stresses and deformations obtained in experiments conducted in the field under the influence of seismic and explosive waves lead to large (46%) errors at small (less than 100 m) values of the distance (between the explosive and the shell), and at large distances – to errors up to 15%.

Approbation of the results of the study. The research results were discussed at 6 scientific and practical conferences, 2 international conferences.

Publication of the results of the study. In total, 23 scientific papers have been published on the topic of the dissertation, including 7 articles in scientific publications recommended for publication of the main scientific results of doctoral (doctoral) dissertations of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, including 3 in the Republic and 4 of them published in foreign scientific journals.

The structure and Scope of the dissertation. The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation was 114 pages.

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

I-bo'lim (I часть; I part)

1. Safarov U.I., Kulmurov N., Namrayev N. Собственные колебаний пластины на вязкоупругом основании винклеровского типа // Journal of Advances in Engineering Technology. – 2021, September. – С. 91-93 (IF=3,955). <https://cyberleninka.ru/article/n/sobstvennye-kolebaniy-plastiny-na-vyazkouprugom-osnovanii-vinklerovskogo-tipa/viewer>
2. Axmedov Sh., Safarov U.I., Kulmurov N., Choriyev M., Namrayev N. Vibrations of deformable cylindrical shells with a viscoelastic filler // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. –USA. –2021. –С. 178-186 (IF=6,630). <http://www.t-science.org/arxivDOI/2021/09-101/09-101-11.html>
3. Teshayev M., Safarov U.I., Djurayev Sh., Eshpo'latov B. Non-Story Vibration of a Viscoelastic Cylindrical Shell with a Viscous Fluid // International Journal of Innovative Analyses and Emerging Technology January. – 2022. – P. 63-69 (IF=7,225). <https://openaccessjournals.eu/index.php/ijiaet/article/view/950>
4. Vaxitov M.M., Safarov U.I. Оценка технического состояния и усиление конструкций архитектурного памятника «Бухарская водонапорная башня» // Palarch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology is a SCOPUS Indexed and Q3 Journal. – 2021. P. 4880-4888. (IF=0,11) <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/7060>
5. Raхmonov B., Axmedov Sh., Safarov U.I. Сейсмические эффекты промышленных взрывов, проведенных в Джумуртауском карьерах // ВухМТИ “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” ilmiy-texnikaviy jurnali. – 2022. – № 2. 247-251 b. (05.00.00 №24).
6. Safarov I.I., Teshayev M.X., Safarov U.I. Демпфирование вибрационных колебаний стержневых и трубчатых конструкций // ВухМТИ “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” ilmiy-texnikaviy jurnali. . – 2022. – № 3. 142-150 b. (05.00.00 №24).
7. Sodiqov Q.SH., Safarov U.I. ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ С СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОМ С-3 (Монография) // . –Бухара, Изд. «Дурдона». – 2021. -232 с.
8. Sodiqov Q.SH., Tojiyev I.I., Safarov U.I. Повышение прочности и деформативные характеристики бетонов (Монография) // . –Германия, ЛАП. Ламберт. – 2021. -224 с.

II -bo'lim (II часть; II part).

9. Safarov U.I., Ishmatov M., Kulmurov N., Xalilov Sh., Axmedov N. Vibration of burned pipes insulated with soft soil under exposure to seismic loads // AIP Conferense Proceedings. – Krasnoyarsk, Rossiya. – 2022. –P. 1-6 (IF=0,402) <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0091544>
10. Safarov U.I., Axmedov Sh., Tursunov I., Boltayev S., Hakimov Sh. Natural Vibrations of Reinforced Viscoelastic Cylindrical Shells with a Viscoelastic Filler.

Part 1 // AIP Conference Proceedings. – Krasnoyarsk, Rossiya. –2022. –P. 1-5 (IF=0,402) <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0117821>

11. Safarov U.I., Choriyev M. Portlash yuklanishlarining ta'siriga balka nazariyasi asosida himoya inshootlarini hisoblash // Urganch Davlat Universiteti "ILM SARCHASHMALARI" Ilmiy nazariy, metodik jurnal. – 2023. – № 5/1. 11-17 b.

12. Safarov U.I., Raхmonov K.K Вынужденные колебания вязкоупругих систем с конечным числом степеней свободы // «Yuqori texnologiyalarga asoslangan texnik va texnologik jarayonlarni modellashtirishning zamonaviy muammolari» («Oliy matematika» kafedrasida tashkil etilganligining 50 yilligiga bag'ishlanadi) mavzusida respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Buxoro. – 2013. 48-49 b.

13. Safarov U.I Динамические эффекты, связанные с диссипативной неоднородностью конструкций // «Yuqori texnologiyalarga asoslangan texnik va texnologik jarayonlarni modellashtirishning zamonaviy muammolari» («Oliy matematika» kafedrasida tashkil etilganligining 50 yilligiga bag'ishlanadi) mavzusida respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Buxoro. – 2013. 83-85 b.

14. Safarov U.I., Ismatov X.B Оценка практической сходимости метода на задачах о собственных колебаниях упругих пластин с точечными связями// «Yuqori texnologiyalarga asoslangan texnik va texnologik jarayonlarni modellashtirishning zamonaviy muammolari» («Oliy matematika» kafedrasida tashkil etilganligining 50 yilligiga bag'ishlanadi) mavzusida respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Buxoro. – 2013. 88-91 b.

15. Safarov U.I., Ismatov X.B Математическая постановка задачи о собственных колебаниях упругой прямоугольной пластины с точечными связями // «Yuqori texnologiyalarga asoslangan texnik va texnologik jarayonlarni modellashtirishning zamonaviy muammolari» («Oliy matematika» kafedrasida tashkil etilganligining 50 yilligiga bag'ishlanadi) mavzusida respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Buxoro. –2013. 88-91 b.

16. M.M.Vaxitov., Safarov U.I Моделирование термических напряжений, возникающих в свежеуложенном бетоне в условиях сухого жаркого климата // «Yuqori texnologiyalarga asoslangan texnik va texnologik jarayonlarni modellashtirishning zamonaviy muammolari» («Oliy matematika» kafedrasida tashkil etilganligining 50 yilligiga bag'ishlanadi) mavzusida respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Buxoro. – 2013. 268-271 b.

17. Safarov U.I., Dehqonov S., Amrillayev N., Naimova G., Ulug'ov A Quruq issiq iqlim sharoitida binolarning shamollatish tizimini loyihalash to'g'risida // "Fan-texnika yutuqlari xalqimizni obod turmush tarzini yuksaltirish yo'lida" mavzusida professor-o'qituvchilar, izlanuvchilar, magistrlar va talabalar ilmiy amaliy anjumani maqolalar to'plami (2 qism). – Buxoro. – 2013. 296-297 b.

18. Safarov U.I., Boltayev Z., Abdulazizov L., Dalmuradova N., Quliyeva I Issiq iqlim sharoitida binolarning yoritish tizimini loyihalash masalasi // "Fan-texnika yutuqlari xalqimizni obod turmush tarzini yuksaltirish yo'lida" mavzusida

professor-o‘qituvchilar, izlanuvchilar, magistrlar va talabalar ilmiy amaliy anjumani maqolalar to‘plami (2 qism). – Buxoro. – 2013. 298-299 b.

19. Safarov U.I., Nuriddinov B.Z., Ruzimov A., Otajonova N.B. Математическое моделирование динамического поведения клапанного механизма // Globallashuv davrida matematika va amaliy matematikaning dolzarb masalalari. Respublika ilmiy anjumani (2 qism). – Buxoro. –2021. 106-110 b.

20. Рахмонов В., Safarov U.I., Хамроева Z О воздействии сейсмических волн на двух ниточный трубопровод с жидкостью // Toshkent Kimyo-texnologiya instituti “Механика va matematikaning amaliy muammolari” Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. –2022. 84-87 b.

21. Safarov U.I., Nigmatillayev B О обственных колебаниях вязкоупругих цилиндрических оболочек // Toshkent Kimyo-texnologiya instituti “Механика va matematikaning amaliy muammolari” Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. – 2022. 194-199 b.

22. Safarov U.I., Ishmamatov M., Umarov A О напряженно-деформированном состоянии цилиндрической тоннели под воздействием подвижных нагрузок // Toshkent Kimyo-texnologiya instituti “Механика va matematikaning amaliy muammolari” Respublika ilmiy - amaliy konferensiyasi. – 2022. 30-33 b.

23. Teshayev M., Safarov U.I., Rayimov D., Xomidov F., Axmedov M Определение оптимальных параметров динамических гасителей для диссипативных механических систем // Toshkent Kimyo-texnologiya instituti “Механика va matematikaning amaliy muammolari” Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. –2022. 276-281b.

