

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК - ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

НАВОИЙ ДАВЛАТ ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ

ЭШПЎЛОТОВ БОБИР ХУДОЙБЕРДИЕВИЧ

КЎП ҚАТЛАМЛИ ҚУДУҚ ҚОПЛАМАСИДА СЎНУВЧИ
ТЎЛҚИНЛАРНИНГ ТАРҚАЛИШ ХУСУСИЯТЛАРИ

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

ФИЗИКА - МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА
ДОКТОРИ (PhD) ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ ОЛИШ УЧУН
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Бухоро–2022

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

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

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

Эшпўлотов Бобир Худойбердиевич

Кўп қатламли кудуқ қопламасида сўнувчи тўлқинларнинг тарқалиш
хусусиятлари.....3

Эшпўлотов Бобир Худойбердиевич

Свойства распространения затухающих волн в многослойных покрытиях
скважин.....21

Eshpulotov Bobir Khudoyberdievich

Characteristics of propagation of evanescent waves in multi-layer well casings39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works43

**БУХОРО МУҲАНДИСЛИК - ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАВОИЙ ДАВЛАТ ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ

ЭШПЎЛОТОВ БОБИР ХУДОЙБЕРДИЕВИЧ

**КЎП ҚАТЛАМЛИ ҚУДУҚ ҚОПЛАМАСИДА СЎНУВЧИ
ТЎЛҚИНЛАРНИНГ ТАРҚАЛИШ ХУСУСИЯТЛАРИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ФИЗИКА - МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА
ДОКТОРИ (PhD) ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ ОЛИШ УЧУН
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Бухоро–2022

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.2.PhD/FM716 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Навоий давлат педагогика институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) институт веб-сайтида (www.bmti.uz) ва «Ziyounet» Ахборот таълим порталига (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган

Илмий раҳбар :

Сафаров Исмоил Иброхимович

физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Мирзаев Ибраҳим

физика-математика фанлари доктори, профессор

Мавлонов Тўлқин Мавлонович

техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Наманган муҳандислик-қурилиш институти

Диссертация ҳимояси Бухоро муҳандислик-технология институти ҳузуридаги PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «17» декабр соат 10:00 даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 200100, Бухоро шаҳар, Қ. Муртазов кўчаси, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84; факс: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmtti_info@edu.uz).

Диссертация билан Бухоро муҳандислик-технология институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ 405 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: (200100, Бухоро шаҳар, Қ. Муртазов кўчаси, 15. Тел.:(+99895) 604-44-70.

Диссертация автореферати 2022 йил «5» декабр куни тарқатилди.

(2022 йил «17» ноябрдаги № 2 рақамли реестр баённомаси).



M. X. Teshayev

М.Х.Тешаев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д. (DSc)

Z. I. Boltayev

З.И. Болтаев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д. (DSc)

M. Z. Sharipov

М.З. Шарипов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д. (DSc), профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясига автореферат)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ер ости фойдали қазилмалар – нефт ва газни қазиб олишда қудуқнинг яқин атрофи ва қудуқ қопламаларининг мустаҳкамлиги ҳолатини баҳолаш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда қудуқ атрофи эластик хоссаларини ўрганиш методикасини акустик тўлқинларнинг тарқалиши назариясига асосланиб ишлаб чиқиш талаб қилинади. Бу ҳолат бурғилаш ўқи бўйлаб тарқаладиган тўлқин амплитудаси чуқурлик ошиши билан бироз миқдорда сусаядиган сейсмик тадқиқотларни амалга ошириш зарурлигини кўрсатади. Бу борада ривожланган хорижий давлатларда, жумладан, АҚШ, Франция, Япония, Италия, Россия, Хитой, Туркия ва бошқа мамлакатларда фойдали қазилмалар – нефт ва газ маҳсулотларини қазиб олишда қудуқларнинг мустаҳкамлигини таъминлаш, қудуқ қопламаларида ҳосил бўладиган динамик кучланиш ва деформацияларни рухсат этилган чегарада камайтириш, зўриқишлар йиғилишининг энг кичик ҳолатда тақсимланишини таъминловчи ишончли ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда фойдали қазилмалар қудуқларининг деформацияланувчи грунтли муҳит билан алоқасини ҳисобга олувчи турли хил моделлар асосида конкрет масалаларни ҳисоблаш усуллари ҳамда дастурларини ишлаб чиқиш учун мақсадли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, суюқликли қудуқларни лойиҳалаш жараёнида грунтли муҳит ва қобик орасидаги контакт хусусиятларини, физик-механик ва реологик хоссаларини ҳисобга олиб қудуқ қопламаларида ҳосил бўладиган кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳамда иншоотларнинг хавфли зўриққанлик ҳолати таҳлили борасида мақсадли илмий тадқиқотларни олиб бориш долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда ер ости иншоотларининг мустаҳкамлигини ошириш ҳамда уларнинг хавфсизлигини таъминлаш бўйича кенг кўламли чоратадбирлар амалга оширилмоқда. 2020 йил 29 октябрда Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Илм-фанни 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги Фармонида, жумладан, «...илмий-инновацион салоҳиятдан кенг фойдаланиш, истиқболда илм-фанни мунтазам ислоҳ қилиб боришнинг устувор йўналишларини белгилаш, замонавий билимга эга ва мустақил фикрлайдиган юқори малакали кадрлар тайёрлаш,...»¹ вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, жумладан, чексиз муҳитда жойлашган цилиндрик қудуқларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати, динамик хусусиятларини аниқлаш методикаси ва алгоритминини ишлаб чиқиш, ривожлантириш муҳим

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 29 октябрдаги ПФ-6097-сон “Илм-фанни 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги Фармони

ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2020 йил 30 июлдаги ПҚ-4794-сонли «Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ва Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2020 йил 26 августдаги 515-сонли «Ўзбекистон Республикаси Фавқулодда вазиятларнинг олдини олиш ва бундай вазиятларда ҳаракат қилиш давлат тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида»ги Қарори, шунингдек, мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот иши Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика, иншоотлар сейсמודинамикаси ва информатика» устувор йўналишга мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Кўп қатламли муҳитда, қобикларда тўлқин тарқалиши ва динамик кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати муаммосини тадқиқ қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан, Трояновский И.Е., Кийко И.А., Ильюшин А.А., Горшков А.Г., Шемякин Е.И., Гузь А.Н., Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Ержанов Ж.С., Айтиалиев Ш.М., Дорман И.Я., Оганесов Г.И., Балсон Ф.С., Гринченко В.Т., Молотков Л.А., Новичков Ю.И., Петрашень Г.И., Матвеевко В.П., Шардаков И.Н., Старовойтов Э.И., Кольский Г., Davis R.M., Wayt J.A., Miker T., Maytsler A., Ahenbah J.D., Shafer V.V., San R.I. ва бошқалар.

Ерости иншоотларини кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини тадқиқ қилишнинг самарали усуллари ишлаб чиқиш ва такомиллаштиришда Ўзбекистонлик таниқли олимларнинг илмий ишлари бағишланган. Булардан: Рахматулин Х.А., Ўрозбоев М.Т., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Ширинкулов Т.Ш., Хожметов Г.Х., Ишанходжаев А.А., Муборақов Я.Н., Буриев Т., Мирсаидов М.М., Мардонов Б.М., Султонов К.С., Маматкулов Ш.М., Бадалов Ф.Б., Мирзаев И., Мавлонов Т.М., Юлдашев Ш.С., Абдусатторов А., Сағдиев Х., Сафаров И.И., Тешаев М.Х., Абдуқодиров С., Худойназаров Х., Бўриев А.Т., Усаров М.К. ва бошқа кўплаб мутахассислар муҳит билан алоқада бўлган пластинкасимон, цилиндрик ёки сферик кўринишдаги жисмларда тўлқин юкланиши масалаларини ҳисоблаш усуллари ривожлантиришга ўзларининг салмоқли ҳиссаларини қўшишган.

Шу билан бирга, муҳит ва кудуқ копламаларининг қовушқоқлик хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда тўлқин юкланиши таъсирида ҳосил

бўладиган динамик кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолаш усуллари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация мавзусини диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Навоий давлат педагогика институти илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ FM-01-2020-318 “Табиий жараёнларни математик моделлаштириш ва математика фанларини ўқитишда замонавий технологиялар” (2020-2021) лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади кўп қатламли қовушқоқ-эластик қудуқ қопламаларида сўнувчи тўлқинларни тарқалиш хусусиятларини муҳит билан контактда бўлган ҳолда ўрганиш ва қудуқда ташқи динамик юкланиш таъсирида ҳосил бўладиган кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолашга қаратилган ҳисоблаш усулини ва алгоритминини ишлаб чиқиш, аналитик ҳамда сонли ҳисоблаш усулларини такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

кўндаланг кесими доирасимон, қовушқоқ-эластик муҳит билан ўзаро боғланишда бўлган суюқликли цилиндрик қудуқ қопламасида сўнувчи хос тўлқинлар тарқалиши, шунингдек, динамик юкланиш таъсирида ҳосил бўлган кучланганлик- деформацияланганлик ҳолати масалаларини ечиш методикаси ва алгоритминини ишлаб чиқиш;

частотанинг юқори модаларида узилиш (отсечка) ҳодисаси рўй бериши билан характерланиши, кичик қийматларида эса тўлқин мавжуд бўлмаслигини аниқлаш;

қовушқоқ-эластик қопламали қудуқнинг геометрик ва физик -механик параметрларини танлаш орқали қудуқдаги динамик юкланишлар таъсирида ҳосил бўлиши мумкин бўлган резонанс соҳаларини аниқлаш;

қудуқ қопламалари ва муҳитнинг қовушқоқлик хусусиятининг қувур тўлқини энергиясининг диссипациясига таъсирини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида қовушқоқ-эластик муҳит билан контактда бўлган идеал суюқликли цилиндрик қобиклар олинган.

Тадқиқотнинг предмети: қовушқоқ-эластик муҳит билан контактда бўлган қудуқ қопламаларида хос тўлқинлар тарқалиши, динамик юкланиш таъсирида ҳосил бўлган кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати ва динамик характеристикаларини аниқлаш жараёнлари ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида деформацияланувчан қаттиқ жисмлар механикаси ва қурилиш механикаси усулларидан, ҳисоблаш математикаси, математик моделлаштириш, дастурлаш усуллари, хусусий ҳосиллали дифференциал тенгламаларни ечиш учун “музлатиш”, ўзгарувчиларни ажратиш, Гаусс, Лаплас ва чекли айирмалар усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

кўндаланг кесими доирасимон, қовушқоқ-эластик муҳит билан ўзаро контактда бўлган суюқликли цилиндрик қудуқ қопламасида сўнувчи

тўлқинлар тарқалиши назарияси ривожлантирилган, динамик юкланиш таъсирида ҳосил бўладиган кучланганлик- деформацияланганлик ҳолати масалаларини ечиш методикаси ва алгоритми ишлаб чиқилган;

дисперсион муносабатлардан фойдаланиб частотанинг юқори модаларида узилиш (отсечка) ҳодисаси рўй бериши билан характерланиши, кичик қийматларида эса тўлқин мавжуд бўлмаслиги сонли натижалардан аниқланган;

кудукда тўлқин ютилиши жараёни юз бериши ҳамда фаза тезлиги ёки частотанинг комплекс катталиқ бўлиши таҳлилидан дисперсион тенглама илдизларининг ҳақиқий ва мавҳум қисмларининг жойлашуви тўлқин сонига боғлиқ бўлиши аниқланган;

сонли ҳисоблашлар натижасида кудуқ қопламалари ва муҳитнинг қовушқоқлик хусусиятини ҳисобга олиш қувур тўлқини энергиясининг диссипациясига 15-20% гача, сув тўлқини диссипациясига эса 15% гача таъсир этиши топилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

кўп қатламли цилиндрик формадаги кудуқ қопламаларида ҳос тўлқинларнинг фаза ва гуруҳ тезлиги ўраб турувчи муҳитнинг реологик хоссаларига боғлиқлиги топилган;

гармоник юкланишлар таъсирида бўлган кўп қатламли цилиндрик формадаги кудуқ қопламаларида ҳосил бўладиган кучланганлик- деформацияланганлик ҳолатини тадқиқ қилишда юкланиш манбасининг объект геометриясига ва тўлқин параметрларига боғлиқлик даражаси аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги чегаравий шартларнинг коррект қўйилиши, келтириб чиқарилган математик ифодаларнинг қатъийлиги, асосланган ечиш усулларида тизимли фойдаланилганлиги, ечимларнинг аниқлилигини баҳолашда бошқа тадқиқотчилар ечимлари билан таққосланганлиги ва уларнинг натижаларига мос тушганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти сифатида деформацияланувчан муҳит билан ўзаро боғланишда бўлган кўп қатламли кудуқ қопламаларида ва уни ўраб турувчи муҳитда ҳосил бўладиган тўлқин динамикаси назариясининг ривожланишига салмоқли ҳисса қўшиши ҳамда уни такомиллаштириши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти юкланишлар таъсирида цилиндрик формада бўлган кудуқ қопламаларида ҳосил бўладиган кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолашнинг янги қонуниятларининг аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Тадқиқотдаги қовушқоқ-эластик кўп қатламли кудуқ қопламаларида ва уни ўраб турувчи муҳитда тўлқин тарқалиши назариясини ривожлантириш

бўйича ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари ва алгоритм бўйича олинган натижалар асосида:

цилиндрлик қобиксимон, босим остида ишловчи қувурлар билан муҳитнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олиш масалаларини ечишда Бухоро муҳандислик-технология институти илмий тадқиқот режасига кўра 2012-2016-йилларда бажарилган Ф-4-04 рақамли “Суюқлик оқувчи ерости эгри чизиқли қувурнинг динамик кучлар таъсиридаги кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини тадқиқ қилиш назариясини ривожлантириш ва ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш” фундаментал лойиҳасида фойдаланилган (2022 йил 5- июлдаги 02/02-89-680 - сонли маълумотнома). Натижада, диссертация ишида олинган илмий натижаларнинг қўлланилиши орқали суюқлик оқувчи эластик ҳамда қовушқоқ-эластик қувурлар тебранишининг резонанс амплитуда соҳаларини баҳолаш имконини берган;

чизиқли дифференциал тенгламалар системасининг хос сон ва хос векторларини топиш алгоритмидан Тошкент кимё-технология институти Давлат илмий техника дастури доирасида 2016-2020 йилларда бажарилган ОТ-Ф4-01 “Қовушқоқ суюқлик оқувчи кўп қатламли композит қувурлар эгри чизиқли бўлакларининг ҳарорат ва динамик юкланишлар таъсирида чизиқли бўлмаган динамик кучланиш-деформация ҳолатини ўрганиш усуллари ишлаб чиқиш ва назариясини ривожлантириш” мавзусидаги фундаментал лойиҳада (2022 йил 10-майдаги маълумотнома) фойдаланилган. Натижада қовушқоқ суюқлик оқувчи кўп қатламли композит қувурларнинг чизиқли бўлмаган динамик кучланиш ва деформацияларини ҳисоблаш аниқлиги 12% гача ошишига эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари Халқаро, Республика анжуманларида муҳокама қилинган ва маъқулланган. Жумладан, 2 та Халқаро ва 3 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 11 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, шундан, 1 таси республика ва 5 таси хорижий журналларда нашр қилинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 108 бетни ташкил қилади.

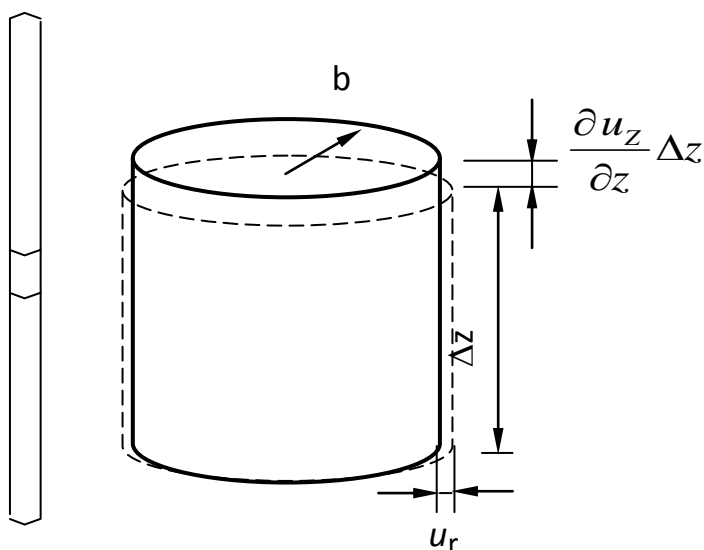
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация тадқиқотининг долзарблиги ва зарурияти асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари шакллантирилган. Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига

мувофиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган. Олинган натижаларнинг ишончилиги асосланган, уларнинг илмий ва амалий аҳамиятлари ёритилган. Тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилиши, ишнинг апробацияси, чоп этилган ишлар, диссертация тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Кудук қопламаларида тўлқинларнинг тарқалишига бағишланган адабиётлар таҳлили**» деб номланган биринчи бобида муҳит билан боғланишда бўлган цилиндрик қобикда тўлқинларнинг тарқалишига бағишланган адабиётларнинг қисқача таҳлили келтирилган. Муҳит билан боғланишда бўлган цилиндрик қобикқа манбадан тарқалувчи ташқи тўлқиннинг юкланиши ва тарқалишида материалларнинг қовушоқлик хусусиятини ҳисобга олиб ўрганишнинг ягона методикасини ишлаб чиқиш муаммоси ҳал этилмаган. Адабиётлар таҳлилидан келиб чиқиб хулоса қилинган. Бу хулосалар асосида диссертация ишининг мақсади белгиланган ва шу мақсадга мувофиқ вазифалар қўйилган.

Диссертациянинг «**Кўп қатламли кудук қопламаларида сўнувчи тўлқинларнинг тарқалиш масалаларининг қўйилиши ва ечиш усуллари**» деб номланган иккинчи бобида масалаларнинг математик қўйилиши ва ечиш усуллари келтирилган (1-расм).



1-расм. Кудукдаги суюқликнинг элементар ҳажмининг ўзгариши (u_r ва u_z - мос равишда радиал ва ўқ бўйича кўчиши)

Қалинлиги $h = \sum_{n=1}^N h_n$ бўлган n -қатламли қовушоқ - эластик

цилиндрик жисмда хос тўлқин тарқалиши масаласини кўрамиз. Декарт координаталар системасида ($Oxyz$) қатлам қўйидаги соҳани эгалласин: $x \in (-\infty, +\infty)$, $y \in (-\infty, +\infty)$, $z \in [-h, h]$. Фараз қилайлик, бу жисмда фаза

тезлиги c ($c=c_R+ic_I$) бўлган хос тўлқин тарқалсин. У ҳолда кўриладиган қовушқоқ-эластик механик системанинг Ламе тенгламаси (ҳажмий кучларни ҳисобга олмаганда) вектор кўринишида қуйидагича:

$$\tilde{\mu}_k \nabla^2 \bar{u} + (\tilde{\lambda}_k + \tilde{\mu}_k) \text{graddiv} \bar{u} = \rho_k \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2}, \quad (k=1, 2, 3, \dots, N). \quad (1)$$

$$\tilde{\lambda}_k f(t) = \lambda_{0k} \left[f(t) - \int_0^t R_{\lambda k}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right],$$

$$\tilde{\mu}_k f(t) = \mu_{0k} \left[f(t) - \int_0^t R_{\mu k}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right].$$

бу ерда $f(t)$ —вақтнинг ихтиёрий функцияси. $R_{\lambda k}(t-\tau)$ ва $R_{\mu k}(t-\tau)$ релаксация ядролари, λ_{0k} , μ_{0k} — оний эластиклик модуллари ($k=1, \dots, N$).

Кўйилган масала математик физика фанининг интегро-дифференциал тенгламалар системасига олиб келинган. (1) тенгламадаги интеграл остидаги функцияни секин ўзгарувчи деб фараз қилсак, у ҳолда музлатиш усули қўлланилади ва қуйидаги кўринишдаги комплекс коэффициентли тенгламага келамиз:

$$\lambda_{0k} [1 - \Gamma_{\lambda k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\lambda k}^s(\omega_R)] \text{graddiv} \bar{u} + \mu_{0k} [1 - \Gamma_{\mu k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\mu k}^s(\omega_R)] (\nabla^2 \bar{u} + \text{graddiv} \bar{u}) = \rho_k \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} \quad (2)$$

бу ерда

$$\Gamma_{\lambda k}^c(\omega_R) = \frac{\nu_k}{(1+\nu_k)(1-2\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau \quad \Gamma_{\lambda k}^s(\omega_R) = \frac{\nu_k}{(1+\nu_k)(1-2\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau$$

$$\Gamma_{\mu k}^c(\omega_R) = \frac{\nu_k}{2(1+\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau \quad \Gamma_{\mu k}^s(\omega_R) = \frac{\nu_k}{2(1+\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau$$

Кўп қатламли цилиндрик қобикда тўлқин тарқалиши ўрганилса, $r = r_k$ да қаттиқ маҳкамланганлик шарти қўйилса, у ҳолда кучланишлар тензори ва кўчиш векторининг мос компоненталари узлуксизлик шартларини қаноатлантириши керак:

$$\sigma_{rr}^{(k)} = \sigma_{rr}^{(k+1)}, \quad \sigma_{r\theta}^{(k)} = \sigma_{r\theta}^{(k+1)}, \quad \sigma_{rz}^{(k)} = \sigma_{rz}^{(k+1)}, \quad (3)$$

$$u_r^{(k)} = u_r^{(k+1)}, \quad u_\theta^{(k)} = u_\theta^{(k+1)}, \quad u_z^{(k)} = u_z^{(k+1)}.$$

Агар бўлиниш чегарасида ишқаланиш бўлмаса, у ҳолда қуйидагича бўлади:

$$\sigma_{rr}^{(k)} = \sigma_{rr}^{(k+1)}, \quad \sigma_{r\theta}^{(k)} = \sigma_{r\theta}^{(k+1)} = \sigma_{rz}^{(k)} = \sigma_{rz}^{(k+1)} = 0, \quad u_r^{(k)} = u_r^{(k+1)}. \quad (4)$$

Эркин сиртда эса кучланишлардан озодлик шарти қўйилади:

$$\sigma_{rr}^{(k)} = 0, \quad \sigma_{r\theta}^{(k)} = 0, \quad \sigma_{rz}^{(k)} = 0.$$

Кўйилган масала цилиндрик координаталар системасида Грин – Ламе тасвирлаган потенциал функциялари орқали ечилади:

$$\bar{u}_k = \text{grad} \varphi_k + \text{rot} \vec{\psi}_k, \quad \text{div} \vec{\psi}_k = 0, \quad (5)$$

Бунда $\vec{u}_n(u_{rn}, u_{\theta n}, u_{zn})$ -мухитнинг кўчиш вектори, ϕ – бўйлама тўлқин потенциали, $\vec{\psi}(\psi_{rn}, \psi_{\theta n}, \psi_{zn})$ -кўндаланг тўлқин потенциали. Бу потенциаллар қуйидаги тенгламаларни қаноатлантиради:

$$\Gamma_{\lambda\mu n}^* \nabla^2 \phi_n - \frac{1}{c_{pn}^2} \frac{\partial^2 \phi_n}{\partial t^2} = 0, \quad \Gamma_{\mu n}^* \nabla^2 \psi_{zn} - \frac{1}{c_{sn}^2} \frac{\partial^2 \psi_{zn}}{\partial t^2} = 0, \quad (6)$$

$$\Gamma_{\mu n} (\nabla^2 \psi_{\theta n} - \frac{\psi_{\theta n}}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\psi_{rn}}{\partial \theta}) - \frac{1}{c_{s0n}^2} \frac{\partial^2 \psi_{\theta n}}{\partial t^2} = 0, \quad \Gamma_{\mu n} (\nabla^2 \psi_{rn} - \frac{\psi_{rn}}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\psi_{\theta n}}{\partial \theta}) - \frac{1}{c_{s0n}^2} \frac{\partial^2 \psi_{rn}}{\partial t^2} = 0$$

бунда $\Gamma_{\lambda\mu k}^* = 1 - \Gamma_{\lambda\mu k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\lambda\mu k}^s(\omega_R)$, $\Gamma_{\mu k}^* = 1 - \Gamma_{\mu k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\mu k}^s(\omega_R)$;

$\Gamma_{\lambda\mu k}^c(\omega_R)$, $\Gamma_{\lambda\mu k}^s(\omega_R)$, $\Gamma_{\mu k}^c(\omega_R)$, $\Gamma_{\mu k}^s(\omega_R)$ - релаксация ядросининг косинус ва синус Фурье тасвирлари, $c_{pn}^2 = \frac{(\lambda_{n0} + 2\mu_{n0})}{\rho_n}$, $c_{sn}^2 = \frac{\mu_{n0}}{\rho_n}$. – бўйлама ва кўндаланг тўлқин тарқалиш тезликлари.

(6) дифференциал тенгламалар системасини ечими қуйидагича изланади:

$$\begin{aligned} \phi_n(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \phi_n(\alpha_n r) \begin{Bmatrix} \cos k\theta \\ -\sin k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t}; \\ \psi_{rn}(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{rn}(\beta_n r) \begin{Bmatrix} \sin k\theta \\ -\cos k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t} \\ \psi_{\theta n}(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{n\theta}(\beta_n r) \begin{Bmatrix} \cos k\theta \\ -\sin k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t} \\ \psi_{zn}(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{nz}(\beta_n r) \begin{Bmatrix} \sin k\theta \\ \cos k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t}; \end{aligned} \quad (7)$$

бу ерда k - бутун сон; $\gamma_p = \omega/c$ - тўлқин сони; $\omega = \omega_R + i\omega_C$ - комплекс хос тебранишлар частотаси; C ($C = C_R + iC_I$) – комплекс фаза тезлиги. Уларнинг физик маъносини аниқлаш учун иккита ҳолни кўриб чиқамиз:

1) $k = \gamma_R$, $C = C_R + iC_I$, у ҳолда (7) ечим амплитудаси вақт бўйича сўнувчи, x координата бўйича синусоида кўринишини олади;

2) $k = \gamma_R + i\gamma_I$; $C = C_R$, у ҳолда барча x нуқталарда тебраниш турфун бўлади, лекин x ўқи бўйича сўнади.

Тенгламалар системасининг ечими махсус функциялар орқали қуйидагича ифодаланади:

$$\begin{aligned} \phi_1(r) &= A_{1m} Z_m(\alpha_1 r) + A_{2m} W_m(\alpha_1 r); \quad \Psi_{z1}(r) = A_{3m} Z_m(\beta_1 r) + A_{4m} W_m(\beta_1 r); \\ \Psi_{r1}(r) - \Psi_{\theta1}(r) &= 2A_{5m} Z_{m+1}(\beta_1 r) + 2A_{6m} W_{m+1}(\beta_1 r); \\ \Psi_{r1}(r) + \Psi_{\theta1}(r) &= 2A_{13m} Z_{n-1}(\beta_1 r) + 2A_{14m} W_{m-1}(\beta_1 r); \\ \phi_2(r) &= A_{7m} Z_m(\alpha_1 r) + A_{8m} W_m(\alpha_1 r); \quad \Psi_{z2}(r) = A_{9m} Z_m(\beta_1 r) + A_{10m} W_m(\beta_1 r); \\ \Psi_{r2}(r) - \Psi_{\theta2}(r) &= 2A_{11m} Z_{m+1}(\beta_1 r) + 2A_{12m} W_{m+1}(\beta_1 r); \\ \Psi_{r2}(r) + \Psi_{\theta2}(r) &= 2A_{15m} Z_m(\beta_1 r) + 2A_{16m} W_{m+1}(\beta_1 r), \end{aligned} \quad (8)$$

Юқорида келтирилган (8) муносабатлардан фойдаланиб кучланишларнинг қуйидаги ифодаларини оламиз:

$$\begin{aligned}\sigma_{rm} &= \left\{ -\bar{\lambda}_n (\alpha_n^2 + \gamma_p^2) \phi_n + 2\bar{\mu}_n \left[\phi_n'' + \frac{k}{r} \left(\Psi_n' - \frac{1}{r} \Psi_{zn} \right) + \gamma_p \Psi_{zn}' \right] \right\} \cos(n\theta) e^{-i(-\alpha t + \gamma_p z)} \\ \sigma_{r\theta} &= \bar{\mu}_n \left[\frac{2k}{r} \left(\frac{1}{r} \phi_n - \phi_n' \right) + (\beta_p^2 \Psi_{zn}' - 2\Psi_{zn}') + \gamma_p \left(\Psi_{rm}' - \frac{k+1}{r} \Psi_{rm} \right) \right] \sin(n\theta) e^{-i(-\alpha t + \gamma_p z)} \\ \sigma_{rz} &= \bar{\mu}_n \left[-2\gamma_p \phi_n' - \frac{k\gamma_p}{r} \Psi_{zn} - \frac{k}{r} \Psi_{zn}' - \left(\frac{k^2 - k - 1}{r^2} - \beta_n^2 + \gamma_p^2 \right) \Psi_{zn} \right] \cos(n\theta) e^{-i(-\alpha t + \gamma_p z)}\end{aligned}\quad (9)$$

1-расмда келтирилганидек, элементар ҳажм ажратиб олиб Ньютоннинг иккинчи қонунидан фойдалансак, қуйидаги кўринишидаги дифференциал тенгламани оламиз:

$$s_b \frac{\partial p_0}{\partial z} \Delta z = -\rho s_b \Delta z \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}, s_b = \pi b^2, \quad (10)$$

бунда b - қувур ёки кудук радиуси, ρ - суюқлик зичлиги. Юқорида келтирилган (10) тенглама суюқликда тўлқин тарқалишини ифодаловчи тенглама ҳисобланади. Геофизика соҳасидаги адабиётларда бу тўлқин чуқур ўрганилган. (10) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиб оламиз:

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} = \left[\rho \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{M} \right) \right] \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}, \quad (11)$$

бунда $v_T = \left[\rho \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{M} \right) \right]^{-1/2}$ - тўлқиннинг қалин қувурда тарқалиш тезлигини,

$$M = \frac{E_0 (a^2 - b^2)}{2 \left[(1 + \nu(t))(a^2 + b^2) - 2\nu(t)b^2 \right]} [1 - \Gamma_E], \Gamma_E = \Gamma_E^c + i\Gamma_E^s,$$

а ва b- қувурнинг мос равишда ички ва ташқи радиуслари, ν – Пуассон коэффиценти, E - Юнг модули, $B = \frac{15(1-\nu)}{7-5\nu}$. Юқори тартибли комплекс

элементли (махсус функциялар комбинациясидан ташкил топган) аниқловчилардан комплекс ҳадли кўпҳадларга ўтиш ва уни Мюллер усулида ечиш алгоритми ишлаб чиқилди. Комплекс аргументли Бессел ва Нейман функцияларини ҳисоблаш алгоритми яратилди. Бу функциялар комплекс аргументли функционал қатор бўлиб, яқинлашиш радиусини топиш учун алмаштиришлар бажарилди ва ҳисоблаш жараёнида текшириб борилди.

Диссертациянинг «Қовушқоқ –эластик муҳитдаги цилиндрик бўшлиқ сиртининг тебранишлари ва хос тўлқинлар тарқалиши» деб номланган учинчи бобида хос тўлқинларнинг цилиндрик, радиус бўйича чексиз жисмда тарқалишини ўрганишга бағишланган масалаларнинг математик қўйилиши, ечиш усуллари келтирилган ва сонли натижалар олинган. Муҳитнинг тенгламаси қовушқоқлик назариясининг Ламе тенгламаси орқали ифода қилинган. Чегаравий масала эластиклик

назариясининг аралаш масаласига олиб келинган. Бўшлиқ сиртида нормал ($\sigma_{rr} = 0$) ва уринма кучланишларнинг ($\sigma_{r\theta} = \sigma_{rz} = 0$) нолга тенг бўлиш шарти қўйилган. Бу шартлардан фойдалансак, қуйидагича дисперсион тенгламани оламиз:

$$\|c_{ij}\| = 0, \quad i, j = 0, 1, 2, 3. \quad (12)$$

Бунда

$$\begin{aligned} c_{11} &= (n^2 - 1 - \Omega^2 + \gamma_p^2)H_n^{(1)}(\alpha), \\ c_{12} &= (n^2 - 1 - \beta^2)H_n^{(1)}(\beta), \\ c_{13} &= 2(n^2 - 1)\left[\beta H_{n-1}^{(1)}(\beta) - nH_n^{(1)}(\beta)\right] - \beta^2 H_n^{(1)}(\beta), \\ c_{21} &= \alpha H_{n-1}^{(1)}(\alpha) - (n+1)H_n^{(1)}(\alpha), \\ c_{22} &= \beta H_{n-1}^{(1)}(\beta) - (n+1)H_n^{(1)}(\beta), \\ c_{23} &= (2n^2 + n - \gamma_p^2)H_n^{(1)}(\beta) - 2\beta H_{n-1}^{(1)}(\beta), \\ c_{31} &= \alpha H_{n-1}^{(1)}(\alpha) - nH_n^{(1)}(\alpha), \\ c_{32} &= (1 - \Omega^2 / 2\gamma_p^2)(H_{n-1}^{(1)}(\beta) - nH_n^{(1)}(\beta)), \\ c_{33} &= n^2 H_n^{(1)}(\beta). \end{aligned}$$

(12) тенглама n ($n = 1, 2, 3, \dots$) нинг ҳар бир қийматида ўлчамсиз частота Ω , тўлқин тарқалиш доимийси γ_p ва Пуассон коэффициенти орасидаги муносабатни ифодалайди. (12) дисперсион тенглама барча бутун сонни қабул қилувчи $n \geq 0$ лар учун ўринли. Бутун $n \geq 0$ соннинг ҳар бир қийматига алоҳида – алоҳида хос сонлар оиласи мос келади. $n=1$ га цилиндрнинг эгилишдаги хос сон мос келади. $n=0$ да, умумий ҳолда, (12) дисперсион тенглама бир бирига боғиқ бўлмаган минорлардан ташкил топган бўлади. Биринчи тартибли минор буралиш тўлқини хос сонларини, иккинчиси тартибли минор бўшлиқ сиртида тарқаладиган бўйлама тўлқин хос сонларини ифода этади.

Цилиндрик қобикнинг эластик муҳитдаги хос тебранишлари қаралган. Қобик ва муҳит орасида қаттиқ маҳкамланганлик (ёки сирпанувчанлик) шартлари қўйилади ва частота тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\begin{vmatrix} h_2 Y_{1n} - Z_o(\Omega_o) X_{1n} & h_2 Y_{2n} - Z_o(\Omega_o) Z_{2n} \\ Z_{1n} & X_{2n} \end{vmatrix} = 0 \quad (13)$$

бунда

$$h_2 = h_o / R; \quad Y_{1n} = nH_n^{(1)}(\Omega_1) - \Omega_1 H_{n+1}^{(1)}(\Omega_1);$$

$$Z_{jn} = n[(1-n)H_n^{(1)}(\Omega_j) + \Omega_j H_{n+1}^{(1)}(\Omega_j)];$$

$$X_{1n} = (-d_1 \Omega_1^2 + \alpha_{n2}^1) H_n^{(1)}(\Omega_1) + \Omega_1 H_{n+1}^{(1)}(\Omega_1);$$

$$X_{2n} = (\alpha_{2n}^1 - \Omega_2^2 / 2) H_n^{(1)}(\Omega_2) + \Omega_2 H_{n+1}^{(1)}(\Omega_2);$$

$$Y_{2n} = nH_n^{(1)}(\Omega_2), \quad j = 1, 2$$

$$v_2 = 1 - v_o; \quad \alpha_{n1} = b^2(n^2 - 1) + 1; \quad \Omega_1 = \alpha_1 a;$$

$$\Omega_2 = \beta_1 \alpha = \Omega_1 (C_{\rho 1} / C_{s1}); \quad \Omega_o = \alpha_o R; \alpha_o \quad a_o = \omega / C_o;$$

$$b^2 = h^2 / 12R^2; \quad b_1 = E_1(1 - v_o^2) / (E_o(1 + v_1));$$

$$a_{n2}^1 = n^2; \quad \beta_1 = E_o h_o / (1 - v_o^2);$$

$C_o = E_o / \rho_o$ – стерженда тўлқин тарқалиш тезлиги,
 $Z_o(\Omega_o) = b_1 / [(\Omega_o^2 v_2 - a_{n1}) - n^2 / (\Omega_o^2 v_2 - a_{n2})]$. Эластик муҳитдаги цилиндрик қобикнинг осесимметрик тебранишларининг частота тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$h_2(\Omega_o^2 v_2 - a_{o1}) + b_1 - b_1 d_1 \Omega_1 H_o^{(1)}(\Omega_1) / H_1^{(1)}(\Omega_1) = 0 \quad (14)$$

бунда $\Omega_1 = \Omega_o L_1; \dots L_1 = \eta E(1 + v_1)(1 - 2v_1) / (1 - v_1)$.

Агар Ханкелнинг асимптотик ифодасидан фойдалансак, комплекс частотани аналитик кўринишини оламиз:

$$\Omega_o = -i \frac{b_1 d_1 l_1}{2h_2 v_2} + \sqrt{\frac{a_{o1}}{v_2} - \left(\frac{d_1}{h_2 v_2} + \left(\frac{d_1 l_1 b_1}{h_2 v_2} \right)^2 \right)}$$

Агар эластиклик модули E учун қуйидаги шарт бажарилса

$$E > (1 + v_1)(b^2 + 1)h_2^2 ([h_2 + (1 - v_1)]\eta(1 - 2v_1)^{-1})^{-1}(1 - v_o^2)^{-1}, \quad (15)$$

комплекс частоталарнинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари мавжуд бўлади. Сонли натижалар $n=0$ бўлганда 1 - жадвалда келтирилган.

1-жадвал.

Цилиндрик қобик эркин тебранишлар частотасининг Юнг модули E га боғлиқ ўзгариши (осесимметрик ҳол учун)

	$E=0,03$	$E=0,09$	$E=0,12$	$E=0,15$	$E=0,25$
Ω_R	1,3308D-01	2,3976D-01	3,2670D-01	4,1665D-01	1,5270D-12
Ω_I	-i1,9767D-02	-i4,5891D-02	-i6,1776D-02	-i7,9394D-02	-i1,3691D-01

Натижалар $\eta = 0,1; \nu_1 = \nu_2 = 0,14, h_0 = 0,025$ қийматлар учун олинган. (14) частота тенгламаси Мюллер усулида ечилди. Ҳисоблашлар натижалари n ($n \geq 0$) ($\nu = 0,25$) нинг турли қийматлари учун келтирилган. Жадвалдан кўришиб турибдики, n нинг ортиб бориши билан мос келувчи частотанинг ҳақиқий ва мавҳум қисми ошиб борар экан. Пуассон коэффициентининг $0 \leq \nu \leq 0,4$ ораликда ўзгариши комплекс частотанинг ҳақиқий ва мавҳум қисмларини 27% гача ўзгартирар экан. Агар $\nu = 0,5$ бўлса, сўниш коэффициенти, табиийки, нолга тенг бўлади. Қўйилган масалани ечиш учун математик физика фанининг ўзгарувчиларни ажратиш, махсус функциялар усули, Лаплас, Мюллер ва музлатиш усуллари қўлланилди. Сонли натижалар олинди ва таҳлил қилинди. Дисперсион муносабатларда параметрларнинг маълум муносабатларида эркин сатҳда дисперсияга учрамайдиган тўлқин мавжудлиги топилди. Қовушоқликнинг ҳисобга олиниши фаза тезлиги ҳақиқий қисмининг 4-5% га, мавҳум қисмининг 10-15% га, параметрларга боғлиқ, камайиши аниқланди.

Цилиндрик бўшлиқда осесимметрик тўлқин тарқалиши масаласини кўрамиз ($n=0$ деб олинади). У ҳолда юқорида келтирилган кўчишлар ва кучланишлар ифодасидан қуйидаги кўринишдаги кўчишларни оламиз:

$$\begin{aligned} u_r &= \left[F_0 \frac{dH_0^{(1)}(\alpha r)}{dr} + D_{20} i \gamma_p H_1^{(1)}(\beta r) + M_{10n} n H_n^{(1)}(\beta r) / r \right] e^{i(-\alpha r + \gamma_p z)}, \\ u_\theta &= 0, \\ u_z &= (-F_0 i \gamma_p H_1^{(1)}(\alpha r) - D_{20} \left[\frac{dH_1^{(1)}(\beta r)}{dr} + \frac{1}{r} H_1^{(1)}(\beta r) \right]) e^{i(-\alpha r + \gamma_p z)}, \end{aligned} \quad (16)$$

ва

$$u_\theta = D_{20} i \gamma_p H_1^{(1)}(\beta r) e^{i(-\alpha r + \gamma_p z)}, u_r = u_z = 0. \quad (17)$$

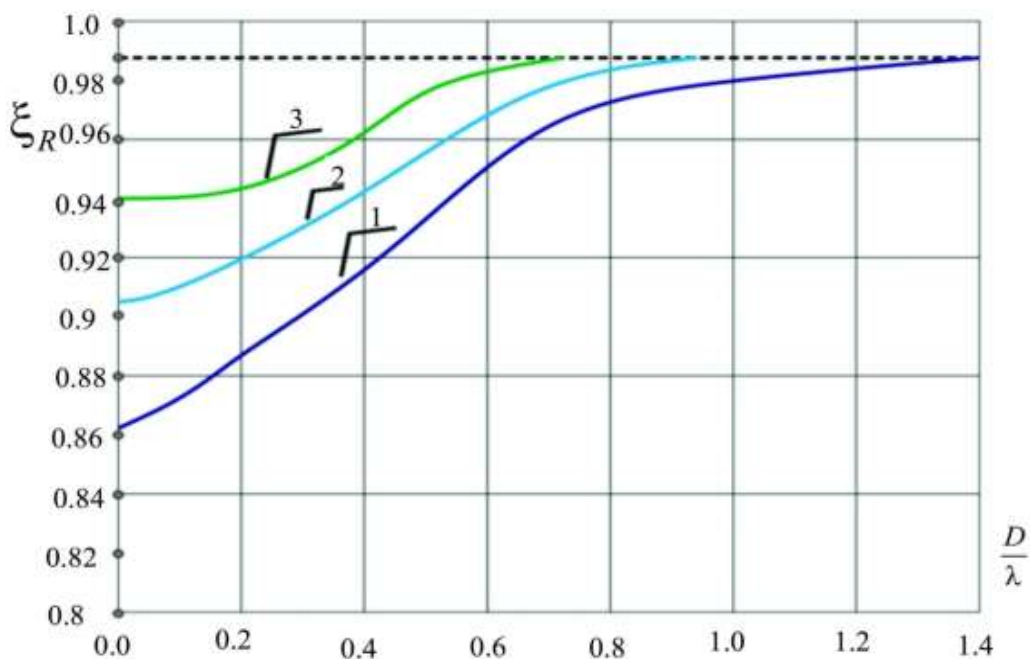
Юқорида келтирилган бир жинсли тенгламалар системаси нолдан фарқли (тривиал бўлмаган) ечимга эга бўлиши учун асосий аниқловчиси (номаълум катталиклар олдидаги коэффициентлардан тузилган) нолга тенг бўлиши керак. Охирги олинган аниқловчидан қуйидаги дисперсион тенгламани оламиз:

$$4(1 - \xi_1^2) \left[\frac{1}{\beta a} + \Psi_{H_{01}}(\bar{\beta} a) \right] - 2(1 - \xi_1^2)(1 - \xi_2^2)^{1/2} \left[\frac{1}{\bar{\alpha} a} + \Psi_{H_{01}}(\bar{\alpha} a) \right] + b \frac{\xi_1^2(2 - \xi_1^2)}{(1 - \xi_2^2)^{1/2}} \Psi_{H_{01}}(\bar{\alpha} a) = 0, \quad (18)$$

бунда $\xi_1 = c / c_s, \xi_2 = c / c_p$. У ҳолда α, β мавҳум катталиклар бўлиб, махсус функциялардан тузилган функция таркибида Макдональд функциялари пайдо бўлади:

$$\Psi_{H_{01}}(\alpha) = H_0^{(1)}(\alpha) / H_1^{(1)}(\alpha) = -iK_0(|\alpha|) / K_1(|\alpha|) = -i\Psi_K(|\alpha|).$$

Сонли натижалар 2-расмда келтирилган.



2- расм. Сирт тўлқини тезлигининг тўлқин узунлигига боғлиқ ўзгариши, (Пуассон коэффицентининг турли қийматлари учун)
 1. $\nu = 0$; 2. $\nu = 0.25$; 3. $\nu = 0.4$.

Сирт тўлқини тезлигининг тўлқин узунлигига боғлиқ ўзгариши графиги Пуассон коэффицентининг турли ($\nu = 0$; $\nu = 0.25$; $\nu = 0.4$) қийматлари учун 2-расмда келтирилган. Бу цилиндрик бўшлиқ учун олинган фаза тезлиги Рэлей тўлқинига яқинлашиши топилган. Лекин улар орасида фарқ бор. Цилиндрик бўшлиқда ҳосил бўлган сирт частотасининг кичик қийматларида узилиш (осечка)га эга ҳамда дисперсияга учрайдиган соҳалари мавжуд. Агар $n \geq 1$ бўлган ҳол тадқиқ қилинса, у ҳолда симметрик бўлмаган тўлқинлар ўрганилади. Дисперсион чизиқлар оиласи $n \geq 1$ бўлганда (18) тенгламадан аниқланади. Агар материалнинг қовушоқлиги кичик бўлса, у ҳолда нолинчи частотанинг кичик тармоғи частота узилиши (осечка)га эга бўлади.

Диссертациянинг “Суюқлик билан тўлдирилган қовушоқ-эластик хусусиятли деворга эга қудуқда гармоник тўлқинларнинг тарқалиши ва сўниш хусусиятлари” деб номланган тўртинчи бобида муҳит билан кучсиз контактда бўлган цилиндрда тўлқин тарқалиши масаласи ечилган. Муҳит билан алоқада бўлган кўп қатламли цилиндрик жисм ҳаракат тенгламаси (1) интегро-дифференциал тенгламаларни қаноатлантиради.

Муҳитда тўлқин тарқалганда $r \rightarrow \infty$ да Зоммерфельднинг ютилиш шартини қаноатлантиради. Цилиндрик координаталар системасида (r, z, θ) куйидагича кўп қатламли қувур моделини кўраимиз:

1. $(r_1 \leq r \leq r_2)$,
2. $(r_2 \leq r \leq r_3)$,...
- n-1. $(r_{n-2} \leq r \leq r_{n-1})$,
- n. $(r \geq r_n)$.

Диссертацияда келтирилган методика асосида куйидаги дисперсия тенгламаси олинади ($n=3$ учун):

$$(C(\omega_R, \omega_I, c_{pk}, c_{sk}, \gamma_p, \gamma_k, D) - \omega^2 A)V = 0, \quad (19)$$

бу ерда A - умумий ҳолда блокли диагонал матрица, C - блокли таркибга эга бўлган, элементлари комплекс аргументли Бессел (ёки Ханкел) функциялардан иборат матрица.

Фараз қилайлик, ковушқоқ - эластик муҳитда радиуси $r = a$ бўлган қудуқ суюқлик билан тўлдирилган бўлсин. $У$ ҳолда дисперсион тенглама куйидагича бўлади:

$$\rho_{12} \frac{c_\phi^4}{c_{s2}^4} \bar{\alpha}_2 I_0(\bar{x}) + \bar{\alpha}_1 I_1(\bar{x}) \left\{ \left(2 - \frac{c_\phi^2}{c_{s2}^2} \right)^2 \frac{K_0(\bar{y})}{K_1(\bar{y})} - 4\bar{\alpha}_2 \bar{\beta}_2 \frac{K_0(\bar{q})}{K_1(\bar{q})} - \frac{2\bar{\alpha}_2 c_\phi^2}{k a c_{s2}^2} \right\} = 0. \quad (20)$$

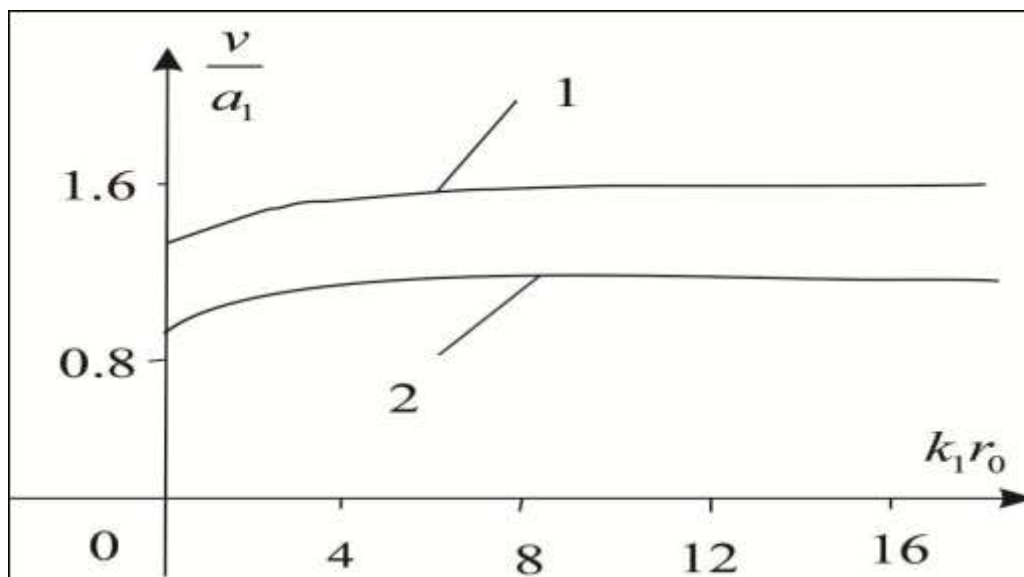
бу ерда $\bar{\alpha}_1 = \sqrt{1 - c_\phi^2 / \Gamma_{p1} c_{p1}^2}$, $\bar{\beta}_2 = \sqrt{1 - c_\phi^2 / \Gamma_{s1} c_{s2}^2}$, $\bar{q} = k a \bar{\beta}_2$. Бу ерда суюқликда ва қудуқ қопламаларида тўлқин тарқалади деб қаралади: $R_{\lambda k}(\tau) = R_{\mu k}(\tau) = 0$. $У$ ҳолда $\bar{x} = k a \alpha_1$, $\bar{y} = k a \alpha_2$, $\bar{q} = k a \beta_2$, $\Gamma_{p1}(\tau) = R_{s1}(\tau) = 1$. (20) дисперсион муносабатни таҳлил қиламиз. Юқорида келтирилган (20) дисперсион тенгламага кирувчи параметрлар ҳақиқий сонлар соҳасига тегишли бўлса ҳам, унинг илдизлари ҳақиқий, комплекс ёки мавҳум бўлиши мумкин. Қудуқ чексизлик билан чегараланганлиги учун, тўлқин ютилиши жараёни юз беради. Шунинг ҳисобидан фаза тезлиги ёки частота комплекс бўлади. Кўрсатиш мумкинки, (20) дисперсион тенгламанинг ярим текисликнинг чап бўлаги ($Re m < 0$) да комплекс илдизлари мавжуд бўлади. Тўлқин сони $\gamma_{pr2} = 1,2$ га тенг бўлган нуқта яқинида кўзғалиш функциялари кескин ортади. Сўниш энергияси $\gamma_{pr2} \geq 1,5$ бўлганда кечикиш билан ўсишни бошлайди. Бу фаза тезлигига эга бўлган кучли тебранишлар мавжудлигини ва динамикаси атроф - муҳитнинг кучсиз таъсири бўлган $0 \leq \gamma_{pr2} \leq 1.4999$ интервалга мос келадиган сўниш коэффициентининг пасайишини кўрсатади.

2- жадвал. Олинган натижаларнинг амеркалик олим Уайтнинг тажриба натижалари билан солиштириш натижалари

1- Уайт натижалари, 2 –диссертация методикаси бўйича олинган натижалар.

l/λ		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	9,0
(c/c ₀)	1	0,9784	0,9420	0,8319	0,7645	0,6721	0,5361
	2	0,8273	0,8191	0,7987	0,6479	0,4919	0,3832

Олинган натижалар амеркалик олим Уайтнинг тажриба натижалари билан солиштирилди. Натижалар 25% гача фарқ қилиши топилди. Суюқликли муҳитда жойлашган икки қатламли цилиндрда тўлқин фаза тезлигининг ўзгариши 3-расмда келтирилган.



3- расм. Фаза тезлигининг тўлқин сонига боғлиқ ўзгариши: 1- $\gamma_2 = 0.5$; 2- $\gamma_2 = 0.35$

Ҳисоблашларда Колтунов - Ржанициннинг уч параметрли ядросидан фойдаланилган: $R(t) = A e^{-\beta t} / t^{1-\alpha}$, $A = 0,048$; $\beta = 0,05$; $\alpha = 0,1$. Натижалар MAPLE-20 дастурий таъминоти ва C++ муҳитида тузилган дастур асосида олинди. Кўришиб трубки, ўлчамсиз тўлқин сонининг ошиши билан фаза тезлигининг биринчи модаси 5-7% фарқи билан кичик тўлқин сони соҳасида ошади ва узун тўлқин соҳасида асимптотага интилади ($\gamma_2 = 0.5$ да), икинчи чизик $\gamma_2 = 0.35$ мода, кўришиб турибдики, γ_2 - ни камайиб бориши дисперсион муносабатни ифодаловчи чизик ординатасининг ошиши ва абсцисса ўкига нисбатан ортиб бориши кузатилди.

ХУЛОСА

«Кўп қатламли қудуқ қопламасида сўнувчи тўлқинларнинг тарқалиш хусусиятлари» мавзусидаги диссертация ишидан олинган натижалар асосида куйидаги хулосаларга келинди:

1. Қовушқоқ-эластик муҳитда жойлашган суюқликли қудуқда хос тўлқинларнинг тарқалиши, сўниши ва лимит ҳолатларини ўрганиш масалаларини ечиш усуллари ҳамда алгоритми ишлаб чиқилди.

2. Қудуқда тўлқин ютилиши жараёни юз бериши ҳамда фаза тезлиги ёки частота комплекс катталиқ бўлиши таҳлил қилинди. Дисперсион тенгламанинг $\text{Re } m < 0$ ярим текисликнинг чап бўлагида комплекс илдизлари бўлиши, ҳамда $\text{Re } m = 0$ ўқда фақат мавҳум илдизлари бўлиши топилди. Илдизлар ҳақиқий ва мавҳум қисмларининг жойлашуви тўлқин сонига боғлиқ бўлиши аниқланди.

3. Хос тўлқинлар дисперсион тенгламалари сўнувчи тебранишларга мос келиши топилди. Бу илдизларнинг ҳақиқий қисми тебранишлар частотаси ёки фаза тезлигини ифодаласа, мавҳум қисми сўниш декрементини ифодалашини аниқланди.

4. Частотанинг лимит қийматида (нолга интилганда) гидротўлқин мавжудлиги топилди. Частота чексизликка интилганда сув тўлқини ҳосил бўлиши топилди. Қовушоқ-эластик муҳитдаги қудуқ учун бу тўлқинларнинг фаза тезликлари комплекс катталиқ бўлиши аниқланди.

5. Частотанинг юқори модаларда узилиш(отсечка) ҳодисаси рўй бериш билан характерланиши аниқланди. Лекин уларни ҳар бир модасини чегараси мавжуд бўлиши топилди. Улардан ташқарида ёки кичик қийматларда тўлқин мавжуд бўлмаслиги аниқланди.

6. Қудуқ қопламалари ва муҳитнинг қовушоқлик хусусиятини ҳисобга олиш гидро тўлқинининг энергиясини диссипациясига 15-20% таъсир кўрсатиши, сув тўлқини диссипациясига 15% ча таъсир этиши топилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ НОМЕР PhD.03/27.02.2021.FM.101.02
ПРИСУЖДАЮЩИЙ НАУЧНУЮ СТЕПЕНЬ ПРИ БУХАРСКОМ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТЕ**

Эшпулатов Бобир Худойбердиевич

**СВОЙСТВА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАТУХАЮЩИХ ВОЛН В
МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЯХ СКВАЖИН**

01.02.04 – Механика деформирующихся твёрдых тел

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
НА ПОЛУЧЕНИЕ НАУЧНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Бухара–2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована за В2022.2.PhD/FM716 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан

Диссертация выполнена в Навоийском государственном педагогическом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.bmti.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:	Сафаров Исмоил Иброхимович доктор физико-математических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Мирзаев Ибрахим доктор физико-математических наук, профессор Мавлонов Тўлкин Мавлонович доктор технических наук, профессор.
Ведущая организация:	Наманганский инженерно-строительный институт

Защита диссертации состоится « 17 » декабря 2022 г. в « 10:00 » часов на заседании Научного совета Phd.03/27.02.2021.FM.101.02.03 при Бухарском инженерно-технологическом институте по адресу: 200100, г.Бухара, ул. К. Муртазаев, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84; факс: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz.

Диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института (зарегистрирована под номером № 405). (Адрес:Бухарская область, 200100, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, 15. Тел.: (+99895) 604-44-70).

Автореферат диссертации разослан «5» декабря 2022 года.
(протокол рассылки №2 от 17 ноября 2022 г.)



М.Х. Тешаев
Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, ф.-м.ф.д. (DSc)

З.И. Болтаев
Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, ф.-м.ф.д. (DSc)

М.З. Шарипов
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, ф.-м.ф.д. (DSc), профессор

ВВЕДЕНИЕ (автореферат диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется при добыче подземных полезных ископаемых – нефти и газа вопросам оценки состояния прочности и ближайших окрестностей покрытий скважины. В настоящее время требуется разработать методику исследования упругих свойств окружности скважины, основанную на теории распространения акустических волн. Такая ситуация указывает на необходимость проведения сейсмических исследований, направленные к ослаблению на небольшую величину с увеличением глубины амплитуду волны, которая распространяется вдоль оси бурения. В связи с этим в развитых зарубежных странах, включая США, Францию, Японию, Италию, Россию, Китай, Турцию и других странах особое внимание уделяется разработке надежных методов расчета, обеспечивающих прочность скважин при добыче полезных ископаемых нефте- и газопродуктов, снижению динамических напряжений и деформаций, возникающих в покрытиях скважин до допустимого предела.

В мире проводятся целенаправленные научные исследования по разработке методов и программ для расчета конкретных вопросов на основе различных моделей, учитывающих связь скважин полезных ископаемых с деформируемой грунтовой средой. В этом направлении, в том числе, в процессе проектирования скважин с жидкостью, необходимо знать характеристики контакта между грунтовой средой и оболочкой. В то же время, разработка методов и алгоритмов расчета напряженно-деформируемого состояния, которое формируется в покрытиях скважин, с учетом физико-механических свойств скважин и грунтовой среды, а также проведение целевых научных исследований по анализу опасного напряженного состояния конструкций считаются актуальными задачами.

В нашей Республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по повышению сейсмической прочности подземных сооружений и обеспечению их сейсмической безопасности. В Указе Президента Республики Узбекистан №УП-6097 «Об утверждении концепции развития науки до 2030 года» от 29 октября 2020 года определены задачи, в том числе «...определения приоритетных направлений непрерывного реформирования науки на перспективу, подготовки самостоятельно мыслящих высококвалифицированных кадров, обладающих современными знаниями,..."². При выполнении этих задач, в том числе, одной из важных задач является создание и развитие методики расчета напряженно-деформируемого состояния и динамических свойств цилиндрической скважины, находящейся в бесконечной среде.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, отраженных в Указе Президента Республики Узбекистан № ПФ-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана

² Указ Президента республики Узбекистан №УП-6097 от 29 октября 2020 г. «Об утверждении концепции развития науки до 2030 года»

на 2022-2026 годы», Постановлении №ПП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» от 30 июля 2020 года, Постановления №515 Кабинета Министров Республики Узбекистан «О дальнейшем совершенствовании государственной системы предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации в Республике Узбекистан» от 26 августа 2020 года и в других нормативно-правовых документах, относительно данной сферы деятельности.

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

Степень изученности проблемы. Вопросам исследования проблем распространения волн в многослойной среде, оболочках и динамического напряжённо-деформированного состояния внесли свой вклад ряд известных зарубежных учёных, в частности Трояновский И.Е., Кийко И.А., Ильюшин А.А., Горшков А.Г., Шемякин Е.И., Гузь А.Н., Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Дорман И.Я., Оганесов Г.И., Балсон Ф.С., Гринченко В.Т., Молотков Л.А., Новичков Ю.И., Петрашень Г.И., Матвеев В.П., Шардаков И.Н., Старовойтов Э.И., Кольский Г., Davis R.M., Wayt J.A., Miker T., Maytsler A., Ahenbah J.D., Shafer B.V., San R.I. и др.

К разработке и развитию эффективных методов исследования напряжённо-деформационных состояний подземных сооружений посвящены работы учёных из республики Узбекистан. Рахматулин Х.А., Уразбаев М.Т., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Ширинкулов Т.Ш., Хожметов Г.Х., Ишанходжаев А.А., Мубораков Я.Н., Буриев Т., Мирсаидов М.М., Мардонов Б.М., Султонов К.С., Маматкулов Ш.М., Бадалов Ф.Б., Мирзаев И., Мавлонов Т.М., Юлдашев Ш.С., Абдусатторов А., Сагдиев Х., Сафаров И.И., Тешаев М.Х., Абдуқодиров С., Худойназаров Х., Буриев А.Т., Усаров М.К. и другие многие специалисты внесли весомый вклад в развитие методов расчета задач волнового нагружения в пластинчатых, цилиндрических или сферических телах, взаимодействующих со средой.

В то же время недостаточно изучены методы оценки динамического напряженно-деформируемого состояния, которое возникает под воздействием волнового нагружения, с учетом вязкостных характеристик среды и скважинных покрытий.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими планами высшего учебного заведения где была выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Навоийского государственного педагогического института в рамках проекта FM-01-2020-318 “Математическое моделирование естественных процессов и современные технологии обучения математических дисциплин”.

Целью исследования является изучение характеристик распространения затухающих волн в многослойных вязкоупругих скважинных покрытиях, контактирующих со средой, и разработка метода расчета и алгоритма, направленного на оценку напряженно-деформируемого состояния, возникающего под действием внешней динамической нагрузки, совершенствование аналитических и численных методов расчета.

Цель исследования – состоит из изучения свойств распространения затухающих волн в многослойных вязко-эластичных оболочках скважин, находящихся в контакте со средой и разработке способов вычисления и программ, направленных на оценивание напряжённо- деформационного состояния, образованных под воздействием внешней динамики нагруженности скаважины.

Задачи исследования:

разработать методику и алгоритм решения задач распространения затухающих волн а также напряженно-деформируемого состояния, возникающего под действием динамических нагрузок в покрытии цилиндрической скважины с круговым поперечным сечением, находящимся во взаимодействии с вязкоупругой средой;

определить, что в высокочастотных модах возникает явление отсечки, в то время как при малых значениях волны не существует;

определенить резонансные зоны, которые могут возникать под воздействием динамических нагрузок в скважине, путем выбора геометрических и физико-механических параметров скважины с вязкоупругим покрытием;

определенить влияния вязких свойств покрытий скважины и среды на рассеивание энергии трубной волны.

В качестве **объекта исседования** приняты цилиндрические оболочки, находящиеся в контакте с вязкоупругой внешней средой, с идеальной жидкостью.

Предметом исследования: распространение собственных волн в покрытиях скважины, контактирующей с вязкоупругой средой, процессы определения напряженно-деформируемого состояния, возникающего под действием динамического нагружения и определение динамических характеристик.

Методы исследования. В процессе исследования использованы методы механики деформируемого твердого тела и строительной механики, вычислительной математики, математического моделирования, методы программирования, для решения дифференциальных уравнений в частных производных использованы методы “замораживания”, разделения переменных, Гаусса, Лапласа и конечных разностей.

Научная новизна состоит из:

развита теория распространения затухающих волн, разработана методика и алгоритм решения задач напряженно-деформируемого состояния, возникающего под действием динамических нагрузок в покрытии

цилиндрической скважины с круговым поперечным сечением, находящимся во взаимодействии с вязкоупругой средой;

пользуясь дисперсионными соотношениями из численных результатов определена, что в высокочастотных модах возникает явление отсечки, а при малых значениях волны не существует;

из анализа процесса поглощения волн в скважине и комплексности фазовой скорости или частоты, определено, что расположение действительной и мнимой частей корней дисперсионного уравнения зависит от волнового числа;

из численных результатов обнаружено, что учет вязких свойств покрытий скважин и окружающей среды влияет на диссипацию энергии трубной волны до 15-20%, а водной волны - до 15%.

Практические результаты исследования состоят из:

в многослойных покрытиях скважин цилиндрической формы обнаружена зависимость фазовой и групповой скорости собственных волн от реологических свойств окружающей среды;

при исследовании напряженно-деформируемого состояния, возникающего в многослойных покрытиях скважин цилиндрической формы под воздействием гармонических нагрузок, определена степень зависимости источника нагрузки от геометрии объекта и параметров волны.

Достоверность результатов исследования объясняется корректностью постановки граничных условий, жесткостью полученных математических выкладок, системным использованием обоснованных методов решения, сравнением с решениями других исследователей при оценки точности решений и соответствием их результатам.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что оно вносит значительный вклад в развитие и усовершенствование теории волновой динамики, формирующееся в многослойных покрытиях скважин и окружающей ее среде, при взаимодействии с деформируемой средой.

Практическая значимость результатов исследования объясняется тем, что установлены новые закономерности оценки напряженно-деформируемого состояния, которые формируются в покрытиях скважин цилиндрической формы под воздействием нагрузок.

Внедрение результатов исследования.

На основе методов расчета и результатов, полученных в соответствии с алгоритмом, разработанным для развития теории распространения волн в вязкоупругом многослойном покрытии скважины и в окружающей его среде:

в решении задач учета взаимодействия среды с цилиндрической оболочкой, трубами, работающими под давлением, был использован в фундаментальном проекте Ф-4-04 "Развитие теории и разработка методов расчета напряженно-деформируемого состояния подземной криволинейной трубы, протекающей жидкостью, под действием динамических сил" (справка № 02/02-89-680 от 5 июля, 2022 г.) выполненном в соответствии с планом научных исследований Бухарского инженерно-технологического

института. В результате, использование научных результатов, полученных в диссертационной работе, позволила оценить резонансные амплитудные области колебаний упругих и вязкоупругих труб, жидкость, протекающих жидкость;

алгоритм нахождения собственных чисел и собственных векторов системы линейных дифференциальных уравнений был использован в рамках Государственной научно-технической программы Ташкентского химико-технологического института ОТ-F4-01 "Развитие теории и разработка методов изучения нелинейных динамических напряженно-деформированных состояний композитных многослойных композитных труб, протекающих вязкой жидкостью, под воздействием температурных и динамических нагрузок"(2022 йил 10 май). В результате точность расчета нелинейных динамических деформаций и напряжений в многослойных композитных трубах, по которым течет вязкая жидкость, увеличилась до 12%.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены и одобрены на международных, республиканских конференциях. В частности, обсуждались в 2 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях

Объявление результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях, рекомендованных к публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD) Высшей Аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 1-в республиканских и 5- зарубежных.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 108 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации обоснована актуальность и необходимость исследования, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования. Показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования. Обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их научная и практическая значимость. Приведены данные по практическому внедрению результатов, сведения об апробации работы, изданных работах, структуре диссертации и её объёме.

В первой главе диссертации озаглавленной как «**Анализ литературы посвящённой распространению волн в покрытиях скважины**» приведён краткий анализ литературы, посвящённой распространению волн в цилиндрической оболочке, находящейся во взаимосвязи со средой.

Не решена проблема разработки единой методики изучения загрузки волны за счёт распространяемой из источника на цилиндрическую оболочку волн при взаимосвязи со средой с учетом вязкоупругих свойств материала.

Исходя из анализа литературы заключение сделано. На основании данных заключений определены цели диссертационной работы и в соответствии с этим поставлены задачи.

Во второй главе диссертации, озаглавленной как «**Постановка задачи и методы решения задач распространения затухающих волн в многослойных покрытиях скважины**» приведены математические способы постановки и решения задач (рис.1).

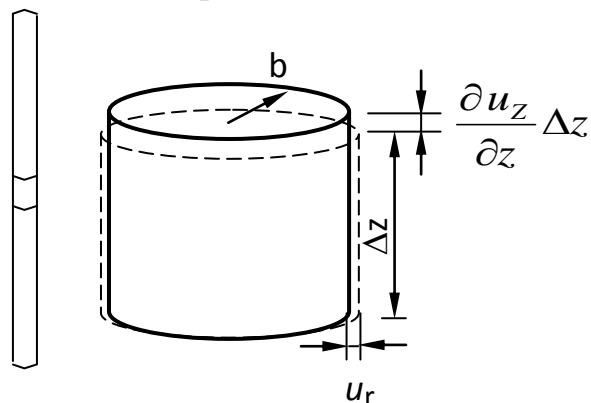


Рис. 1. Изменение элементарного объёма жидкости в скважине (u_r и u_z – соответственно радиальное и осевое перемещения)

Рассмотрим задачу распространения волн в вязко-упругом цилиндрическом

теле толщины $h = \sum_{n=1}^N h_n$. Пусть в декартовой системе координат (Oxyz)

слой занимает следующую область:

$x \in (-\infty, +\infty)$, $y \in (-\infty, +\infty)$, $z \in [-h, h]$. Предположим, что в этом теле

распространяются волны с фазовой скоростью c ($c = c_R + ic_I$). Тогда уравнение

Ляме рассматриваемой вязко-упругой механической системы (не принимая

в расчёт объёмные силы) в векторном виде будет иметь следующий вид

$$\tilde{\mu}_\kappa \nabla^2 \vec{u} + (\tilde{\lambda}_\kappa + \tilde{\mu}_\kappa) \text{grad div } \vec{u} = \rho_\kappa \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}, \quad (\kappa = 1, 2, 3, \dots, N). \quad (1)$$

$$\tilde{\lambda}_\kappa f(t) = \lambda_{0\kappa} \left[f(t) - \int_0^t R_{\lambda\kappa}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right],$$

$$\tilde{\mu}_\kappa f(t) = \mu_{0\kappa} \left[f(t) - \int_0^t R_{\mu\kappa}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right].$$

Здесь также $f(t)$ – произвольная функция времени, $R_{\lambda\kappa}(t-\tau)$ и $R_{\mu\kappa}(t-\tau)$ – ядра

релаксации, $\lambda_{0\kappa}$, $\mu_{0\kappa}$ – мгновенные модули упругости ($\kappa = 1, \dots, N$).

Поставленная задача приведена к системе интегро-дифференциальных уравнений математической физики. Если предполагать, что в уравнении (1) подинтегральную функцию медленно меняющимся, то применяется метод замораживания и приходим к уравнению с комплексными коэффициентами, имеющего вид:

$$\lambda_{0k} [1 - \Gamma_{\lambda k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\lambda k}^s(\omega_R)] \text{graddiv } \bar{u} + \mu_{0k} [1 - \Gamma_{\mu k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\mu k}^s(\omega_R)] (\nabla^2 \bar{u} + \text{graddiv } \bar{u}) = \rho_k \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} \quad (2)$$

здесь

$$\Gamma_{\lambda k}^c(\omega_R) = \frac{\nu_k}{(1+\nu_k)(1-2\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau \quad \Gamma_{\lambda k}^s(\omega_R) = \frac{\nu_k}{(1+\nu_k)(1-2\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau$$

$$\Gamma_{\mu k}^c(\omega_R) = \frac{\nu_k}{2(1+\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau \quad \Gamma_{\mu k}^s(\omega_R) = \frac{\nu_k}{2(1+\nu_k)} \int_0^\infty R_{Ek}(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau$$

Если при $r = r_k$ рассматривать распространение волн в многослойных цилиндрических оболочках когда при $r = r_k$ ставится условие жесткого закрепления, тогда соответствующие компоненты тензора напряжения и вектора перемещения должны удовлетворять условий непрерывности:

$$\sigma_{rr}^{(k)} = \sigma_{rr}^{(k+1)}, \quad \sigma_{r\theta}^{(k)} = \sigma_{r\theta}^{(k+1)}, \quad \sigma_{rz}^{(k)} = \sigma_{rz}^{(k+1)},$$

$$u_r^{(k)} = u_r^{(k+1)}, \quad u_\theta^{(k)} = u_\theta^{(k+1)}, \quad u_z^{(k)} = u_z^{(k+1)}. \quad (3)$$

Если на границе раздела нет трения, тогда условия будут следующими:

$$\sigma_{rr}^{(k)} = \sigma_{rr}^{(k+1)}, \quad \sigma_{r\theta}^{(k)} = \sigma_{r\theta}^{(k+1)} = \sigma_{rz}^{(k)} = \sigma_{rz}^{(k+1)} = 0, \quad u_r^{(k)} = u_r^{(k+1)}. \quad (4)$$

На свободных поверхностях ставится условие свободы от напряжений:

$$\sigma_{rr}^{(k)} = 0, \quad \sigma_{r\theta}^{(k)} = 0, \quad \sigma_{rz}^{(k)} = 0.$$

Поставленная задача решается в цилиндрической системе координат посредством потенциальных функций, изображённых Грин-Ламе:

$$\vec{u}_k = \text{grad} \phi_k + \text{rot} \vec{\psi}_k, \quad \text{div} \vec{\psi}_k = 0, \quad (5)$$

Здесь $\vec{u}_n(u_{rn}, u_{\theta n}, u_{zn})$ -вектор перемещений среды, ϕ – потенциал продольных волн, $\vec{\psi}(\psi_{rn}, \psi_{\theta n}, \psi_{zn})$ -потенциал поперечных волн. Эти потенциалы удовлетворяют следующим уравнениям:

$$\Gamma_{\lambda \mu n}^* \nabla^2 \phi_n - \frac{1}{c_{pn}^2} \frac{\partial^2 \phi_n}{\partial t^2} = 0 \quad \Gamma_{\mu n}^* \nabla^2 \psi_{zn} - \frac{1}{c_{sn}^2} \frac{\partial^2 \psi_{zn}}{\partial t^2} = 0, \quad (6)$$

$$\Gamma_{\mu n} (\nabla^2 \psi_{\theta n} - \frac{\psi_{\theta n}}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\psi_{rn}}{\partial \theta}) - \frac{1}{c_{s0n}^2} \frac{\partial^2 \psi_{\theta n}}{\partial t^2} = 0, \quad \Gamma_{\mu n} (\nabla^2 \psi_{rn} - \frac{\psi_{rn}}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\psi_{\theta n}}{\partial \theta}) - \frac{1}{c_{s0n}^2} \frac{\partial^2 \psi_{rn}}{\partial t^2} = 0$$

здесь $\Gamma_{\lambda\mu k}^* = 1 - \Gamma_{\lambda\mu k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\lambda\mu k}^s(\omega_R)$, $\Gamma_{\mu k}^* = 1 - \Gamma_{\mu k}^c(\omega_R) - i\Gamma_{\mu k}^s(\omega_R)$;

$\Gamma_{\lambda\mu k}^c(\omega_R)$, $\Gamma_{\lambda\mu k}^s(\omega_R)$, $\Gamma_{\mu k}^c(\omega_R)$, $\Gamma_{\mu k}^s(\omega_R)$ - косинус и синус изображения Фурье ядра релаксации, $c_{pn}^2 = \frac{(\lambda_{n0} + 2\mu_{n0})}{\rho_n}$, $c_{pn}^2 = \frac{\mu_{n0}}{\rho_n}$. – скорость распространения продольных и поперечных волн.

Решение системы дифференциальных уравнений (6) ищется в виде:

$$\begin{aligned}\phi_n(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \phi_n(\alpha_1 r) \begin{Bmatrix} \cos k\theta \\ -\sin k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t}; \\ \psi_{rn}(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{rn}(\beta_n r) \begin{Bmatrix} \sin k\theta \\ -\cos k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t} \\ \psi_{\theta n}(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{n\theta}(\beta_n r) \begin{Bmatrix} \cos k\theta \\ -\sin k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t} \\ \psi_{zn}(r, \theta, z, t) &= \sum_{n=0}^{\infty} \psi_{nz}(\beta_n r) \begin{Bmatrix} \sin k\theta \\ \cos k\theta \end{Bmatrix} e^{\pm i\gamma_p z} e^{-i\omega t};\end{aligned}\tag{7}$$

здесь k - целое число; $\gamma_p = \omega/c$ - волновое число; $\omega = \omega_R + i\omega_c$ - комплексная частота собственных колебаний; C ($C = C_R + iC_I$) - комплексная фазовая скорость. Чтобы определить их физический смысл рассмотрим два случая:

- 1) $k = \gamma_R$, $C = C_R + iC_I$, тогда амплитуда решения (7) затухающая по времени, принимает вид синусоиды по координате x ;
- 2) $k = \gamma_R + i\gamma_I$; $C = C_R$, тогда во всех точках x колебания будут устойчивой, но по оси x затухают.

Решение системы уравнений выражается через специальные функции следующим образом:

$$\begin{aligned}\phi_1(r) &= A_{1m} Z_m(\alpha_1 r) + A_{2m} W_m(\alpha_1 r); \Psi_{z1}(r) = A_{3m} Z_m(\beta_1 r) + A_{4m} W_m(\beta_1 r); \\ \Psi_{r1}(r) - \Psi_{\theta1}(r) &= 2A_{5m} Z_{m+1}(\beta_1 r) + 2A_{6m} W_{m+1}(\beta_1 r); \\ \Psi_{r1}(r) + \Psi_{\theta1}(r) &= 2A_{13m} Z_{n-1}(\beta_1 r) + 2A_{14m} W_{m-1}(\beta_1 r); \\ \phi_2(r) &= A_{7m} Z_m(\alpha_1 r) + A_{8m} W_m(\alpha_1 r); \Psi_{z2}(r) = A_{9m} Z_m(\beta_1 r) + A_{10m} W_m(\beta_1 r); \\ \Psi_{r2}(r) - \Psi_{\theta2}(r) &= 2A_{11m} Z_{m+1}(\beta_1 r) + 2A_{12m} W_{m+1}(\beta_1 r); \\ \Psi_{r2}(r) + \Psi_{\theta2}(r) &= 2A_{15m} Z_m(\beta_1 r) + 2A_{16m} W_{m+1}(\beta_1 r),\end{aligned}\tag{8}$$

Используя вышеуказанные соотношения (8) получим следующие выражения напряжений:

$$\begin{aligned}
\sigma_{rm} &= \left\{ -\bar{\lambda}_n (\alpha_n^2 + \gamma_p^2) \phi_n + 2\bar{\mu}_n \left[\phi_n'' + \frac{k}{r} \left(\Psi_n' - \frac{1}{r} \Psi_{zn} \right) + \gamma_p \Psi_{zn}' \right] \right\} \cos(n\theta) e^{-i(-\omega t + \gamma_p z)} \\
\sigma_{r\theta n} &= \bar{\mu}_n \left[\frac{2k}{r} \left(\frac{1}{r} \phi_n - \phi_n' \right) + (\beta_p^2 \Psi_{zn}' - 2\Psi_{zn}') + \gamma_p \left(\Psi_{rn}' - \frac{k+1}{r} \Psi_{rn} \right) \right] \sin(n\theta) e^{-i(-\omega t + \gamma_p z)} \\
\sigma_{rzn} &= \bar{\mu}_n \left[-2\gamma_p \phi_n' - \frac{k\gamma_p}{r} \Psi_{zn} - \frac{k}{r} \Psi_{zn}' - \left(\frac{k^2 - k - 1}{r^2} - \beta_n^2 + \gamma_p^2 \right) \Psi_{zn} \right] \cos(n\theta) e^{-i(-\omega t + \gamma_p z)}
\end{aligned} \tag{9}$$

выделив элементарный объём, как приведено на рис.1, используя второй закон Ньютона, получим дифференциальное уравнение следующего вида:

$$s_b \frac{\partial p_0}{\partial z} \Delta z = -\rho s_b \Delta z \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}, s_b = \pi b^2, \tag{10}$$

здесь b - радиус трубы или скважины, ρ - плотность жидкости. Приведённое выше уравнение (10) считается уравнением, выражающим распространение волн в жидкости. В литературах по геофизике эта волна глубоко изучена. Уравнение (10) записываем в виде:

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} = \left[\rho \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{M} \right) \right] \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}, \tag{11}$$

здесь $V_T = \left[\rho \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{M} \right) \right]^{-1/2}$ - скорость распространения волны в толстой трубе.

$$M = \frac{E_0 (a^2 - b^2)}{2 \left[(1 + \nu(t))(a^2 + b^2) - 2\nu(t)b^2 \right]} [1 - \Gamma_E], \Gamma_E = \Gamma_E^c + i\Gamma_E^s,$$

а и b - соответственно внутренний и внешний радиусы трубы, ν - коэффициент Пуассона, E - модуль Юнга, $B = \frac{15(1-\nu)}{7-5\nu}$. Разработан переход

от определителей высокого порядка с комплексными элементами (состоящий из комбинации специальных функций) на многочлен с комплексными коэффициентами и алгоритм решения ее методом Мюллера. Разработан алгоритм расчёта комплексных функций Бесселя и Неймана. Эти функции являются функциональным рядом с комплексным аргументом, для определения радиуса сходимости которого выполнены преобразования и проверены в процессе вычисления.

В третьей главе диссертации, озаглавленной как “**Колебания поверхности и распространение собственных волн в цилиндрической полости, находящейся в вязкоупругой среде**” приведены математическая

постановка и методы решения задач, посвящённых распространению собственных волн в цилиндрическом, бесконечном по радиусу теле. Уравнение среды выражается через уравнение теории вязоупругости Ламе. Граничная задача приводит к смешанной задаче теории вязоупругости. На поверхности полости ставится условие равенства к нулю нормальных ($\sigma_{rr} = 0$) и касательных ($\sigma_{r\theta} = \sigma_{rz} = 0$) напряжений. Если использовать эти условия, получим следующее дисперсионное уравнение:

$$\|c_{ij}\| = 0, \quad i, j = 0, 1, 2, 3. \quad (12)$$

Здесь:

$$\begin{aligned} c_{11} &= (n^2 - 1 - \Omega^2 + \gamma_p^2)H_n^{(1)}(\alpha), \\ c_{12} &= (n^2 - 1 - \beta^2)H_n^{(1)}(\beta), \\ c_{13} &= 2(n^2 - 1)\left[\beta H_{n-1}^{(1)}(\beta) - nH_n^{(1)}(\beta)\right] - \beta^2 H_n^{(1)}(\beta), \\ c_{21} &= \alpha H_{n-1}^{(1)}(\alpha) - (n+1)H_n^{(1)}(\alpha), \\ c_{22} &= \beta H_{n-1}^{(1)}(\beta) - (n+1)H_n^{(1)}(\beta), \\ c_{23} &= (2n^2 + n - \gamma_p^2)H_n^{(1)}(\beta) - 2\beta H_{n-1}^{(1)}(\beta), \\ c_{31} &= \alpha H_{n-1}^{(1)}(\alpha) - nH_n^{(1)}(\alpha), \\ c_{32} &= (1 - \Omega^2 / 2\gamma_p^2)(H_{n-1}^{(1)}(\beta) - nH_n^{(1)}(\beta)), \\ c_{33} &= n^2 H_n^{(1)}(\beta). \end{aligned}$$

уравнение (12) при каждом значении n ($n = 1, 2, 3, \dots$) выражает отношение между безразмерной частотой Ω , постоянной распространения волн γ_p и коэффициентом Пуассона. Дисперсионное уравнение (12) имеет место для всех целых чисел $n \geq 0$. На любое значение целого числа $n \geq 0$ соответствует отдельное семейства собственных чисел. $n=1$ соответствует собственное число изгиба цилиндра. При $n=0$ дисперсионное уравнение (12) будет состоять из не связанных друг с другом миноров. Минор первого порядка выражает собственные числа волны кручения, а второго порядка – собственные числа продольной волны, распространяемой на поверхности полости.

Рассмотрены собственные колебания цилиндрической оболочки в упругой среде. Между оболочкой и средой ставятся условия жесткого закрепления (или скольжения), тогда частотное уравнение принимает вид

$$\begin{vmatrix} h_2 Y_{1n} - Z_o(\Omega_o) X_{1n} & h_2 Y_{2n} - Z_o(\Omega_o) Z_{2n} \\ Z_{1n} & X_{2n} \end{vmatrix} = 0 \quad (13)$$

здесь

$$h_2 = h_o / R; \quad Y_{1n} = nH_n^{(1)}(\Omega_1) - \Omega_1 H_{n+1}^{(1)}(\Omega_1);$$

$$Z_{jn} = n[(1-n)H_n^{(1)}(\Omega_j) + \Omega_j H_{n+1}^{(1)}(\Omega_j)];$$

$$X_{1n} = (-d_1 \Omega_1^2 + \alpha_{n2}^1) H_n^{(1)}(\Omega_1) + \Omega_1 H_{n+1}^{(1)}(\Omega_1);$$

$$X_{2n} = (\alpha_{2n}^1 - \Omega_2^2 / 2) H_n^{(1)}(\Omega_2) + \Omega_2 H_{n+1}^{(1)}(\Omega_2);$$

$$Y_{2n} = nH_n^{(1)}(\Omega_2), \quad j = 1, 2$$

$$v_2 = 1 - v_o; \quad \alpha_{n1} = b^2(n^2 - 1) + 1; \quad \Omega_1 = \alpha_1 a;$$

$$\Omega_2 = \beta_1 \alpha = \Omega_1 (C_{\rho 1} / C_{s 1}); \quad \Omega_o = \alpha_o R; \alpha_o \quad a_o = \omega / C_o;$$

$$b^2 = h^2 / 12R^2; \quad b_1 = E_1(1 - v_o^2) / (E_o(1 + v_1));$$

$$a_{n2}^1 = n^2; \quad \beta_1 = E_o h_o / (1 - v_o^2);$$

$C_o = E_o / \rho_o$ – скорость распространения волн в стержне, $Z_o(\Omega_o) = b_1 / [(\Omega_o^2 v_2 - a_{n1}) - n^2 / (\Omega_o^2 v_2 - a_{n2})]$. Частотное уравнение осесимметричных колебаний цилиндрической оболочки в упругой среде имеет вид

$$h_2(\Omega_o^2 v_2 - a_{o1}) + b_1 - b_1 d_1 \Omega_1 H_o^{(1)}(\Omega_1) / H_1^{(1)}(\Omega_1) = 0 \quad (14)$$

Здесь $\Omega_1 = \Omega_o L_1; \dots L_1 = \eta E(1 + v_1)(1 - 2v_1) / (1 - v_1)$. Если воспользоваться асимптотическим выражением Ханкеля, получим аналитический вид комплексной частоты:

$$\Omega_o = -i \frac{b_1 d_1 l_1}{2h_2 v_2} + \sqrt{\frac{a_{o1}}{v_2} - \left(\frac{d_1}{h_2 v_2} + \left(\frac{d_1 l_1 b_1}{h_2 v_2} \right)^2 \right)}$$

Если будет выполнено нижеуказанное условие, получатся действительные и мнимые части частотных комплексов. Для этого эластичный модуль E должен выполнить нижеследующее условие

$$E > (1 + v_1)(b^2 + 1)h_2^2 ([h_2 + (1 - v_1)]\eta(1 - 2v_1)^{-1})^{-1}(1 - v_o^2)^{-1}. \quad (15)$$

Числовые результаты при $n=0$ приведены в таблице 1.

таблица 1.

Изменение собственных колебаний цилиндрической оболочки в функции модуля Юнга E (для осесимметричного случая)

	$E=0,03$	$E=0,09$	$E=0,12$	$E=0,15$	$E=0,25$
Ω_R	1,3308D-01	2,3976D-01	3,2670D-01	4,1665D-01	1,5270D-12
Ω_I	-i1,9767D-02	-i4,5891D-02	-i6,1776D-02	-i7,9394D-02	-i1,3691D-01

Результаты получены для значений $\eta = 0,1; \nu_1 = \nu_2 = 0,14, h_0 = 0,025$. Уравнение частоты (14) решили методом Мюллера. Результаты вычислений при $n \geq 0$ ($\nu = 0,25$) приведены для различных значений n . Из таблицы видно, что увеличение n приводит к повышению действительной и мнимой частей собственной частоты. Изменение коэффициента Пуассона в пределах $0 \leq \nu \leq 0,4$ приводит к изменению на 27% действительной и мнимой частей комплексной частоты. При $\nu = 0,5$, естественно, коэффициент затухания будет равен нулю. Для решения поставленной задачи применяли метод разделения переменных математической физики, метод специальных функций, методы Лапласа, Мюллера и замораживания. Получены численные результаты и проведён их анализ. Из дисперсионных соотношений выявлены на свободном поверхности не подверженные дисперсии волны. Обнаружено, что учёт вязкости снизило на 4-5% действительной части и на 10-15% - мнимой части фазовой скорости в зависимости от параметров.

Рассмотрим распространение осесимметричных волн в цилиндрической полости (принимается $n=0$). Тогда из вышеприведённых соотношений перемещений и напряжений получим перемещения вида:

$$\begin{aligned} u_r &= \left[F_0 \frac{dH_0^{(1)}(\alpha r)}{dr} + D_{20} i \gamma_p H_1^{(1)}(\beta r) + M_{10n} n H_n^{(1)}(\beta r) / r \right] e^{i(-\omega t + \gamma_p z)}, \\ u_\theta &= 0, \\ u_z &= (-F_0 i \gamma_p H_1^{(1)}(\alpha r) - D_{20} \left[\frac{dH_1^{(1)}(\beta r)}{dr} + \frac{1}{r} H_1^{(1)}(\beta r) \right]) e^{i(-\omega t + \gamma_p z)}, \end{aligned} \quad (16)$$

и

$$u_\theta = D_{20} i \gamma_p H_1^{(1)}(\beta r) e^{i(-\omega t + \gamma_p z)}, u_r = u_z = 0. \quad (17)$$

Для того, чтобы вышеприведённая система однородных уравнений имела отличные от нуля (не тривиальные) решения, основной определитель (составленное из коэффициентов перед неизвестными величинами) должна быть равна нулю. Из последнего определителя получим следующее дисперсионное уравнение:

$$4(1 - \xi_1^2) \left[\frac{1}{\beta a} + \Psi_{H_{01}}(\bar{\beta} a) \right] - 2(1 - \xi_1^2)(1 - \xi_2^2)^{1/2} \left[\frac{1}{\bar{\alpha} a} + \Psi_{H_{01}}(\bar{\alpha} a) \right] + b \frac{\xi_1^2(2 - \xi_1^2)}{(1 - \xi_2^2)^{1/2}} \Psi_{H_{01}}(\bar{\alpha} a) = 0, \quad (18)$$

здесь $\xi_1 = c / c_s, \xi_2 = c / c_p$. Тогда α, β будут мнимыми величинами, и в составе специальных функций появляются функции Макдональда:

$$\Psi_{H_{01}}(\alpha) = H_0^{(1)}(\alpha) / H_1^{(1)}(\alpha) = -iK_0(|\alpha|) / K_1(|\alpha|) = -i\Psi_K(|\alpha|).$$

Числовые результаты приведены на рис. 2.

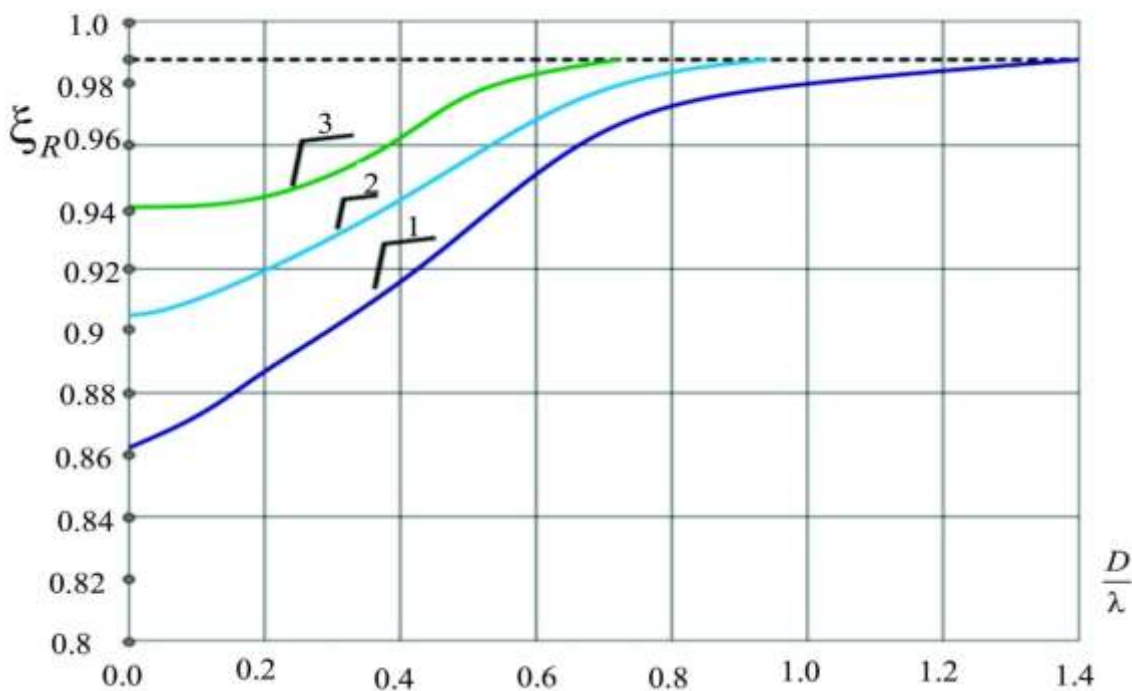


Рис. 2. Изменение скорости поверхностной волны от длины волны (для различных значений коэффициента Пуассона) 1. $\nu = 0$; 2. $\nu = 0.25$; 3. $\nu = 0.4$.

Изменение скорости поверхностной волны от длины волны для различных ($\nu = 0$; $\nu = 0.25$; $\nu = 0.4$) значений коэффициента Пуассона приведено на рис.2. Найдено приближение к волне Рэлея фазовой скорости этой цилиндрической полости. Однако, между ними существует различие. При малых значениях частоты цилиндрической полости наблюдается осечка частоты. А также имеются области, подверженные дисперсии. Если будет исследован случай $n \geq 1$, тогда будут изучаться несимметричные волны. Семейство дисперсионных линий при $n \geq 1$ определяется из уравнения (18). Если вязкость материала будет малой, тогда малое ответвление нулевой частоты будет иметь осечку.

В четвёртой главе диссертации озаглавленной как “Свойства затухания и распространения гармоничных волн в скважине, заполненной жидкостью и имеющей стенку с вязко-упругими свойствами” решена задача распространения волн в цилиндре, находящегося в слабом контакте со средой. Уравнения движения многослойного цилиндрического тела, находящегося в контакте со средой, удовлетворяет интегро-дифференциальным уравнениям (1).

При распространении волн в среде при $r \rightarrow \infty$ удовлетворяются условия поглощения Зоммерфельда. В цилиндрической системе координат (r, z, θ) рассмотрим следующую модель многослойной трубы:

1. $(r_1 \leq r \leq r_2)$, 2. $(r_2 \leq r \leq r_3)$, ..., n-1. $(r_{n-2} \leq r \leq r_{n-1})$, n. $(r \geq r_n)$.

На основе приведённой в диссертации методики получено следующее дисперсионное уравнение (для $n=3$):

$$(C(\omega_R, \omega_I, c_{pk}, c_{sk}, \gamma_p, \gamma_k, D) - \omega^2 A)V = 0, \quad (19)$$

где A - в общем случае блочная диагональная матрица. C - матрица блочного состава, элементы которой состоят из функций Бесселя (или Ханкеля) комплексного аргумента.

Предположим, что в вязкоупругой среде скважина радиуса $r=a$ заполнена жидкостью. Тогда дисперсионное уравнение будет следующим

$$\rho_{12} \frac{c_\phi^4}{c_{s2}^4} \bar{\alpha}_2 I_0(\bar{x}) + \bar{\alpha}_1 I_1(\bar{x}) \left\{ \left(2 - \frac{c_\phi^2}{c_{s2}^2} \right)^2 \frac{K_0(\bar{y})}{K_1(\bar{y})} - 4\bar{\alpha}_2 \bar{\beta}_2 \frac{K_0(\bar{q})}{K_1(\bar{q})} - \frac{2\bar{\alpha}_2 c_\phi^2}{k a c_{s2}^2} \right\} = 0. \quad (20)$$

где $\bar{\alpha}_1 = \sqrt{1 - c_\phi^2 / \Gamma_{p1} c_{p1}^2}$, $\bar{\beta}_2 = \sqrt{1 - c_\phi^2 / \Gamma_{s1} c_{s2}^2}$, $\bar{q} = k a \bar{\beta}_2$. Здесь предполагается, что в жидкости и в покрытиях скважины распространяются волны: $R_{\lambda k}(\tau) = R_{\mu k}(\tau) = 0$. Тогда $\bar{x} = k a \alpha_1$, $\bar{y} = k a \alpha_2$, $\bar{q} = k a \beta_2$, $\Gamma_{p1}(\tau) = R_{s1}(\tau) = 1$. Не принимая в расчёт свойства вязкости среды проанализируем дисперсионное соотношение (20). Несмотря на то, что параметры, входящие в дисперсионное уравнение (20) принадлежат области действительных чисел, его корни могут быть действительными, комплексными или мнимыми. В связи с тем, что скважина ограничена безграничностью, происходит процесс поглощения волны. За счёт этого фазовая скорость или частота будет комплексным. Можно показать, что у дисперсионного уравнения (20) в левой части полуплоскости ($\text{Re} m < 0$) существуют комплексные корни. Поблизости точки волнового числа, равного $\gamma_{pr2} = 1,2$ функции возбуждения резко возрастают. Энергия затухания при $\gamma_{pr2} \geq 1,5$ начинается расти с опозданием. Это показывает существование сильных колебаний, имеющих фазовые скорости и снижение коэффициента затухания, соответствующего интервалу $0 \leq \gamma_{pr2} \leq 1.4999$ слабого воздействия на окружающую среду.

Таблица 2. Результаты сравнений с результатами американского учёного Уайта. 1- результаты Уайта, 2 – по методике диссертации.

l/λ		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	9,0
(c/c ₀)	1	0,9784	0,9420	0,8319	0,7645	0,6721	0,5361
	2	0,8273	0,8191	0,7987	0,6479	0,4919	0,3832

Полученные результаты сравнены с результатами американского учёного Уайта. Установлено расхождение в результатах до 25%.

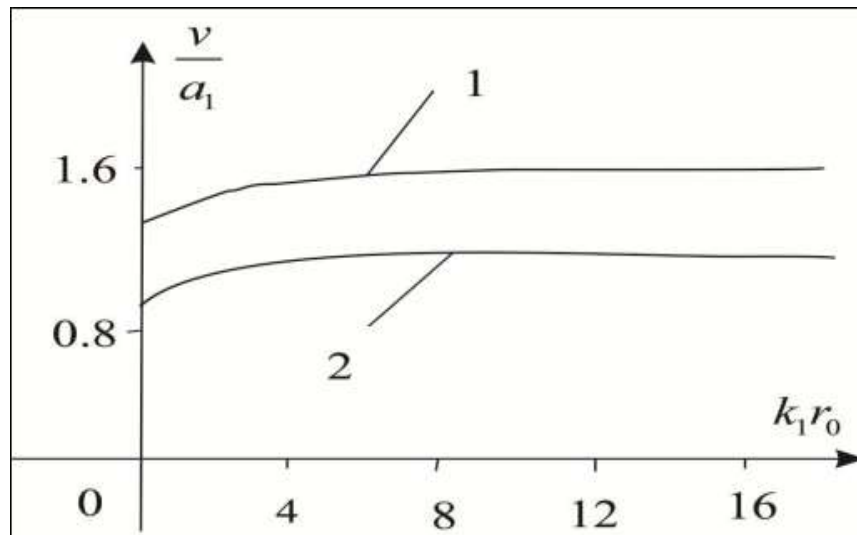


Рис.3. Изменение фазовой скорости в функции волнового числа: 1- $\gamma_2 = 0.5$; 2- $\gamma_2 = 0.35$

На рис.3 приведено изменение фазовой скорости волн, распространяющихся в двухслойном цилиндре, находящемся в вязкостной среде. При расчётах использовано трёхпараметрное ядро Колтунова – Ржаницына: $R(t) = Ae^{-\beta t} / t^{1-\alpha}$, $A = 0,048$; $\beta = 0,05$; $\alpha = 0,1$. Результаты получены на основе программного комплекса MAPLE-20 и на составленной программы на языке C⁺⁺. Отсюда видно, что с повышением безмерного волнового числа фазовая скорость первой моды 5-7% ным расхождением повышается в области малых волновых чисел, и в области длинных волн стремится к асимптоте ($\gamma_2 = 0.5$) и вторая линия $\gamma_2 = 0.35$ моды с понижением γ_2 наблюдается повышение ординаты линии, выражающей дисперсионные соотношения и наблюдается увеличение относительно оси абсциссы.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

На основании полученных результатов по теме диссертационной работы «Свойства распространения затухающих волн в многослойных покрытиях скважин» сделаны следующие заключения:

1. Разработаны методы и алгоритм решения задач распространения, затухания и исследования предельных состояний собственных волн в жидкостной скважине, расположенной в вязкоупругой среде.

2. Проанализировано, что процесс поглощения волн происходит в скважине и что фазовая скорость или частота является комплексной величиной. Было обнаружено, что дисперсионное уравнение имеет комплексные корни в левой части полуплоскости $\text{Re} m < 0$, а также только мнимые корни на оси $\text{Re} m = 0$. Было обнаружено, что расположение действительной и мнимой частей корней зависит от волнового числа.

3. Обнаружено, что дисперсионные уравнения собственных колебаний соответствуют затухающим волнам. Выявлено, что действительная часть этих корней представляет частоту колебаний или фазовую скорость, а мнимая часть - декремент затухания.

4. При предельном значении частоты (при стремлении к нулю) было обнаружено наличие трубной волны. Образование водной волны было обнаружено, когда частота стремилась к бесконечности. Для скважины в вязкоупругой среде фазовые скорости этих волн были определены как комплексные величины.

5. Было установлено, что частота возникновения феномена отсечки характеризуется высокой модой. Обнаружено, что они присутствуют в каждом модном пределе. А за их пределами или при малых значениях отсутствие волны.

6. Было обнаружено, что с учетом вязкостных свойств покрытий скважин и окружающей среды оказывает влияние на рассеивание энергии трубной волны на 15-20%, а на рассеивание водяной волны - на 15%.

SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES
PhD 03/27.02.2021. FM.101.02
BUKHARA INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY
NAVOI STATE PEDAGOGICAL INSTITUTE

ESHPULOTOV BOBIR KHUDOYBERDIEVICH

**CHARACTERISTICS OF PROPAGATION OF EVANESCENT WAVES IN
MULTI-LAYER WELL CASINGS**

01.02.04-Mechanics of a deformable solid

**DISSERTATION ABSTARCT
OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON PHYSICS AND
MATHEMATICS**

Bukhara - 2022

The theme of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) degree on physics and mathematics was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2022.2. PhD/FM716.

The Dissertation has been prepared at Uzbekistan State World Languages University.

The abstract of the dissertation has been posted on the website of Scientific Council (www.bmti.uz) and on “ZiyoNET” informational-educational portal (www.ziynet.uz) in three languages (Uzbek, Russian and English).

Scientific supervisor: **Safarov Ismoil Ibrokhimovich**
Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor

Official opponents: **Mirzayev Ibraxim**
Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor

Mavlonov To`lqin Mavlonovich
Doctor of Technical Sciences, professor

Leading organization: **Namangan Civil Engineering Institute**

The defense of the dissertation is held on “17” december 2022 at 10:00 at the meeting of Scientific Council on Awarding Scientific Degrees number Ph.03/27.02.2021. FM101.02. under Bukhara Institute of Engineering and Technology (Address: 200100, Bukhara, K. Murtazoev St, 15. Tel: (+99865) 223-78-84; fax: (+99865) 223-79-72; e-mail: bmti_info@edu.uz) .

The Doctoral dissertation can be found in the Information Resource Center of Bukhara Institute of Engineering and Technology (registration number № 405). (Address: 200100, Bukhara, K. Murtazoev St, 15. Tel: (+99895) 604-44-70)

The abstract of the dissertation is distributed on “5” december 2022. (Protocol at the register № 2 of “17” november 2022).



T. Teshaev

M.Kh. Tshaev
Chairman of Scientific Council on Awarding Scientific Degrees, Doctor of Physics and Mathematics Sciences (DSc)

Z.I. Boltaev

Z.I. Boltaev
Secretary of Scientific Council on Awarding Scientific Degrees, Doctor of Physics and Mathematics Sciences (DSc)

M.Z. Sharipov

M.Z. Sharipov
Chairman of Scientific Seminar under Scientific Council on Awarding Scientific Degrees, Doctor of Physics and Mathematics Sciences (DSc), professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the research is to study the propagation characteristics of evanescent waves appearing in multi-layer viscoelastic well casings in mutual coupling with the environment, to work out the program and calculation method that will be used for the estimation of tense and deformative state induced by the external dynamic loading of wells and to enhance the analytical and computational methods.

The objectives of the research are as follows:

- to develop the methodology and algorithm for problem solution related to the propagation of waves occurring in liquid cylindrical well lining with a circular section, in mutual coupling with the viscoelastic environment;
- to work out the methodology and algorithm for solving the problem of tense and deformative state induced by the external dynamic loading in cylindrical well casings that are in mutual coupling with the viscoelastic environment;
- to evaluate comparatively the pipe wave propagation in viscoelastic casing wells.

Scientific novelty of the research is as follows:

The theory of the propagation of natural waves occurring in liquid cylindrical well lining with a circular section, in mutual coupling with the viscoelastic environment was developed and the methodology as well as the algorithm relating to the problem solution of stress-deformation (action) occurring under the influence of the dynamic load was worked out;

The following numerical results were determined during the research: the high modes of frequency are characterized by the occurrence of cut-off and in its low-levels there is no any occurrence of waves;

From the thorough analysis it was determined that the absorption of waves occurs in the wells and the phase velocity or frequency is a complex quantity, it was also measured that the location of the real and abstract parts of the roots of the dispersion equation depends on the numbers of waves;

On the base of numerical calculations it was discovered that the record-keeping of the properties of case pipes and viscosity of the environment affect on the dissipation of pipe wave energy up to 15-20%, and the dissipation of water waves up to 15%.

Implementation of the research results

The data and scientific findings of the research were extensively used in the fundamental project work №F-4-04 called “Development and computational methods of the theory of researching the tense and deformative state of liquid-flowing curvilinear buried pipes under the influence of impulsive forces” (Reference dated July 5, 2022, №02/02-89-680) done in 2012-2016 in Bukhara Institute of Engineering and Technology on resolving the problems of the mutual coupling of the environment with the cylindrical shell pipes that function under the pressure. As a result, via the implementation of the scientific results obtained in the research, we evaluated the resonance amplitude fields of the vibration of elastic and viscoelastic fluid pipes. Moreover, they were widely used in the fundamental

project №OT-F4-01 under the name “Working-out the methods of learning and development of theory relating to the nonlinear dynamic tense and deformation of curvilinear pieces of multi-layer composite viscous fluid pipes under the impact of temperature and transient loads” that was carried out in 2016-2020 within the framework of the State Scientific and Technical Program under the patronage of Tashkent Chemical-Technological Institute (professor I.I. Safarov, the project leader) (Reference dated May 10, 2022). They are as follows:

- from the algorithm used for identifying eigenvalues and the vectors of the system of linear differential equations;
- from the algorithm allowing for operating conditions of wiping contact with the environment and the strength of buried pipes;
- during the application of the methods of demonstrating the existence and uniqueness theorems of the inversion scheme.

The structure and size of the research. The research work consists of an introduction, four chapters, conclusion, the list of references and appendix. The total volume of the work is 108 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (часть I; part I)

1. Teshaeв M.Kh., Safarov U.I., Djuraev Sh.I., Eshpulatov B. X. Non-Stationary Vibration of a Viscoelastic Cylindrical Shell with a Viscous Fluid. International Journal of Innovative Analyses and Emerging Technology. – 2022. – Vol. 2. Issue: 1. – P. 63-70 (IF=7.225)

2. Кульмуратов Н.Р., Эшпўлотов Б.Х. О действии подвижной волны давления на вязкоупругую цилиндрическую оболочку, взаимодействующую с идеальной жидкостью. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. –2022. –Vol. 107, Issue: 03.–P.33-38 (IF= 7.184)

3. Кульмуратов Н.Р., Эшпўлотов Б.Х. Распространение волн в слое находящихся в деформируемых средах. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. –2022. –Vol. 107, Issue: 03.–P.1-6 (IF= 7.184)

4. Эшпўлотов Б.Х., Абдурахмонов Ф. The scientific views of the great scientist abu rayhan beruni in the field of mathematics. Epra International Journal of multidisciplinary research. –2021. – Vol. 7, Issue: 4. P. 315-317.(IF=8.047)

5. Эшпўлотов Б.Х., Караматов Б., Ашурова Г., Фаффорова Д., Турлибаева Г. Factors in the development of logical thinking in mathematics lessons. Academicia an international multidisciplinary research Journal. –Vol.-11, Issue-4. –P. 639-643 (IF=7.492)

6. Эшпўлотов Б.Х. Распространение собственных волн в двухслойной вязкоупругой среде. “Илм сарчашмалари”. Урганч Давлат университети нашриёти. –2022. –№3. 12-17 б. (01.00.00, №12)

II бўлим (часть II; part II)

1. Авлиёкулов Н.Н., Киемов Ш., Эшпўлотов Б. Взаимодействие цилиндрической облочки с грунтовой средой при воздействии нестационарных волн. “Проблемы внедрения современной техники и технологий в производство” Республиканский научно-практической конференции.- Жиззах 18-19 май – 2007 г с. 53-57.

2. Рашидов М., Умаров А.О., Эшпўлотов Б. О распространении и десперсии волн в скважине. ”Прикладная математика, механика жидкости, газа и плазмы” Материалы международной научно- технической конференции Самарканд – 28-29 июня 2007 г с.85-86

3. Болтаев З.И., Нуриддинов Б.З., Ахмедов М.Ш., Эшпўлотов Б. Мухит билан алоқада бўлган бўлакчи бир жинсли цилиндрик жисмда хос тўлқин таркалиши хусусиятлари.”Кимё ва озик-овқат махсулотларининг сифати ва хавфсизлигини таъминлашда инновацион технологиялар” Халқаро илмий-механикавий конференция тезислар тўплами. –Тошкент. – 2021. 334-339 б.

4. Рўзимов А., Эшпўлотов Б. Проблемы расчета трубопроводных систем на динамические нагрузки. “Механика ва математиканинг амалий

муаммолари” Республика илмий-амалий конференцияси. –Тошкент. – 26-28 май 2022 йил 48-52 б.

5. Рўзимов А., Эшпўлотов Б. Использование подземных взрывов для выявления эффектов влияния рельефа местности на интенсивность колебаний. “Механика ва математиканинг амалий муаммолари” Республика илмий-амалий конференцияси . –Тошкент. – 26-28 май 2022 йил 304-309 б.

Автореферат “Дураонца” нақаринотига тахрирдан утказилди ҳамда ўзбек,
рус ва инглиз тилларидаги таълиқнинг мослиги текширилди.



Босишга рухсат этилди: 06.12.2022 йил. Бичими 60x84 1/16 ,
«Times New Roman» гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3,5. Адади: 100 нусха. Буюртма № 301.
Гувоҳнома АІ №178. 08.12.2010.

“Садриддин Салим Бухорий” МЧЖ босмахонасида чоп этилди.
Бухоро шаҳри, М.Иқбол кўчаси, 11-уй. Тел.: 65 221-26-45