

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc30.08.2018.FM/T.02.09  
РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**КУЛЬМУРАТОВ НУРИЛЛО РАХИМОВИЧ**

**ДЕФОРМАЦИЯЛАНУВЧИ МУҲИТДА ЖОЙЛАШГАН БЎЛАКЛИ,  
БИР ЖИНСЛИ СУЮҚЛИКЛИ ЦИЛИНДРИК ЖИСМЛАРГА  
ТЎЛҚИНЛАР ТАЪСИРИНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИ**

**01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси**

**техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Самарқанд – 2019**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

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

**Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on  
sciences**

**Кульмуратов Нурилло Рахимович**

Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакчи, бир жинсли суюқликчи  
цилиндрик жисмларга тўлқинлар таъсирининг хусусиятлари ..... 3

**Кульмуратов Нурилла Рахимович**

Особенности воздействий волны на кусочно-однородное цилиндрическое тело  
с жидкостью, находящейся в деформируемой среде ..... 21

**Kulmuratov Nurillo Raximovich**

Peculiarities of the exposure to a wave on a piece-unique cylindrical body with a  
liquid under the deformable environment ..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 43

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc30.08.2018.FM/T.02.09  
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**КУЛЬМУРАТОВ НУРИЛЛО РАХИМОВИЧ**

**ДЕФОРМАЦИЯЛАНУВЧИ МУҲИТДА ЖОЙЛАШГАН БЎЛАКЛИ,  
БИР ЖИНСЛИ СУЮҚЛИКЛИ ЦИЛИНДРИК ЖИСМЛАРГА  
ТЎЛҚИНЛАР ТАЪСИРИНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИ**

**01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси**

**техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.4.DSc/T514 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Навоий давлат кончилик институтида бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:** Сафаров Исмоил Иброҳимович  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** Мавланов Тўлқин  
техника фанлари доктори, профессор  
Бердиев Шавкат Давронович  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:** Наманган муҳандислик қурилиш институти

Диссертация ҳимояси Самарқанд давлат университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc30.08.2018.FM/T.02.09 рақамли илмий кенгашнинг 2019 йил 23-ноябр кuni соат 14:00 даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15. Тел.: (8366) 2351938. Факс: (8366) 2351938. E-mail: sasu\_info@edu.uz.

Диссертация билан Самарқанд давлат университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (99 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15. Тел.: (8366) 2351938. Факс: (8366) 2351938. E-mail: sasu\_info@edu.uz.

Диссертация автореферати 2019 йил 14-ноябр кuni тарқатилди. (2019 йил «14» ноябр даги 7 рақамли реестр баённомаси).



*[Handwritten signature]*

**Р.И.Халмуратов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор

*[Handwritten signature]*

**А.Абдирашидов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, физика-математика фанлари доктори, доцент

*[Handwritten signature]*

**Х.Худойназаров**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда деформацияланувчи (эластик ва қовушок) муҳитларда жойлашган жисмларда мик ва портлаш тўлқинлари таъсирида ҳосил бўладиган кучланиш ва деформация, ҳамда тўлқин дифракцияси муаммоларини ўрганишга катта ёрдам қаратилмоқда. Сунги йилларда АҚШ, Франция, Хитой, Япония, Россия Федерацияси ва бошқа ривожланган мамлакатларда сейсмик ва портлаш тўлқинлари таъсирида ҳосил бўладиган юкланишлар остида ишловчи замонавий ер ости иншоотларининг мустаҳкамлигини таъминлаш ва улардаги кучланиш ва деформацияларини камайтириш жараёнини ифодаловчи классик бўлмаган моделлар қўланилмоқда. Шу жиҳатдан ер ости иншоотларининг таркибий қисми бўлган эластик ва қовушок-эластик қатламларда ҳосил бўладиган динамик кучланишлар ва деформацияларни камайтириш, улардаги тўлқин динамикасини ўрганиш ва билиш жараёнларига алоҳида эътибор қаратилган.

Жаҳонда ер ости иншоотлари соҳасида қўлланиладиган материалларнинг, шу жумладан кўп қатламли ўзгарувчан қалинликдаги мураккаб физик хоссаларга эга бўлган ва муҳит билан алоқада бўлган цилиндрик полимер, бетон ва металл қобикларнинг мустаҳкамлигини тадқиқ қилишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу йўналишда, жумладан цилиндрик кўринишдаги суюқликли (суюқликсиз) жисмларнинг қовушок-эластиклик хусусиятини ҳисобга олиб, иншоотларнинг кучланиш-деформация ҳолатини аниқлашнинг математик моделларини ва замонавий ҳисоб усулларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга бундай иншоотларнинг ностационар ҳолати учун деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли, бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмларга тўлқинлар таъсирининг хусусиятларини аниқлашнинг математик модели, алгоритми ва дастурларини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизда қурилиш ва техника соҳасида турли динамик юкланишлар таъсири остида бўлган цилиндрик кўринишдаги суюқликли (суюқликсиз) материалларнинг қовушок-эластиклик хусусиятини ҳисобга олиб, иншоотларнинг кучланиш-деформацияни ҳисоблаш модели ва алгоритминини яратиш ва амалиётга кенг тадбиқ этиш чора-тадбирларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасининг янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... ишлаб чиқаришни модернизация қилиш, техник ва технологик жиҳатдан янгилаш, ишлаб чиқариш..., ... тежамкор ва самарали замонавий технологияларни босқичма-босқич жорий этиш ...»<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли, бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмларга тўлқинлар таъсирининг хусусиятларини ўрганиш

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасининг янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони.

жараёнларини ифодаловчи такомиллаштирилган математик моделларни яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар Академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2017 йил 9 августдаги ПҚ-3190-сон «Ўзбекистон Республикаси ҳудуди ва аҳолисининг сейсмик хавфсизлиги, сейсмик чидамли қурилиш ва сейсмология соҳасида илмий тадқиқотлар ўтказишни янада ривожлантириш чора-тадбирларини тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолият соҳасига тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни бажаришга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва инновацион технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика, иншоотлар сейсמודинамикаси ва информатика» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Деформацияланувчан қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли цилиндрик қобикларда тўлқинлар дифракцияси ва муҳит билан алоқада бўлган жисмларнинг хос тебранишлари муаммоси билан боғлиқ назарий ва тажрибавий илмий тадқиқот ишлари бўйича чет элда тадқиқотчилардан Ильюшин А.А., Бреховских Л.В., Викторов И.А., Горишков А.Г., Вольмир А.С., Генкин М.Д., Шемякин Е.И., Гузь А.Н., Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л., Нигул У.К., Гоголадзе В.Г., Трояновский И.Е., Кийко И.А., Молотков Л.А., Новичков Ю.И., Петрашень Г.И., Крауклис П.В., Фралов К.В., Антонов А.Н., Матвеев В.П., Анофрикова Н.С., Ахенбах Ж.Д., Дейвис Р.М., Шардаков И.Н., Старовойтов Э.И., Мейтцлер А., Микер Т., Митра Р., Кольский Г., Уайт., Сан Р.И., Шафер Б.В. ва бошқалар, юртимизда бу муаммони ечишда олимлардан Раҳматулин Х.А., Ўразбоев М.Т., Ширинкулов Т.Ш., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Муборақов Я.Н., Мардонов Б.М., Султонов К.С., Маматқулов Ш.М., Мирсаидов М.М., Бадалов Ф.Б., Хожметов Г.Х., Ишанходжаев А.А., Мавлонов Т.М., Абдусатторов А., Сафаров И.И., Худойназаров Х., Ҳасанов Б.Э., Тешаев М.Х., Бозоров М.Б., Эшматов Х., Юлдашев Ш.С., Абдуқодиров С., Бўриев А., Ўсаров М., Абдирашидов А. ва бошқалар томонидан илмий тадқиқотлар олиб борилган.

Бу соҳада улар муҳит билан алоқада бўлган цилиндрик ва сферик кўринишдаги жисмларда тўлқин дифракцияси (ёки қовушоқ-эластик ва акустик) масалаларни материалларнинг реологик хусусиятларини ҳисобга олиб динамик кучланишлар ва деформация ҳолатини ҳисоблаш усуларини ривожлантиришган. Уларнинг ишларида асосан эластик муҳитга жойлашган ҳалқа кўндаланг кесимли цилиндрик кўринишдаги жисмларда эластик тўлқин дифракцияси муаммоси ўрганилган. Идеал суюқликли цилиндрик

бўшлиқда текис эластик тўлқин дифракцияси масаласи махсус функциялар ёрдамида асимптотик ечимлар олинган.

Бугунги кунда бўлакли бир жинсли цилиндрик кўринишдаги жисмларда тўлқин дифракциясини материалнинг реологик хусусиятларини ҳисобга олиб ўрганиш, диссипатив бир жинсли бўлмаган цилиндрик формадаги жисмларда тўлқин дифракцияси ва хос тебранишларни ўрганиш, бўлакли бир жинсли диссипатив бир жинсли бўлмаган жисмларнинг қовушоқ-эластиклик хусусиятларини ифодаловчи релаксация ядроси ва унинг параметрларини танлаш асосида турли хил мавжуд назариялар натижаларини (тақрибий ва аниқ) таққослаш ва қўллаш чегарасини кўрсатиш масаларини ечиш усули ва алгоритмларини ишлаб чиқишдаги муаммолар етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқотлари олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режасининг Ф-4-23 рақамли «Эластиклик назариясининг динамик масаласи уч ўлчамли бўлак-бўлак жинслардан иборат бўлган узлуксиз ярим фазода ҳаракатланувчи юкдан ҳосил бўладиган тўлқинларнинг тарқалишини тадқиқ қилиш» (2012-2016) ва ОТ-Ф4-01 «Қовушоқ суюқлик оқувчи кўп қатламли композит кувурлар эгри чизиқли эгри чизиқли бўлақларининг ҳарорат ва динамик юкланишлар таъсирида чизиқли бўлмаган кучланиш-деформация ҳолатини ўрганиш усулларини ишлаб чиқиш ва назариясини ривожлантириш» (2012-2016) мавзудаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик қобикларга тўлқинлар (гармоник ва турғун бўлмаган) таъсирининг такомиллаштирилган математик моделини қуриш ва тенгламаларни сонли ечиш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик қобикларда (гармоник ёки нотурғун) тўлқинларнинг таъсири масаласи материаллар реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда математик қўйилиши, уни ечиш методи ва алгоритми ишлаб чиқиш;

қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик қобикларнинг хос тебранишлари масаласи материал реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда математик қўйилиши, уни ечиш методи ва алгоритминини ишлаб чиқиш;

қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли фазовий цилиндрик қобикда гармоник тўлқин юкланиши натижасида динамик кучланишлар ва деформация ҳолатининг ўзгаришига солиштирма баҳо бериш;

деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик қобикдаги контур кучланишлари қийматининг тўлқин тушиш бурчагига боғлиқлигини сонли ҳисоблашлар натижасида асослаб бериш;

**Тадқиқот объекти** сифатида суяқликли цилиндрик қобик, цилиндрик бўшлиқ, икки ва уч қатламли суяқликли цилиндрик жисм олинган.

**Тадқиқот предмети** қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суяқликли цилиндрик қобикларга тўлқинларнинг таъсири масалаларини бўлақларнинг реологик хусусиятлари ва геометрик параметрларини ҳисобга олган ҳолда математик моделини ривожлантириш ва сонли ечиш алгоритминини ишлаб чиқиш жараёнларини ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида деформацияланувчан қаттиқ жисм механикасининг хусусий ҳосилалари интегро - дифференциал тенгламаларни ечиш учун деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси ва математик физиканинг махсус функциялари орқали ечимни топиш, Мюллер ва Фурьенинг интеграл алмаштиришлари, Гаусс ва Рөмберг усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суяқликли цилиндрик қобикларда (гармоник ёки нотурғун) тўлқинларнинг таъсири масаласи материаллар реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда масаланинг математик қўйилиши, уни ечиш методи ва алгоритми ишлаб чиқилган;

қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суяқликли цилиндрик қобикларнинг хос тебранишлари масаласи материал реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда масаланинг математик қўйилиши, уни ечиш методи ва алгоритми ишлаб чиқилган;

қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суяқликли фазовий цилиндрик қобикда гармоник тўлқин юкланиши натижасида динамик кучланишлар ва деформация ҳолатининг ўзгаришига солиштирма баҳо берилган;

деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суяқликли цилиндрик қобикдаги контур кучланишлари қийматининг тўлқин тушиш бурчагига боғлиқлигини сонли ҳисоблашлар натижасида асослаб берилган;

юмшоқ грунтда бўлган бетон қобикда  $SH$  тўлқин, бошқа  $SV$  ва  $P$  тўлқинларга қараганда, катта контур кучланишлари ҳосил қилиши топилган.

қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суяқликли цилиндрик қобикларнинг бўйлама ва кўндаланг тўлқинлар таъсиридаги максимал динамик кучланишлари манбанинг яқинлашишга боғлиқлиги топилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

деформацияланувчи муҳитда жойлашган қатламли цилиндрик жисмларга тўлқин юкланиши оқибатида ҳосил бўладиган кучланишлар ва деформация ҳолати учун цилиндрик жисмлар мустаҳкамликни ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилди;

спектрал масалада комплекс частоталарни чекли сондаги модаларини топиш муаммосини ҳал қилинди;



бўйлама ва кўндаланг юкланиш остидаги деформацияланувчи муҳит ва иккита цилиндрик қобик билан ҳимояланган цилиндрик жисмдаги кучланишлар тақсимооти аниқланди.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Чегаравий ва спектраль масаланинг кўйилиши, келтириб чиқарилган математик ифодаларнинг қатъийлиги, асосланган ечиш усулларида фойдаланиш ва ечимларнинг аниқлигини баҳолаш бошқа математик кўйилган масалаларнинг ечимларига мослиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқотда олинган натижаларнинг илмий аҳамияти деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли қобикларда тўлқин юкланиши ва дифракцияси назариясининг ривожланишига салмоқли ҳисса кўшилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот ишининг амалий аҳамияти деформацияланувчи муҳитда жойлашган қатламли цилиндрик жисмларда тўлқин юкланиши оқибатида ҳосил бўладиган кучланишлар ва деформация ҳолатининг янги қонуниятларини ўрганиш имкониятининг пайдо бўлиши, спектрал масалада комплекс частоталарнинг чекли сондаги моддаларини топиш муаммосини ҳал қилиниши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик қобикларга цилиндрик бўйлама ва кўндаланг тўлқинлар ёки юкланишлар таъсири масалаларини материалнинг реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда математик моделлаштириш назариясини ривожлантириш учун ишлаб чиқилган ҳисоблаш методи, алгоритми ва дастурлари бўйича олинган натижалар асосида:

материаллар реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик қобикларда (гармоник ёки нотурғун) тўлқинларнинг таъсири масаласининг математик модели №Ф4-14 «Суюқлик оқувчи ер ости эгри чизикли қувурнинг ташқи кучлари таъсиридаги кучланиш-деформациялар ҳолатини татқиқ қилиш назариясини ривожлантириш ва ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш» (2012-2016) мавзудаги фундаментал лойиҳа доирасида олиб борилган суюқлик оқувчи цилиндрик ва тороидал қобикларнинг эркин тебранишлари назариясини ривожлантиришда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта-маҳсус таълим вазирлигининг 2018 йил 15 ноябрдаги 89-03-3928-сон маълумотномаси). Натижада суюқлик оқувчи цилиндрик ва тороидал қобиклардаги максимал кучланишларни 20% гача камайтириш имконини берган;

ер ости портлаши ва сейсмик юкланиш таъсиридан ер ости қувурларида пайдо бўладиган қисқа частотали тўлқинлар таҳлилини берувчи ишлаб чиқилган сонли алгоритм ва дастур Навоий кон-металлургия комбинати таркибидаги корхоналарнинг ишлаб чиқариш объектларида масофада бўлган тўлқинларнинг резонанс ҳолатларини аниқлаш имконини берган (НКМК Марказий илмий тадқиқот лабораториясининг 2018 йил 28 декабрдаги 2383-

сон далолатномаси ҳамда НКМКнинг 2019 йил 30 майдаги 02-06-07/6924 сонли маълумотномаси). Натижада бу цилиндрик қувурлардаги қисқа тўлқинлар соҳасида тебраниш частоталарини 15-17 фоизга камайтириш, унинг ҳисобидан мустаҳкамликни 20 фоизга ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 10 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий, анжуманларида ва симпозиумларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 21 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан 1 таси республика ва 6 таси хорижий нашрларда нашр қилинган, ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилинганлиги тўғрисида 1 та гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертация ҳажми 133 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида масаланинг кенгайтирилган характеристикаси ва муаммонинг долзарблиги, диссертация ишининг мақсади, ҳимоя олиб чиқилаётган асосий илмий янгилигилари, республика фан ва инновацион технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган ва олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамиятлари кенг очиб берилиб, тадқиқот натижаларини жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши ва унинг барча боблари бўйича қисқача мазмуни келтирилган.

Диссертациянинг «**Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмга тўлқинларнинг таъсири**» деб номланган биринчи бобида деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмда тўлқинларнинг таъсирлари масалаларини қўйилиши, ечиш услубиёти ва алгоритми келтирилган. Бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисм ҳаракатининг хусусий ҳосилали интегро-дифференциал тенгламаси, қобиқ ва суюқлик тенгламалари орқали ифодаланади (1-расм):

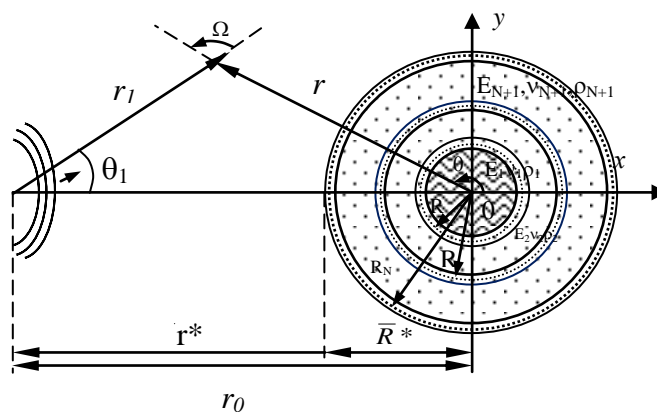
$$(\tilde{\lambda}_j + 2\tilde{\mu}_j)\text{graddiv } \vec{u}_j - \tilde{\mu}_j \text{rotrot} \vec{u}_j + \vec{b}_j = \rho_j \frac{\partial^2 \vec{u}_j}{\partial t^2}, \quad (j = 2, 4, \dots, N+1), \quad (1)$$

$$L\tilde{E}\vec{u} = \frac{(1-\nu_0^2)}{h_0} \vec{p} + \rho_0(1-\nu_0^2) \left( \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} \right), \quad (k = 1, 3, \dots, N); \quad \Delta\varphi_0 - \frac{1}{c_0^2} \ddot{\varphi}_0 = 0, \quad (2)$$

бунда  $\tilde{\lambda}_j$ ,  $\tilde{\mu}_j$  ва  $\tilde{E}_k$  оператор кўринишдаги эластиклик модуллари

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda}_j f(t) &= \lambda_{0j} \left[ f(t) - \int_{-\infty}^t R_\lambda^{(j)}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], & \mu_j f(t) &= \mu_{0j} \left[ f(t) - \int_{-\infty}^t R_\mu^{(j)}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right]; \\ \tilde{E}f(t) &= E_{01} \left[ f(t) - \int_{-\infty}^t R_E(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], & \beta_1^{(k)} &= \frac{\gamma_k (1-v_k^2) c_1^2 R_k^2}{R_1}, & \beta_2^{(k)} &= \frac{R_k^2 (1-v_k^2) c_1^2 \rho_1}{h_k R_1}, \end{aligned} \quad (3)$$

Бунда  $E_{01}$  - Юнг модули;  $\bar{u} = \bar{u}(u_r, u_\theta, u_z)$  - қобик ўрта сиртини кўчиш вектори (Кирхгоф - Ляв гипотезалари ўринли бўлганда), кўпинча қуйидагича белгилаш киритилади ( $u_r = u$ ;  $u_\theta = v$ ;  $u_z = w$ ), Бу ерда  $\bar{u}_j(u_{rj}, u_{\theta j}, u_{zj})$  - кўчиш вектори бўлиб  $r, \theta, z, t$  - нинг функцияси;  $\varphi_0$  - идеал суюқлик ҳаракатини ифодаловчи потенциал функция;  $\rho_j$  - қатлам материалнинг зичлиги;  $\gamma_k$  - қобик материалнинг зичлиги;  $\bar{b}_j$  - ҳажмий куч ( $b_j = 0$ );  $f(t)$  - узлуксиз функция;  $R_E^{(j)}(t-\tau)$ ,  $R_\mu^{(j)}(t-\tau)$  ва  $R_\lambda^{(j)}(t-\tau)$  - релаксация ядроси;  $\lambda_{0j}, \mu_{0j}$  - қатламнинг ёпишқоқлик назариясидаги оний эластиклик модули,  $E_{01}$  - қобикнинг оний эластиклик модули.



1-расм. Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакчи бир жинсли суюқликчи цилиндрик жисмдаги тўлқинларнинг дифракцияси масаланинг ҳисоб схемаси.

Ҳисоблашларда уч параметрли Колтунов-Рижаницин релаксация ядросидан фойдаланилди  $R_k(t) = A_k e^{-\beta_k t} / t^{1-\alpha_k}$ . Қатламлар орасида қаттиқ маҳкамланганлик (ёки сирпанувчи) шарти

$$\begin{aligned} r = a_k : \quad \sigma_{rrk} &= \sigma_{rr(k+1)}; \quad \sigma_{r\theta k} = \sigma_{r\theta(k+1)}; \quad \sigma_{rz k} = \sigma_{rz(k+1)}; \\ u_k &= u_{k+1}; \quad \vartheta_k = \vartheta_{k+1}; \quad w_k = w_{k+1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Қатламнинг эркин сатҳида кучланишлардан озод бўлганлик шарти

$$r = R_1 : \quad \sigma_{rrN} = 0; \quad \sigma_{r\theta N} = 0; \quad \sigma_{rzN} = 0 \quad (5)$$

Агар  $r \rightarrow \infty$  муҳитнинг бўйлама ва кўндаланг тўлқин потенциаллари учун ( $j = N + 1$ ) Зоммерфельднинг чексизликда тўлқин ютилиши шарти қўйилади

$$\begin{aligned} \lim_{r \rightarrow \infty} \varphi_{N+1} &= 0, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} (\sqrt{r})^\kappa \left( \frac{\partial \varphi_{N+1}}{\partial r} + i\alpha_{N+1} \varphi_{N+1} \right) = 0, \\ \lim_{r \rightarrow \infty} \psi_{N+1} &= 0, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} (\sqrt{r})^\kappa \left( \frac{\partial \psi_{N+1}}{\partial r} + i\beta_{N+1} \psi_{N+1} \right) = 0 \end{aligned}$$

Муҳитда таркалаётган цилиндрик ва текис тўлқинлар текис деформация ҳолати учун қуйидагича учта ҳолда бўлади:

$$1. \quad \varphi_{N+1}^{(i)} = A e^{i(\alpha_{N+1} x - \alpha t)}, \quad \psi_{N+1}^{(i)} = 0; \quad 2. \quad \psi_{N+1}^{(i)} = A e^{i(\beta_{N+1} x - \alpha t)}, \quad \varphi_{N+1}^{(i)} = 0, \quad 3. \quad \varphi_{N+1}^{(i)} = \varphi_{(N+1)0} i \pi H_0^{(1)}(\alpha_{N+1} \bar{r}) e^{-i\alpha t}. \quad (6)$$

Агар қатламли цилиндрик жисм турғун бўлмаган тўлқин юкланишида бўлса, у ҳолда уни қуйидагича бўлади.

$$\sigma_{xyn}^{(p)} = \sigma_0 H(\hat{t}), \quad \sigma_{xyn}^{(p)} = \sigma_0 \frac{v_n}{1-v_n} H(\hat{t}), \quad \hat{t} = t - (x + r_N) / C_{Pn}, \quad (7)$$

бунда  $\sigma_0$  - тушадиган тўлқин амплитудаси;  $H(t)$  - Хевисайднинг бирлик функцияси;  $n=1,2,\dots,N+1$  - цилиндрик қатламларнинг тартиб рақамлари;  $n=N$  - цилиндрни ўраб турувчи муҳит.

Цилиндрик жисм ва муҳитни кўчиш вектори қуйидагича

$$\vec{u}_j = \text{grad } \varphi_j + \text{rot } \vec{\psi}_j, \quad (8)$$

Асосий масалалар эластиклик назариясининг текис деформация ҳолати масаласига олиб келинади. Шунинг учун  $\varphi_j$  - бўйлама ва  $\vec{\psi}_j(0,0,\psi)$  - кўндаланг тўлқин потенциаллари қўйидаги интегро-дифференциал тенгламаларни қаноатлантиради

$$\begin{aligned} (\lambda_{oj} + 2\mu_{oj}) \nabla^2 \varphi_j - \lambda_{oj} \int_{-\infty}^t R_{\lambda}^{(j)}(t-\tau) \nabla^2 \varphi_j d\tau - 2\mu_{oj} \int_{-\infty}^t R_{\mu}^{(j)}(t-\tau) \nabla^2 \varphi_j d\tau &= \rho_j \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial t^2}; \\ \mu_{oj} \nabla^2 \vec{\psi}_j - \mu_{oj} \int_{-\infty}^t R_{\mu}^{(j)}(t-\tau) \nabla^2 \vec{\psi}_j d\tau &= \rho_j \frac{\partial^2 \vec{\psi}_j}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (9)$$

бунда  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$  - цилиндрик координаталар системасидаги дифференциал оператор ва  $\nu_j$  - Пуассон коэффициенти. Юқорида келтирилган (9) тенгламанинг ечими қуйидагича изланади:

$$\varphi_j(r, \theta, t) = \sum_{k=1}^{\infty} q_{kj}^{(\varphi)}(r) \cos(n\theta) e^{-i\omega t}; \quad \psi_j(r, \theta, t) = \sum_{k=1}^{\infty} q_{kj}^{(\psi)}(r) \sin(n\theta) e^{-i\omega t}, \quad (10)$$

$$g^{(k)}(R_k, \theta, t) = \sum_{k=1}^{\infty} V_k(R_k) \sin(n\theta) e^{-i\omega t}, \quad w^{(k)}(R_k, \theta, t) = \sum_{k=1}^{\infty} W_k(R_k) \cos(n\theta) e^{-i\omega t},$$

$$\nabla^2 q_{kj}^{(\varphi)}(r, \theta) + \alpha_j^2 q_{kj}^{(\varphi)} = 0, \quad \nabla^2 q_{kj}^{(\psi)}(r, \theta) + \beta_j^2 q_{kj}^{(\psi)} = 0, \quad \nabla^2 q_{k0}^{(\varphi)}(r, \theta) + \alpha_0^2 q_{k0}^{(\varphi)} = 0, \quad j=1,2,\dots,N. \quad (11)$$

Бунда 
$$\alpha_j^2 = \frac{\rho \omega^2}{\lambda_{oj}(1-\bar{\lambda}_{oj}) + 2\mu_{oj}(1-\bar{\mu}_{oj})}, \quad \beta_j^2 = \frac{\rho \omega^2}{\mu_{oj}(1-\bar{\mu}_{oj})}, \quad \alpha_0^2 = \frac{\omega^2}{C_0^2}$$

$$\bar{\lambda}_{oj} = a_{\lambda j}(\omega) + i b_{\lambda j}(\omega), \quad \bar{\mu}_{oj} = a_{\mu j}(\omega) + i b_{\mu j}(\omega),$$

$$a_{\lambda j}(\omega) = \int_0^{\infty} R_{\lambda j}(\tau) \sin \omega \tau d\tau, \quad b_{\lambda j}(\omega) = \int_0^{\infty} R_{\mu j}(\tau) \cos \omega \tau d\tau.$$

$V_k(R_k)$ ,  $W_k(R_k)$  - амплитуда функцияси бўлиб, (3) га қўйиш орқали аниқланади. Цилиндрик муҳитни ўраб турувчи муҳит учун тўлиқ потенциаллар қуйидагича бўлади:

$$\phi_{N+1} = \phi_{N+1}^{(p)} + \phi_{N+1}, \quad \Psi_N = \psi_N, \quad \phi_j = \varphi_j, \quad \Psi_j = \psi_j, \quad \phi_0 = \varphi_0 \quad (j=1,2,\dots,N).$$

1-расмда келтирилган геометрик муносабатлардан фойдалансак, яъни  $\bar{r}, \bar{\theta}$  координатадан  $r, \theta$  координатага ўтсак  $r \leq r_N$  соҳа учун

$$\varphi_N^{(p)} = \varphi_0 i \pi \sum_{n=1}^{\infty} [(-1)^n E_n J_n(\alpha_N r) H_n^{(1)}(\alpha_N z)] \cos n\theta e^{-i\omega t}, \quad (12)$$

бунда  $E_n = \begin{cases} 1, & n=0 \\ 2, & n \geq 1 \end{cases}$ ,  $J_n$  - Бесселнинг цилиндрик функцияси.

Бу оддий дифференциал тенгламалар Бессел тенгламалари бўлиб, уларнинг ечимлари 1 ва 2 жинсли  $n$ -тартибли Бессел ва Ханкел функциялари орқали ифодалангани:

$$\begin{aligned}\varphi_j &= \sum_{n=0}^{\infty} [A_{nj} H_n^{(1)}(\alpha_j r) + A'_{nj} H_n^{(2)}(\alpha_j r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r}; \\ \psi_j &= \sum_{n=0}^{\infty} [B_{nj} H_n^{(1)}(\beta_j r) + B'_{nj} H_n^{(2)}(\beta_j r)] \sin n\theta e^{-i\alpha r}; \quad j = 1, 2, \dots, N-1; \\ \varphi_N &= \sum_{n=0}^{\infty} [C_{nN} H_n^{(1)}(\alpha_N r) + D_{nN} H_n^{(2)}(\alpha_N r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r}; \\ \psi_N &= \sum_{n=0}^{\infty} [M_{nN} H_n^{(1)}(\beta_N r) + L_{nN} H_n^{(2)}(\beta_N r)] \sin n\theta e^{-i\alpha r}; \\ \varphi_0 &= \sum_{n=0}^{\infty} [K_{n0} J_n(\alpha_0 r) + K'_{n0} N_n(\alpha_0 r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r},\end{aligned}\tag{13}$$

бунда  $A_{nj}, A'_{nj}, B_{nj}, B'_{nj}, C_{nj}, D_{nj}, L_{nN}, M_{nN}, K_{nN}$  ва  $K'_{nN}$  - ихтиёрий ўзгармас катталиклар, бўлиб чегаравий шартлардан топилади;  $H_n^{(1)}(\alpha_j r)$  ва  $H_n^{(2)}(\alpha_j r)$  - мос равишда Бессел ва Ханкел функциялари  $H_n^{(1)(2)}(\alpha r) = J_n(\alpha r) \pm iN_n(\alpha r)$ .

Агар (13) ечим ( $j = N$ ) чексизликда ( $r \rightarrow \infty$ ) Зоммерфельднинг ютилиш шартини қаноатлантирса, у ҳолда қуйидагича бўлади:

$$\varphi_N = \sum_{n=0}^{\infty} [C_{nN} H_n^{(1)}(\alpha_N r) + D_{nN} H_n^{(2)}(\alpha_N r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r}; \quad \psi_N = \sum_{n=0}^{\infty} [M_{nN} H_n^{(1)}(\beta_N r) + L_{nN} H_n^{(2)}(\beta_N r)] \sin n\theta e^{-i\alpha r}$$

Ихтиёрий ўзгармасларни топиш учун чегаравий шартлардан фойдалансак бир жинсли бўлмаган комплекс коэффицентли алгебраик тенгламалар системасини оламыз:

$$[C]\{q\} = \{p\}\tag{14}$$

бунда  $\{q\}$ - устун вектори бўлиб ихтиёрий ўзгармаслардан ташкил топган;  $\{p\}$ - ташки тушадиган тўлқин таъсиридаги устун вектори;  $[C]$  - квадрат матрица, элементлари Бесселя ва Ханкеля функцияларидан ташкил топган.

Деформацияланувчи жисмдаги турғун бўлмаган тўлқинларнинг юкланиши ва дифракцияси масаласи математик қўйилиши келтирилган. (1) тенглама ва чегаравий шартларнинг қўчиш потенциаллари орқали ифодаланган тенгламаларини вақт бўйича Фурьенинг интеграл алмаштиришлари орқали ечилади. Фурьенинг тескари алмаштирилиши сонли Ромберг усули ёрдамида амалга оширилади. Шундай қилиб, биринчи бобда деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмдаги тўлқинларнинг (юкланиши) таъсири ўрганилиб математик қўйилиши ва ечиш методикаси келтирилган.

Диссертациянинг «**Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлган бўлакли, бир жинсли цилиндрик қобикларнинг хос тебранишлари**» деб номланган иккинчи бобида бўлакли бир жинсли цилиндрик қобик ва қатламларнинг (суюқликли ва суюқликсиз) хос тебранишларини ўрганишга бағишланган. Бу гармоник тўлқинлар таъсирида цилиндрик иншоотга рўй бериши мумкин бўлган резонанс ҳодисасини аниқлашга имкон берган. Сонли натижалар олинган ва таҳлил этилган. Цилиндрик қобик ва уни ўраб турган муҳит узун бўлганлиги сабабли, ўрганилаётган масалани эластиклик назариясининг текис деформация масаласига олиб келиш мумкин. У ҳолда

ҳаракат дифференциал тенгламаси цилиндрик координаталар системасида кўринишда бўлади. Бўйлама ва кўндаланг потенциаллар тўлқин тенгламасини қаноатлантиради. Мисол тариқасида эластик мухитдаги цилиндрик соҳа учун қуйидаги частота тенгламасини оламыз:

$$D_n = xH_{n-1}[(n^2 - 1)yH_{n-1}(y) - (n^3 - n + y^2/2)H_n(y)] - H_n(x)[(n^3 - n + y^2/2)yH_{n-1}(y) - (n^2 + n - y^2/4)y^2H_n(y)] = 0, \quad (15)$$

бунда  $x = \omega R(\rho/(\lambda + 2\mu))^{1/2}$ ;  $y = \omega R(\rho/\mu)^{1/2}$ ,  $\lambda$  ва  $\mu$  - Ламе коэффициентлари;  $\rho$  - материал зичлиги. Комплекс параметрли частота тенгламаси (16) Мюллер, усули ёрдамида ечилади.

Ҳақиқий ( $\text{Re}\Omega$ ) ва мавҳум ( $\text{Im}\Omega$ ) қисмлар комплекс частотанинг ҳақиқий қисми механик системани тебранишлар частотасини ифода қилса, мавҳум қисми эса демпфирлаш коэффициентини ифодалар экан (сўндириш коэффициенти).

Ҳисоблаш натижалари  $n \geq 0$ , ( $\nu_1 = 0,25$ ) 1-жадвалда келтирилган.

1 -жадвал

**Комплекс частотани  $n$  га нисбатан ўзгариши**

$\Omega$	n=0	n=1	n=2	n=3
Re $\Omega$	0.49729D+00	0.12923D+01	0.19975D+01	0.37535D+01
Im $\Omega$	-i0.42651D-01	-i0.56641D+00	-i0.89782D+00	-i0.93152D+00
Re $\Omega$			0.28911D+00	0.52375D+01
Im $\Omega$			-i0.17812D+00	-i0.32183D+01
Re $\Omega$			0.404637D+00	0.12317D+00
Im $\Omega$			-i0.178332D+00	-i0.20283D-01

Жадвалдаги натижаларни таҳлилидан  $n$  ни ортиб бориши билан комплекс частотанинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари ҳам ортиб боради. Қовушоқ - эластик ва унда жойлашган цилиндрик қобик хос сонларни аниқлайдиган частота тенгламаси қуйидагича бўлади.

$$h_2(\Omega_0^2 \nu_2 - a_n) + b_1 - b_1 d_1 \Omega_1 H_1^{(1)}(\Omega) / H_1^{(1)}(\Omega) = 0. \quad (16)$$

Частота тенгламаси фақат Пуассон коэффициентига ( $\nu$ ) боғлиқ бўлади. Пуассон коэффициентининг қиймати  $0 \leq \nu \leq 0,4$  оралиқда ўзгарганда частотанинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари 27% гача ўзгариши аниқланди. Натижалар 2 –жадвалда келтирилган.

2 -жадвал

**Комплекс частотани  $E$  га нисбатан ўзгариши**

$\Omega$	E=0,0025	E=0,05	E=0,1	E=0,15	E=0,25
Re $\Omega$	$1.24308 \cdot 10^{-1}$	$2.43758 \cdot 10^{-1}$	$33.16140 \cdot 10^{-1}$	$4.15825 \cdot 10^{-1}$	$10271 \cdot 10^{-15}$
Im $\Omega$	$-i \cdot 89267 \cdot 10^{-2}$	$-i4 \cdot 39219 \cdot 10^{-2}$	$-i6 \cdot 30756 \cdot 10^{-2}$	$-13 \cdot 19538 \cdot 10^{-2}$	$-i1 \cdot 24791 \cdot 10^{-2}$

Шундай қилиб, иккинчи бобда чексиз мухитда жойлашган цилиндрик жисмнинг хос сонларини топиш масаласининг қўйилиши ва ечиш услубиёти

тавсия этилди. Олинган сонли натижалар таҳлилидан келиб чиқадики муҳитнинг эластиклик модулини ошиб бориши комплекс хос сонларнинг қийматларини секин текис оширади, шунингдек, Пуассон коэффициенти қийматини 5-7% гача ўзгартиради. Хос сонларнинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари қаттиқ маҳкамланганлик ва сирпанувчанлик шартларида 15% гача фарқ қилиши аниқланди. Қобик қалинлигини ошиши хос сонларни ҳақиқий ва мавҳум қисмларини 20% гача оширади. Агар муҳитнинг инерцияси ҳисобга олинмаса, биринчи частотанинг қиймати 20% гача, иккинчи частотанинг қиймати 5-10% гача ошади, учинчи частотанинг қиймати амалда ўзгармаслиги аниқланди.

Диссертациянинг «**Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмдаги гармоник тўлқинлар дифракцияси**» деб номланган учинчи бобида бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик қатламдаги гармоник тўлқинлар таъсири ва дифракцияси масаласи ечилган. Ҳисоб схемаси 1- расмда келтирилган  $n=0$ .

Ҳисоблашлар биринчи бобда келтирилган Гаусс, Мюллер ва математика-физиканинг махсус функцияларни ҳисоблаш усуллари асосида яратилган алгоритм ва дастур ёрдамида амалга оширилди. Қаторлар  $10^{-8}$  аниқликда ҳисобланди. Барча кўчиш ва кучланишлар қуйидагича аниқланди:

$$(R + i \operatorname{Im})e^{-i\omega t} = (R^2 + \operatorname{Im}^2)^{1/2} e^{-i(\omega t - \gamma)}.$$

Аргументлар ошиб бориши билан Ханкелнинг 1-чи ва 2-чи жинсли  $n$ -чи тартибли комплекс аргументли функциясини яқинлашиши тезлашади. Сонли ҳисоблашлар натижасида топилдики, Ханкел функцияларини 5-6 ҳадини олиш, қатор яқинлашиши аниқлиги  $10^{-6} - 10^{-8}$  тенг бўлади. Ҳисоблашларда ядро релаксацияси учун уч параметерли кучсиз сингуляр хоссага эга бўлган Рижаницен-Колтунов ядроси  $R(t) = \frac{Ae^{-\beta t}}{t^{1-\alpha}}$  дан фойдаланилган, бунда  $A, \alpha, \beta$ - материалларни реологик хоссаларини ифодаловчи параметрлардир. Ҳисоблашлар учун қуйидаги параметрлар қабул қилинган:

$$E_1 = 2,1 \times 10^{10} \frac{H}{M^2}; \quad \rho_1 = 2,0 \times 10^3 \frac{K\sigma}{M^3}; \quad A = 0,048; \quad \beta = 0,05; \quad \alpha = 0,1$$

$$E_2 = 1,95 \times 10^{11} \frac{H}{M^2}; \quad \rho_2 = 7,86 \times 10^{11} \frac{K\sigma}{M^3}; \quad R_1 = 0,02R$$

Материалларнинг қовушоқлик хоссаларини ҳисобга олиш, кўчиш ва кучланишларни 10–16% камайтиришга имкон беради. Кучланишларни тақсимланиши узун тўлқинлар соҳасида  $\left(\frac{D}{\lambda} < 1\right)$  суюқликли ва суюқликсиз қувурларда 14% гача, қисқа тўлқин узунликдаги соҳада эса  $\left(\frac{D}{\lambda} > 1\right)$ , уларнинг фарқи 40 % бўлиши аниқланди (3, 4 жадвал).

3-жавал

**Суюқликли қатламда бўйлама тўлқин таъсиридаги радиал кучланишнинг ўзгариши**

Бурчак: $\theta$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
Бўш қатлам $\sigma_{rr}$	0.56721	0.47231	0.72311	0.51438	0.65910
Суюқликли қатлам $\sigma_{rr}$	0.57782	0.44359	0.72301	0.54027	0.78865

Бўйлама тўлқин юкланишида максимал радиаль кучланиш, қатламнинг  $\theta = 90^\circ$  ва  $270^\circ$  бурчакларида аниқланди.

4-жавал.

**Суюқликли қатламда кўндаланг тўлқин таъсиридаги радиал кучланишининг ўзгариши**

Бурчак: $\theta$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
Бўш қатлам $\sigma_{rr}$	0.44731	0.73712	0.56621	0.89201	0.87347
Суюқликли қатлам $\sigma_{rr}$	0.49283	0.91024	0.60237	0.89425	0.88936

Худди шундай максимал кучланиш кўндаланг тўлқин юкланишида  $\theta = 45^\circ$  ва  $135^\circ$  бурчакларида аниқланди. Кучланишларнинг тақсимооти тўлқин сонининг  $\beta_1 R_1 = 0,099$  қийматида статик ҳолат натижаларига тақрибан устма-уст тушади. Агар тўлқин узунлиги  $\lambda \rightarrow \infty$ , у вақтда анча юқори тўлқин сонинг қийматларида ( $\beta_1 R_1 = 1,5$ ) кучланишлар тақсимооти статик ҳолатникидан тубдан фарқ қилади. Материалларни зичликларини нисбати  $\eta_{\max} = \rho_1 / \rho_2$  кўчиш ва кучланишларнинг қийматларига сезиларли таъсир кўрсатади. Қатлам зичлигини ошиб бориши билан кўчиш ва кучланишларнинг қийматлари маълум чегарагача ошиб боради. Шундай қилиб, деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмдаги гармоник бўйлама ва кўндаланг тўлқинларнинг дифиракциясини ўрганиш услубиёти, алгоритми ва дастури асосида сонли натижалар олинди ҳамда таҳлил қилинди. Қуйидаги 5-жадвалда  $\eta_{\max}$  коэффициентни (максимал динамик босим) бўш қувурга тушувчи бўйлама ( $P$ ) тўлқиннинг ҳар хил узунлигига ( $l_0 / D = 2\pi / \alpha$ ), нисбатан ўзгариши келтирилган.

5-жадвал

**Динамик босим коэффициенти  $\eta_{\max}$  нинг  $l_0$  тўлқин узунлигини турли қийматлардаги ўзгариши ( $P$  – тўлқин).**

$l_0/D$	3,0	5,0	10,0
$\eta_{\max}$	1,73126	1,57212	1,20371

Юқоридаги 5- жадвалдан келиб чиқадики, тўлқин узунлигини ошиши билан максимал динамик босим камайиб бориш характерига эга, яъни қувурга тушадиган статик босимга яқинлашиб боради. Қийматлар қуйидаги таркибли қатламларга мос келади,  $l_0 / D = 5,0$  – бўлганда қумли (песчаный) ва кўмирли (суглинистый),  $l_0 / D = 10,0$  – тупроқли (глинистый) гурунтга мос келади. Шундай қилиб сейсмик тўлқин тарқалганда гурунтнинг зичлиги қувурга тушадиган динамик босимнинг қийматига катта таъсир кўрсатади, яхши зичланган гурунтнинг қувурга берадиган босимидан анча кичик бўлади. Булардан ташқари ҳисоблашлардан келиб чиқадики,  $l_0 / D > 10,0$  – бўлганда динамика масала квазистатика масаласига олиб келиб соддалаштириш мумкин бўлади.



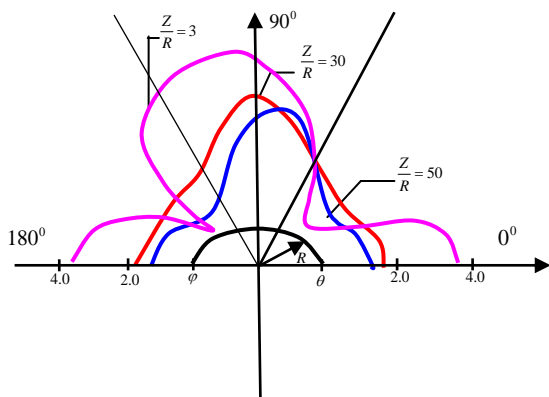
Қуйидаги 6-жадвалда  $P$  - бўйлама тўлқин юклангандаги  $\eta_{\max}$  (максимал динамик босим)нинг суюқликсиз темир бетон қувур қалинлиги ( $t$ ) га боғлиқ ўзгариши келтирилган.

6-жадвал

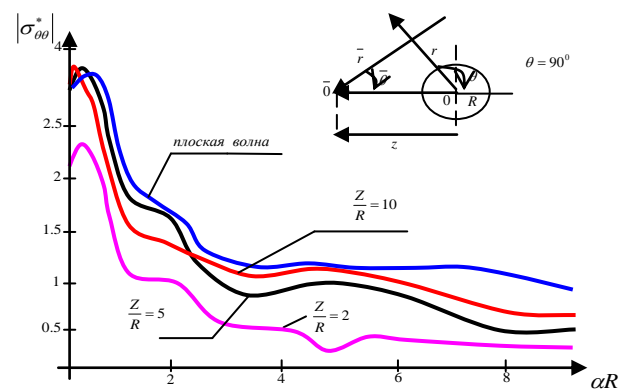
*Динамик босим коэффициентининг  $\eta_{\max}$  нинг қувур қалинлиги  $t$  нинг турли қийматлардаги ўзгариши ( $P$  – тўлқин)*

$t/D$	0,08	0,10	0,15	0,20
$\eta_{\max}$	1,60348	1,6721	1,6726	1,6458

Бу жадвалдан темир бетон қувур қалинлигини ўзгариши гурунтнинг динамик босим коэффициентининг қийматига таъсири бўлмаслиги келиб чиқади. Чексиз мухитда жойлашган қовушоқ-эластик цилиндрик бўшлиққа цилиндрик тўлқин таъсирида ҳосил бўладиган  $\sigma_{\theta\theta}^*|_{r=R_N}$  кучланишлар концентрациясининг амплитудаси,  $\theta$  бурчакнинг турли қийматларида ўзгариши келтирилган. Қуйидаги қийматлар учун,  $\alpha R = 0,1$ ,  $A = 0,048$ ;  $\alpha = 0,1$ ;  $\beta = 0,05$ ;  $\nu = 0,25$ ;  $\frac{Z}{R} = 3,0; 30, 50$ , комплекс катталикларнинг абсолют катталиклари ўрганилди. Кучланишлар амплитудасининг  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  тўлқин сонига нисбатан ўзгариши  $\theta = 90^\circ$  бўлганда натижалари 2- ва 3-расмларда келтирилган. Натижалар  $\sigma_{\theta\theta}^*|_{r=R_N}$  бўлганда  $\frac{Z}{R} = 6,0; 12; 20$  қийматларда тўлқин сонига боғлиқ олинди.



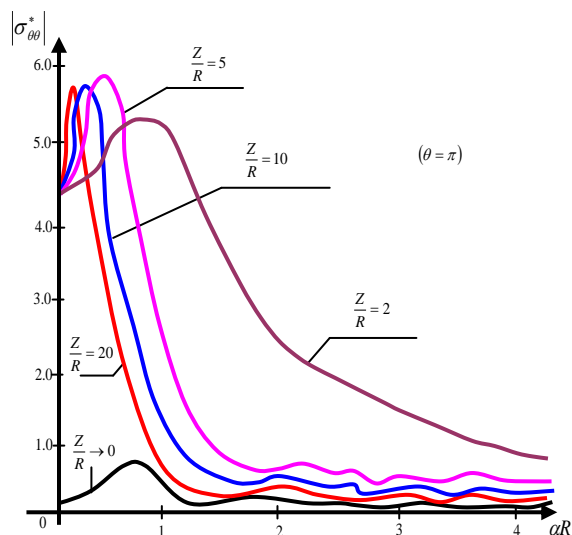
2-расм. Тўлқин манбаси яқинлигининг кучланишлар амплитудасига  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  таъсири  $\theta = 90^\circ$ , ( $\alpha R = 0,1$ ) қийматларида.



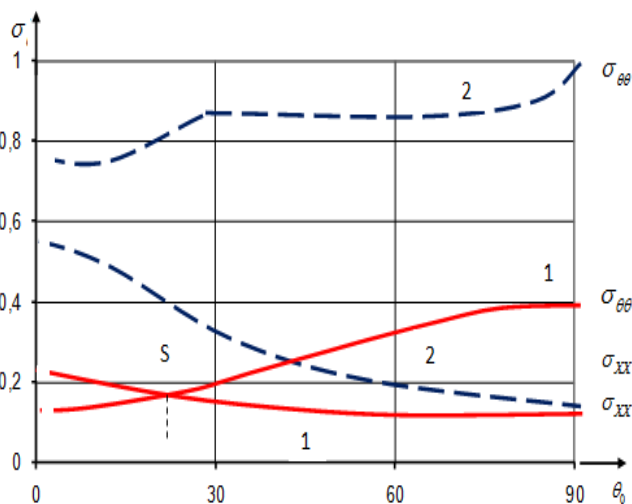
3-расм. Кучланишлар  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  амплитудаси-нинг тўлқин сонига нисбатан ўзгариши  $\theta = 90^\circ$ ,  $A = 0,048$ ;  $\alpha = 0,1$ ;  $\beta = 0,05$  қийматларида.

Олинган натижалар шуни кўрсатадики,  $\alpha R > 1$  ва  $Z > 50R$  бўлганда юқори частотали соҳа натижаларини текис тўлқин натижалари орқали ифодаласа бўлади. Барча натижалар тўлқин сони ортиб бориши билан бир хил асимптотикага интилади. Текис тўлқин ва цилиндрик тўлқин орасидаги фарқ ( $Z \rightarrow \infty$ ) тўлқин сонининг  $0 \leq \alpha R \leq 1$  оралиғида бўлади. Кўриниб турибдики, тўлқин сони  $\alpha R \rightarrow 0$ , динамик ечим статик масалани ифодалайди

( $\nu=0.25, \theta=\pi/2$ ), яъни  $\sigma_{\theta\theta}^* = 2.67$ . Худди шундай натижалар  $\sigma_{\theta\theta}^*$  учун  $\theta=\pi$  бўлганда олинди. Агарда  $\alpha R \geq 1.0$ ,  $\frac{Z}{R} = 5.0; 10; 20$  бўлганда ечим текис тўлқин ечимига якин келади. Агар тўлқин манбасигача бўлган масофа  $Z=2R$  бўлганда статик ва динамик ечим орасидаги фарқ 15% бўлади (5-, 6-расмлар).



4-расм. Кучланишлар амплитудасининг  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  тўлқин сонига нисбатан ўзгариши ( $\theta=\pi$  қийматда).



5-расм. Кучланишларни юкланиш бурчагига ( $\theta$ ) боғлиқ ўзгариши (1) ва (2) параметрлар учун.

Шундай қилиб, учинчи бобда кўндаланг тўлқин таъсирида бўлган контур кучланишлар бўйлама тўлқин таъсиридаги контур кучланишлардан 15- 20% кўп бўлиши топилди. Олинган натижалар шуни кўрсатадики, тўлқин узунлиги  $\alpha R > 1$  ва тўлқин манбасигача бўлган масофа  $Z > 5R$  бўлганда юқори частотали соҳа натижаларини текис тўлқин натижалари орқали ифодаласа бўлади. Агар  $Z > 50R$ , бўлса цилиндрик тўлқиннинг эгрилик радиусини ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Текис ва цилиндрик тўлқинлар натижалари орасидаги фарқ тўлқин манбасигача бўлган масофа  $Z=2R$  тенг ва ундан кичик қийматларда бўлиши аниқланди.

Диссертациянинг «Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлган бўлакли бир жинсли цилиндрик жисмдаги турғун бўлмаган тўлқин таъсири ва дифракцияси» деб номланган тўртинчи бобда эластик муҳитда жойлашган цилиндрик қобик (ёки қатлам) ва икки қатламли бўлакли бир жинсли цилиндрда турғун бўлмаган тўлқин юкланиши натижасида динамик кучланишлар-деформациялар ҳолати масаласини ечиш алгоритми ва дастури яратилган. Сонли натижалар олиниб таҳлил қилинган. Фараз қилайлик, эластик муҳитга жойлашган цилиндрик бўшлиққа ( $r=r_0$ ) текис нотурғун тўлқин тушсин. Цилиндрик бўшлиқ кучланишлардан озод қилинган бўлсин ( $\sigma_{rr}|_{r=a} = \sigma_{r\theta}|_{r=a} = 0$ ). Ягона нолга тенг бўлмаган кучланиш  $r=r_0$  да контур (ёки ҳалқа)  $\sigma_{\theta\theta}/\sigma_0$  кучланиш ҳисобланади ( $\sigma_0$ -тушадиган тўлқин амплитудаси). Биринчи бобда келтирилган ҳаракат тенгламаси (1) ва чегаравий шартлар

учун Фурьенинг интеграл алмаштиришларини қўлламиз, у ҳолда контур кучланиш  $\sigma_{rr} = \sigma_0 H(t) \cos nt$ ,  $\sigma_{r\theta} = \tau_0 H(t) \sin \theta$  бўлганда қўйидагича бўлади

$$\sigma_{\theta\theta n}^* = \frac{\sigma_{\theta\theta n}(r_{01}, \theta, t)}{\sigma} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta_1(r_{01}\Omega) e^{i\Omega t}}{\Omega_1 [\Delta_2 \Delta_3 + \Delta_4 \Delta_5]} d\Omega, \quad (17)$$

$$\Delta_1(r_{01}\Omega) = (\Delta_3 + \tau_0 E) [2\Omega H_{n-1}^{(1)}(\Omega) - ((2n^2 + 2n) + \Omega^2) H_n^{(1)}(\Omega)] +$$

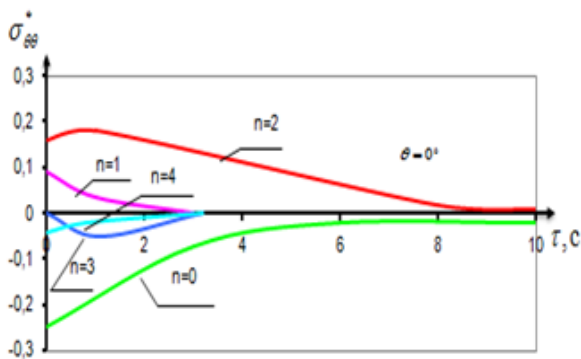
$$+ [\tau_0 \Delta_2 - \Delta_4] \left[ 2n(n+1) H_n^{(1)}\left(\frac{C_{P1}}{C_{S1}} \Omega\right) + \frac{2C_P n \Omega}{C_{S1}} H_{n-1}^{(1)}\left(\frac{C_P}{C_S} \Omega\right) \right].$$

Хосмас интеграл (16) биринчи бобда келтирилган методика ёрдамида амалга оширилади. Амалда хосмас интеграл (17) - ни ЭХМда ҳисоблаш қўйидаги тартибда амалга оширилади. Интегрални чексиз ораликда ҳисоблашни тасаввур қилиш қийин. Шунинг учун уни чекли ораликда интеграллаймиз:

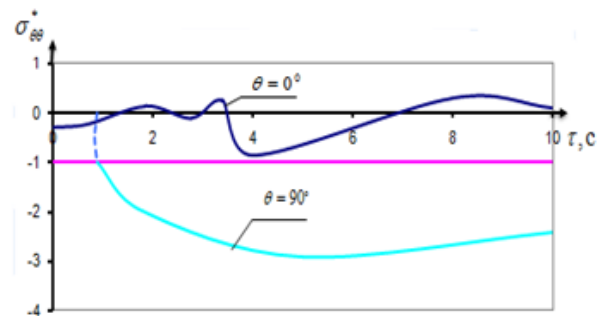
$$\sigma_{\theta\theta n}^* = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_a}^{\omega_b} \frac{\Delta_1(r_{01}\Omega_1)}{\Omega_1 [\Delta_2 \Delta_3 + \Delta_4 \Delta_5]} e^{-i\Omega_1 t} d\Omega_1. \quad (18)$$

Интеграл (18) - ни чегараси  $\omega_a$ ,  $\omega_b$  тушадиган тўлқинни таъсир этиш даврига ва  $\sigma_{rr}^{(i)F}(\Omega)$  спектрал зичликка ҳамда тўлқин хоссаларига боғлиқ бўлади. Бу (18) интегрални қиймати Ромберг усули ёрдамида топилади. Асосий алгоритм биринчи бобда келтирилган интегрални Ромберг усули ёрдамида интегралашда интеграл ости функциясига кўп мартаба мурожаат қилинади.

Контур кучланиш  $\sigma_{\theta\theta}^*$  нинг вақт  $\tau$  ўзгаришига боғлиқ  $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5$  қийматларида 6-расмда ва  $\theta = 0^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  қийматларида ўзгариши 7-расмда келтирилган.



6-расм. Контур кучланишни вақт бўйича  $n$ -турли қийматларида ўзгариши.



7-расм. Контур кучланишни вақт бўйича  $\theta = 0^\circ$  ва  $\theta = 90^\circ$  қийматларида ўзгариши.

## ХУЛОСА

«Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмларга тўлқинлар таъсирининг хусусиятлари» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар келиб чиқади:

1. Қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмга тўлқинларнинг юкланиши натижасида материалларни реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда динамик КДХ (кучланиш ва

деформация ҳолатини) аниқлаш услубиёти, алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган.

2. Қовушоқ-эластик муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмнинг хос тебранишлари масаласи материалнинг реологик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда математик кўйилиши, ечиш услубиёти ва алгоритми ишлаб чиқилган.

3. Суюқликли ва суюқликсиз қувурларда кучланиш ва деформацияларнинг ҳолати узун тўлқинлар соҳасида 14%, қисқа тўлқинлар соҳасида эса 40% фарқ қилиши топилди. Деформацияланувчи муҳитда жойлашган бўлакли бир жинсли суюқликли цилиндрик жисмдаги гармоник тўлқин юкланишида қовушоқликни ҳисобга олганда динамик кучланишлар ва деформацияларни 10-15% камайиши аниқланди.

4. Агар цилиндрик манбадан цилиндрик жисм  $50$  радиус ( $Z > 50R$ ) узокликда бўлса  $\sigma_{\theta\theta}$  контур кучланишни текис тўлқин орқали ифодаласа ( $Z \rightarrow \infty$ ) бўлади. Барча натижалар тўлқин сони ортиб бориши билан бир хил асимптотикага интилиши ҳамда ( $Z \rightarrow \infty$ ) текис тўлқин ва цилиндрик тўлқин орасидаги фарқ тўлқин сонининг  $0 \leq \alpha R \leq 1$  оралиғида бўлиши аниқланди.

5. Контур кучланишларнинг бўйлама тўлқин тасирида цилиндрик сиртнинг  $\theta = 90^\circ$  ва  $270^\circ$ , кўндаланг тўлқин таъсирида эса  $45^\circ$  ва  $135^\circ$  нуқталарда ўзининг энг катта қийматларига эришиши топилди.

6. Эластик муҳитда жойлашган цилиндрик қатламда турғун бўлмаган тўлқинлар юкланишида мавжуд натижалар билан солиштирганда 30% гача фарқ қилиши ва максимал контур кучланиш  $\theta = 90^\circ$  бўлганда эришиши аниқланди. Кўндаланг тўлқин юкланишида ички ва ташқи сиртларидаги кучланишларнинг фарқи  $\approx 15 - 20\%$  гача, цилиндр ўрта сирт ва ички сиртдаги кучланишларни фарқи  $\approx 10\%$  ( $r_0/r_1 = 0,5$ ) бўлиши топилди.

7. Юмшоқ грунтда бўлган бетон қобикга  $SH$  (горизонтал кўндаланг) тўлқин, бошқа  $SV$  (фронтал кўндаланг),  $P$  (бўйлама) тўлқинларга қараганда катта контур кучланишлари ҳосил қилиши топилди.  $SV$  тўлқинда контур кучланиши барча ҳолларда ҳам ўқ бўйича йўналган кучланишлардан катта бўлиши топилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.08.2018. FM/Т.02.09  
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ  
САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**КУЛЬМУРАТОВ НУРИЛЛО РАХИМОВИЧ**

**ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЙ ВОЛНЫ НА КУСОЧНО-  
ОДНОРОДНОЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ ТЕЛО С ЖИДКОСТЬЮ,  
НАХОДЯЩЕЙСЯ В ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЕ**

**01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2018.4.DSc/T514.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горным институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу [www.tdu.uz](http://www.tdu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziynet» по адресу [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Научный руководитель:** Сафаров Исмоил Ибрагимович  
доктор физико-математических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Мавланов Тулқин  
доктор технических наук, профессор

Бердиев Шавкат Давронович  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** Наманганский инженерно-строительных институт

Защита диссертации состоится 22 » ноября 2019 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 при Самаркандском государственном университете по адресу: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (8366) 2351938. Факс: (8366) 2351938. E-mail: [sasu\\_info@edu.uz](mailto:sasu_info@edu.uz).

С диссертацией (PhD) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета (регистрационный номер № 99). Адрес: 140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (8366) 2351938. Факс: (8366) 2351938. E-mail: [sasu\\_info@edu.uz](mailto:sasu_info@edu.uz).

Автореферат диссертации разослан «14» ноября 2019 года.  
(реестр протокола рассылки № 7 от «14» ноября 2019 года)



**Р.И. Халмурадов,**  
Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

**А. Абдирашидов,**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней, доктор  
физико-математических наук, доцент

**Х. Худойназаров,**  
Председатель научного семинара при научном  
совете по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Большое внимание в мире обращается к изучению проблемы напряжений и деформаций, а также дифракции волн в подземных сооружениях, получающихся при воздействии взрывных и сейсмических волн. В последние годы в США, Франции, Китае, Японии и Российской Федерации и в других развитых странах, для обеспечения прочности и снижения напряженно-деформированного состояния, подземных трубопроводных конструкций под воздействиями статических и динамических нагрузок для работающих под воздействием сейсмических и взрывных волн возникают напряжения, проблеме снижения этих параметров применяются неклассические модели. В связи с этим мире для снижения напряженно-деформированного состояния подземных конструкций, состоящих из упругих и вязкоупругих элементов, изучение динамику динамических напряжений и понижении деформаций имеет важное значение. Взаимодействия волн с элементами сооружений приобретают исключительно важное значение.

В связи с углублением процесса глобализации и развитием интенсивности информационного обмена во всем мире применение и разработка новых качественных элементов конструкций остаётся актуальной задачей современности и для этих целей ведутся научно-исследовательские работы. В настоящее время в связи с этим в материалах подземных сооружений, в том числе многослойных с переменными толщинами, с сложными физическими свойствами который находится в контакте со средой, для металлических конструкций, цилиндрических полимеров и бетонных конструкций проводится научно-исследовательских работ.

В этом направлении для определения жидкостных (безжидкостных) цилиндрического вида вязкоупругих свойств конструкции при напряженно-деформированном состоянии обращается внимание для развитие современных расчетов математических модели и методы. В этом случае для не традиционной положение воздействию волны на кусочно-однородное цилиндрическое тело с жидкостью, находящийся в деформируемой среде необходимо разработать математические модели, алгоритмы и программы.

Во многих отраслях нашей Республики большое внимание уделяется повышению прочности и эффективности применяемый деталей и конструкций с учетом вязкоупругих свойств материалов, в динамических процессах достигнуты значительные успехи. В нашей Республике в области строительства и техники созданию модели и алгоритма расчета для снижения напряженно - деформированного состояния подземных конструкции, состоящие из упругих и вязкоупругих элементов, необходимо знать динамику взаимодействия волн в этих сооружениях. В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах поставлены задачи, в том числе «... модернизации производства, техническое и технологическое обновление, производства ..., ... поэтапное внедрение ресурсосберегающих и эффективных современных технологий ...»<sup>1</sup>. Выполнение этих заданий, в том числе

изучение упругих цилиндрических волн в кусочно-однородных цилиндрических оболочках с учетом реологических свойств и пространственных факторов считаются одними из важнейших задач.

Выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах» от 7 февраля 2017 года и постановлениях №ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии Наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года и постановлениях №ПП-3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» от 9 августа 2017 года, а также в других нормативно - правовых документах, относящихся к данной сфере деятельности в определенной степени служить диссертационное исследование.

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

**Степень изученности проблемы.** В нашей стране и за рубежом в различных областях техники и строительство широко применяется конструкции под воздействием волн в протяженных кусочно-однородных цилиндрических вязкоупругих тел, связанных со средой, ведутся научно-исследовательское работа в научных центрах, высших образовательных учреждениях.

Исследования по воздействию и дифракции упругих цилиндрических волн в кусочно-однородных цилиндрических оболочках с учетом реологических свойств и пространственных факторов еще полностью не нашли своего решения.

Многими известными учеными такими как: Ильющин А.А., Бреховских Л.В., Викторов И.А., Горшков А.Г., Вольмир А.С., Генкин М.Д., Шемякин Е.И., Гузь А.Н., Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л., Нигул У.К., Гоголадзе В.Г., Трояновский И.Е., Кийко И.А., Молотков Л.А., Новичков Ю.И., Петрашень Г.И., Крауклис П.В., Фролов К.В., Антонов А.Н., Матвеев В.П., Анофрикова Н.С., Ахенбах Ж.Д., Дейвис Р.М., Шардаков И.Н., Старовойтов Э.И., Мейтцлер А., Микер Т., Митра Р., Кольский Г., Уайт., Сан Р.И., Шафер Б.В. и узбекскими учеными такими как: Рахматулин Х.А., Уразбаев М.Т., Ширинкулов Т.Ш., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Мубараков 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., Абдусаторов А., Сафаров И.И., Худайназаров Х., Хусанов Б.Э., Тешаев М.Х., Бозоров М.Б., Эшматов Х., Юлдашев Ш.С., Абдукадиров С., Буриев А., Усаров М.К., Абдирашидов А. и другими были проведены научные анализы колебаний оболочечных механических систем при различных воздействиях (или при отсутствии



внешних нагрузок) с учетом реологических свойств материала. В этих работах, в основном, рассматриваются дифракции акустических волн в плоских и сферических деформируемых телах, в некоторых простейших случаях учитываются внутренние трения.

На сегодняшний день проблемы при разработке алгоритмов и методов решения задач динамики кусочно-однородных механических систем (диссипативно однородных и неоднородных), открытые новые закономерности колебаний и задач дифракции волн, решение многих проблемы динамические прочности и устойчивости в строительстве подземных сооружений с учетом реологических свойств материала в достаточной степени не изучены.

**Связь диссертационной работы с тематиками планами НИР.** Диссертационные исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ в рамках проекта Ф - 4 - 23 “Динамическая задача теории упругости в разработке распространения волн, возникающих от движения в непрерывной полуплоскости груза, состоящего из трехмерных кусочных пород” (2012 - 2016) и Ф - 4 - 14 - “ Развитие теории и разработка методов исследование динамические напряженно-деформированного состояния криволинейных участков тонкостенных подземных трубопроводов с протекающей жидкостью при воздействии динамических нагрузок (2012 - 2016).

**Целью исследования** состоит развитие теории и разработкаи научной основы взаимодействие и дифракции вязкоупругих волн в протяженных кусочно-однородных цилиндрических вязкоупругих оболочках с жидкостью, связанной со средой.

**Задачи исследования:**

разработать математическая постановка, методики решения и алгоритм учитывающие реологических свойств материала задачи кусочно-однородных оболочек с жидкостью находящейся вязкоупругих средах при воздействиях (гармонических или нестационарных) волн;

разработать математическая постановка, методики решения и алгоритм, учитывающие реологических свойств материала задач собственных колебаний кусочно-однородных оболочек с жидкостью, находящихся в вязкоупругих средах;

сравнительно оценить изменения динамического напряженно - деформированное состояние пространственных кусочно-однородных цилиндрических оболочек с жидкостью, находящихся в вязкоупругих средах при воздействии гармонических волн;

на основе анализа численных результатов обосновать зависимости численных значений контурных напряжений от угла падения волн в кусочно-однородное цилиндрической оболочке с жидкости находящейся в деформируемой среде.

**Объектом исследования** является двух и трехслойная вязкоупругая цилиндрически механическая система, цилиндрическая оболочка с жидкостью.

**Предмет исследования** разработка методики решения и математической модели для определения комплексных собственных частот и форм колебаний кусочно-однородной цилиндрической оболочки с жидкостью, с учетом реологических и геометрических параметров механической системы.

**Методы исследования.** Основные интегро-дифференциальные уравнения в диссертации получены на основе методов потенциалов перемещений. В процессе исследования применены метод разделения переменных, Метод интегрального преобразования Фурье; метод замораживания, метод Мюллера, метод Гаусса и метод Ромберга.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в следующем:

разработана математическая постановка, методики решения и алгоритм учитывающие реологических свойств материала задачи кусочно-однородных оболочек с жидкостью находящейся вязкоупругих средах при воздействиях (гармонических или нестационарных) волн;

разработана математическая постановка, методики решения и алгоритм учитывающие реологических свойств материала задач собственных колебаний кусочно-однородных оболочек с жидкостью, находящихся в вязкоупругих средах;

сравнительно оценена изменения динамического напряженно - деформированное соостояние пространственных кусочно-однородных цилиндрических оболочек с жидкостью, находящихся в вязкоупругих средах при воздействии гармонических волн;

на основе анализа численных результатов обоснована зависимости численных значений контурных напряжений от угла падения волн в кусочно-однородное цилиндрической оболочке с жидкости находящейся в деформируемой среде;

определено воздействие контурных напряжений в бетонной оболчке, лежащей в мягком грунте из-за волны  $SH$ , больше чем волны  $SV$  и  $P$  вместе взятые;

определено изменение значений максимальных динамических напряжений при воздействии продольных и поперечных гармонических волн на кусочно-однородной цилиндрической оболочке с жидкостью в зависимости от близости источника.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

разработаны методы вычисления прочности неоднородных цилиндрических тел, находящихся в деформируемой среде, в результате возникновения напряженно-деформированное состояние под воздействием волновых нагрузений;

решены проблемы для определения ограниченние число мод комплексных частот;

определено распределенное напряжение в цилиндрическом теле, защищенный между двумя цилиндрическими оболочками, находящиеся в деформируемой среде, в результате под воздействием продольных и поперечных волновых нагрузений.

**Достоверность полученных результатов** обосновывается корректностью постановки спектральных краевых задач, строгостью математических выкладок, использованием обоснованных методов решения и оценки точности решений, сопоставлением с решением задач в другой математической постановке.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость полученных результатов исследования работы состоит в том, что они вносят важный вклад в развитие динамической теории сейсмостойкости, протяжённой подземных сооружений.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработаны методика и алгоритм для расчета динамического напряженно - деформированного состояния и составлен прогноз резонансных состояний механической системы при воздействии сейсмических нагрузок.

**Внедрение результатов исследования.** При расчете особенности воздействий волны на кусочно-однородное цилиндрическое тело с жидкостью, находящейся в деформируемой среде на основе разработанных численных методик и алгоритмов, а также результатов созданных программ:

разработанные методики расчета и алгоритмы применены при выполнении проекта Ф-4-14 “Развитие теории и разработка методов исследование динамического напряженно-деформированного состояния криволинейных участков тонкостенных подземных трубопроводов с протекающей жидкостью при воздействии динамических нагрузок” (2012-2016 гг). Справка министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан 89-03-3928 от 15 ноября 2018г. Использование научного исследования позволило снизить максимальные напряжения на 20%;

разработанный численный метод, алгоритм и программа дала возможность определение в объектах подразделения Навоийкого ГМК резонансное состояние в низко частотных волн на расстояние. (акт внедрение ЦНИЛ 2383 от 28.12.2018г. и справка НГМК 02-06-07/ 6924 от 30.05.2019г.). Использование научного исследования позволило снизить резонансного вибрации цилиндрических трубопроводов в низкочастотных областях на 15-17% и этим увеличена запас прочности на 20% .

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования было обсуждены, в том числе 10 международных и 2 республиканских конференциях и симпозиумах.

**Публикация результатов исследования.** По материалам диссертации опубликованы 21 научных работ, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК РУз, из них 6 зарубежом, получены 1 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четыре глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 133 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулировано цель и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названной **«Воздействие волн на кусочно-однородное цилиндрическое тело с жидкостью находящейся в деформируемой среде»**, разрабатывается математическая постановка, методика решения и алгоритм исследования воздействий волн на кусочно-однородном теле с жидкостью. Интегро-дифференциальное уравнение движения кусочно-однородного цилиндрического тела с жидкостью при отсутствии массовых сил имеет вид (рис.1):

$$(\tilde{\lambda}_j + 2\tilde{\mu}_j) \text{grad div } \vec{u}_j - \tilde{\mu} \text{rot rot } \vec{u}_j + \vec{b}_j = \rho_j \frac{\partial^2 \vec{u}_j}{\partial t^2}, (j = 2, 4, \dots, N+1) \quad (1)$$

$$L\tilde{E}\vec{u} = \frac{(1-\nu_0^2)}{h_0} \vec{p} + \rho_0(1-\nu_0^2) \left( \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} \right), (k = 1, 3, \dots, N); \quad \Delta\varphi_0 - \frac{1}{c_\infty^2} \varphi_0 = 0. \quad (2)$$

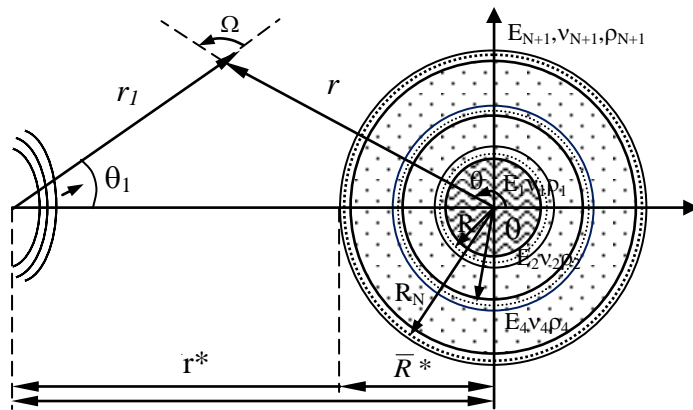


Рис.1. Расчетная схема воздействие цилиндрических волн на кусочно однородных телах.

Здесь  $\tilde{\lambda}_j, \tilde{\mu}_j$  и  $\tilde{E}_k$  операторные модули упругости

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda}_j f(t) &= \lambda_{0j} \left[ f(t) - \int_{-\infty}^t R_\lambda^{(i)}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], \quad \tilde{\mu}_j f(t) = \mu_{0j} \left[ f(t) - \int_{-\infty}^t R_\mu^{(i)}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right]; \\ \tilde{E}f(t) &= E_{01} \left[ f(t) - \int_{-\infty}^t R_E(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], \quad \beta_1^{(k)} = \frac{\gamma_k(1-\nu_k^2)c_1^2 R_k^2}{R_1}, \quad \beta_2^{(k)} = \frac{R_k^2(1-\nu_k^2)c_1^2 \rho_1}{h_k R_1}, \end{aligned} \quad (3)$$

$E_{01}$  - мгновенный модуль упругости Юнга;  $\vec{u} = \vec{u}(u_r, u_\theta, u_z)$  - вектор смещения;  $u_r = u$ ;  $u_\theta = v$ ;  $u_z = w$  перемещения срединной поверхности оболочки (при выполнении гипотезы Кирхгоф - Лява);  $\varphi_0$  - потенциал идеальной жидкости;  $\rho_j$  - плотность материала слоя;  $\rho_0$  - плотность материала оболочки;  $\vec{b}_j$  - объемная нагрузка ( $b_j = 0$ );  $f(t)$  - непрерывная функция;  $R_E^{(i)}(t-\tau), R_\mu^{(i)}(t-\tau)$  и

$R_\lambda^{(i)}(t-\tau)$ - ядра релаксации;  $\lambda_{oj}, \mu_{oj}$ - коэффициенты Ляме слоев и окружающей ее среды,  $E_{01}$ - мгновенный модуль упругости оболочки.

На контакте двух тел ставятся условия жесткого (или скользящего) контакта

$$\begin{aligned} r = a_k : \quad \sigma_{rrk} &= \sigma_{rr(k+1)}; \quad \sigma_{r\theta k} = \sigma_{r\theta(k+1)}; \quad \sigma_{rz k} = \sigma_{rz(k+1)}; \\ \mathfrak{u}_k &= \mathfrak{u}_{k+1}; \quad \mathfrak{G}_k = \mathfrak{G}_{k+1}; \quad w_k = w_{k+1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Свободной поверхности слоя, свободно от усилий

$$r = R_1 : \quad \sigma_{rrN} = 0; \quad \sigma_{r\theta N} = 0; \quad \sigma_{rzN} = 0 \quad (5)$$

Для решение волнового уравнения ( $j = N + 1$ ) в потенциалах перемещений удовлетворяет в бесконечности  $r \rightarrow \infty$  условию излучения Зоммерфельда:

$$\begin{aligned} \lim_{r \rightarrow \infty} \varphi_{N+1} &= 0, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} (\sqrt{r})^k \left( \frac{\partial \varphi_{N+1}}{\partial r} + i\alpha_{N+1} \varphi_{N+1} \right) = 0, \\ \lim_{r \rightarrow \infty} \psi_{N+1} &= 0, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} (\sqrt{r})^k \left( \frac{\partial \psi_{N+1}}{\partial r} + i\beta_{N+1} \psi_{N+1} \right) = 0 \end{aligned}$$

Распространяющиеся волны в среде могут быть в следующих трёх видах:

$$1. \varphi_{N+1}^{(i)} = Ae^{i(\alpha_{N+1}x - \alpha t)}, \quad \psi_{N+1}^{(i)} = 0; \quad 2. \psi_{N+1}^{(i)} = Ae^{i(\beta_{N+1}x - \alpha t)}, \quad \varphi_{N+1}^{(i)} = 0, \quad 3. \varphi_{N+1}^{(i)} = \varphi_{(N+1)0} i\pi H_0^{(1)}(\alpha_{N+1}r) e^{-i\alpha t}. \quad (6)$$

Если на цилиндрический слой воздействует нестационарная нагрузка, тогда уравнение соответствующих напряжений принимает вид

$$\sigma_{xxn}^{(p)} = \sigma_0 H(\hat{t}), \quad \sigma_{xyn}^{(p)} = \sigma_0 \frac{v_n}{1-v_n} H(\hat{t}), \quad \hat{t} = t - (x + r_N) / C_{Pn}, \quad (7)$$

где  $\sigma_0$  - амплитуда падающих волн;  $H(t)$  - функция Хевисайда;  $n=1, 2, \dots, N+1$  - порядковый номер слоев;  $n=N$  - соответственно окружающая среда цилиндра.

Для решение задачи потенциальных перемещений, представим вектор перемещения в виде:

$$\vec{u}_j = \text{grad} \varphi_j + \text{rot} \vec{\psi}_j, \quad (8)$$

где  $\varphi_j$  - потенциал продольных волн;  $\vec{\psi}_j(0,0,\psi)$  - векторный потенциал поперечных волн.

Основные уравнения теории вязкой упругости плоской деформации сводятся к следующему интегро-дифференциальному уравнению

$$\begin{aligned} (\lambda_{oj} + 2\mu_{oj}) \nabla^2 \varphi_j - \lambda_{oj} \int_{-\infty}^t R_\lambda^{(j)}(t-\tau) \nabla^2 \varphi_j d\tau - 2\mu_{oj} \int_{-\infty}^t R_\mu^{(j)}(t-\tau) \nabla^2 \varphi_j d\tau &= \rho_j \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial t^2}; \\ \mu_{oj} \nabla^2 \vec{\psi}_j - \mu_{oj} \int_{-\infty}^t R_\mu^{(j)}(t-\tau) \nabla^2 \vec{\psi}_j d\tau &= \rho_j \frac{\partial^2 \vec{\psi}_j}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$  - дифференциальные операторы в цилиндрических координатах и  $\nu_j$  - коэффициент Пуассона. Решение уравнения (9) можно искать в виде:

$$\begin{aligned} \varphi_j(r, \theta, t) &= \sum_{k=1}^{\infty} q_{kj}^{(\varphi)}(r) \cos(n\theta) e^{-i\alpha t}; \quad \psi_j(r, \theta, t) = \sum_{k=1}^{\infty} q_{kj}^{(\psi)}(r) \sin(n\theta) e^{-i\alpha t}, \\ \mathfrak{G}^{(k)}(R_k, \theta, t) &= \sum_{k=1}^{\infty} V_k(R_k) \sin(n\theta) e^{-i\alpha t}, \quad w^{(k)}(R_k, \theta, t) = \sum_{k=1}^{\infty} W_k(R_k) \cos(n\theta) e^{-i\alpha t}, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $q_{kj}^{(\varphi)}(r, \theta)$  и  $q_{kj}^{(\psi)}(r, \theta)$ -комплексные функции, которые являются решением следующих уравнений

$$\begin{aligned} \nabla^2 q_{kj}^{(\varphi)}(r, \theta) + \alpha_j^2 q_{kj}^{(\varphi)} &= 0, \quad \nabla^2 q_{kj}^{(\psi)}(r, \theta) + \beta_j^2 q_{kj}^{(\psi)} = 0, \\ \nabla^2 q_{k0}^{(\varphi)}(r, \theta) + \alpha_0^2 q_{k0}^{(\varphi)} &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь,  $\beta_j^2 = \frac{\rho \omega^2}{\mu_{oj}(1 - \bar{\mu}_{oj})}$ ,  $\alpha_0^2 = \frac{\omega^2}{C_0^2}$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_{oj} &= a_{\lambda j}(\omega) + ib_{\lambda j}(\omega), \quad \bar{\mu}_{oj} = a_{\mu j}(\omega) + ib_{\mu j}(\omega), \\ a_{\lambda j}(\omega) &= \int_0^\infty R_{\lambda j}(\tau) \sin \omega \tau d\tau, \quad b_{\lambda j}(\omega) = \int_0^\infty R_{\lambda j}(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \end{aligned}$$

$V_k(R_k)$ ,  $W_k(R_k)$ -амплитудная функция. Полный потенциал можно определить падающих и отраженных волн:

$$\phi_{N+1} = \phi_{N+1}^{(p)} + \phi_{N+1}, \quad \Psi_N = \psi_N, \quad \phi_j = \varphi_j, \quad \Psi_j = \psi_j, \quad \phi_0 = \varphi_0 \quad (j=1, 2, \dots, N).$$

Используя геометрическое построение на рис.1 и переходя от координат  $\bar{r}, \bar{\theta}$  к координатам  $r, \theta$  в области  $r \leq r_N$

$$\phi_N^{(p)} = \varphi_0 i\pi \sum_{n=1}^{\infty} [(-1)^n E_n J_n(\alpha_N r) H_n^{(1)}(\alpha_N z)] \cos n\theta e^{-i\alpha r}, \quad (12)$$

где  $E_n = \begin{cases} 1, & n=0 \\ 2, & n \geq 1 \end{cases}$ ,  $J_n$  - цилиндрические функции Бесселя.

Решение уравнения (9) с учетом (11) выражается через функции Ханкеля 1-го и 2-го рода  $n$ -го порядка:

$$\begin{aligned} \varphi_j &= \sum_{n=0}^{\infty} [A_{nj} H_n^{(1)}(\alpha_j r) + A'_{nj} H_n^{(2)}(\alpha_j r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r} \\ \psi_j &= \sum_{n=0}^{\infty} [B_{nj} H_n^{(1)}(\beta_j r) + B'_{nj} H_n^{(2)}(\beta_j r)] \sin n\theta e^{-i\alpha r} \quad j = 1, 2, \dots, N-1 \\ \varphi_N &= \sum_{n=0}^{\infty} [C_{nN} H_n^{(1)}(\alpha_N r) + D_{nN} H_n^{(2)}(\alpha_N r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r} \\ \psi_N &= \sum_{n=0}^{\infty} [M_{nN} H_n^{(1)}(\beta_N r) + L_{nN} H_n^{(2)}(\beta_N r)] \sin n\theta e^{-i\alpha r} \\ \varphi_0 &= \sum_{n=0}^{\infty} [K_{n0} J_n(\alpha_0 r) + K'_{n0} N_n(\alpha_0 r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r} \end{aligned} \quad (13)$$

где  $A_{nj}, A'_{nj}, B_{nj}, B'_{nj}, C_{nj}, D_{nj}, L_{nN}, M_{nN}, K_{nN}$  и  $K'_{nN}$ -коэффициенты разложения, которые определяются соответствующими граничными условиями;  $H_n^{(1)}(\alpha_j r)$  и  $H_n^{(2)}(\alpha_j r)$  - соответственно функция Ханкеля 1-го и 2-го рода  $n$ -го порядка

$$H_n^{(1),(2)}(\alpha r) = J_n(\alpha r) \pm iN_n(\alpha r).$$

Решение (13) ( $j=N$ ) удовлетворяет на бесконечности ( $r \rightarrow \infty$ ) условию излучения Зоммерфельда и представляется в виде:

$$\varphi_N = \sum_{n=0}^{\infty} [C_{nN} H_n^{(1)}(\alpha_N r) + D_{nN} H_n^{(2)}(\alpha_N r)] \cos n\theta e^{-i\alpha r}; \quad \psi_N = \sum_{n=0}^{\infty} [M_{nN} H_n^{(1)}(\beta_N r) + L_{nN} H_n^{(2)}(\beta_N r)] \sin n\theta e^{-i\alpha r}$$

Задачи сводятся к решению неоднородных алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами

$$[C]\{q\} = \{p\} \quad (14)$$

Где  $\{q\}$ -вектор столбец, содержащий произвольные постоянные;  $\{p\}$ -вектор столбец внешних нагрузок;  $[C]$ -квадратная матрица, элементы - которого выражаются через функции Бесселя и Ханкеля.

Также в диссертации приведена математическая постановка, методика решения и алгоритм воздействия и дифракции ностационарных волн в цилиндрическом теле с жидкостью. Задача при ностационарных колебаниях решается с помощью интегрального преобразования Фурье по времени, а обратное преобразование осуществляется численно методом Ромберга.

Таким образом в первой главе диссертации приведена математическая постановка задачи, методика решения и алгоритмы задачи воздействия продольных и поперечных вязкоупругих волн на кусочно-однородные цилиндрические тела.

Во второй главе диссертации, называется «**Собственные колебания кусочно-однородных цилиндрических оболочек, находящихся в деформируемой среде**» дано оценка изменения собственной частоты в зависимости от различных параметров механических систем. Определен несколько резонансных частот и коэффициентов демпфирования на основе разработанного алгоритма. Получены численные результаты и сделаны выводы. Задача для протезированных цилиндрических тел (в упругой среде) приведены к плоской задаче (плоской деформации) теории упругости. Тогда дифференциальное уравнение цилиндрической оболочки записывается в цилиндрических координатах. Функция продольных и поперечных потенциалов удовлетворяет уравнение движения среды. Уравнение движения оболочки основывается гипотезе Кирхгофа-Лява.

Уравнение частот для цилиндрических полостей принимает вид

$$D_n = xH_{n-1} [(n^2 - 1)yH_{n-1}(y) - (n^3 - n + y^2/2)H_n(y)] - H_n(x)[(n^3 - n + y^2/2)yH_{n-1}(y) - (n^2 + n - y^2/4)y^2H_n(y)] = 0, \quad (15)$$

где  $x = \omega R(\rho/(\lambda + 2\mu))^{1/2}$ ;  $y = \omega R(\rho/\mu)^{1/2}$ ,  $\lambda$  и  $\mu$  - коэффициенты Ламе;  $\rho$  - плотность материала. Уравнение частот (15) решается численно методом Мюллера.

Реальные части комплексной частоты ( $\text{Re}\Omega$ ) означают собственные частоты механической системе, а мнимая часть ( $\text{Im}\Omega$ ) комплексной частоты означает, что колебательные процессы в системе только затухающие. Мнимые собственные частоты зависят от продольной и поперечной скорости, а также радиуса отверстия. Существование дискретной частоты играет важную роль, для расчета подземных трубопроводов, находящихся в грунтовой среде.

Изменение коэффициента Пуассона  $0 \leq \nu \leq 0,4$  в пределах реальной и мнимой части комплексной частоты составляет 27%. Уравнение частот цилиндрических оболочек в вязкоупругой среде принимает следующий вид:

$$h_2(\Omega_0^2 \nu_2 - a_{n1}) + b_1 - b_1 d_1 \Omega_1 H_1^{(1)}(\Omega) / H_1^{(1)}(\Omega) = 0. \quad (16)$$

Таким образом во второй главе приведена постановка задачи, методика решения и алгоритм спектральной задачи кусочно однородных тел в вязкоупругой среде. При жестком и скользящем контакте оболочек со средой комплексные частоты (собственные частоты и коэффициенты демпфирования) отличаются до 15%.

Полученные численные результаты представлены в таблице 1,2,  $n \geq 0$  ( $v_1 = 0,25$ ).

Таблица-1

*Изменение частоты в зависимости от n*

$\Omega$	n=0	n=1	n=2	n=3
Re $\Omega$	0.49729D+00	0.12923D+01	0.19975D+01	0.37535D+01
Im $\Omega$	-i0.42651D-01	-i0.56641D+00	-i0.89782D+00	-i0.93152D+00
Re $\Omega$			0.28911D+00	0.52375D+01
Im $\Omega$			-i0.17812D+00	-i0.32183D+01
Re $\Omega$			0.404637D+00	0.12317D+00
Im $\Omega$			-i0.178332D+00	-i0.20283D-01

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица -2

*Изменение комплексной частоты от E*

$\Omega$	E=0,0025	E=0,05	E=0,1	E=0,15	E=0,25
Re $\Omega$	$1.24308 \cdot 10^{-1}$	$2.43758 \cdot 10^{-1}$	$33.16140 \cdot 10^{-1}$	$4.15825 \cdot 10^{-1}$	$10271 \cdot 10^{-15}$
Im $\Omega$	$-i \cdot 89267 \cdot 10^{-2}$	$-i4 \cdot 39219 \cdot 10^{-2}$	$-i6 \cdot 30756 \cdot 10^{-2}$	$-13 \cdot 19538 \cdot 10^{-2}$	$-i1 \cdot 24791 \cdot 10^{-2}$

При увеличении толщины оболочки до 20% увеличивается реальные и мнимые части комплексной частоты. Если неучитывать инерции окружающей среды значения первой частоты увеличиваются до 20%, второй частоты до 5-10%, а третий и остальных почти не изменяются.

В третьей главе диссертации, названной «**Воздействия и дифракции волн кусочно-однородных цилиндрических оболочек находящихся в деформируемой среде**», анализируются вынужденные колебания цилиндрических тел при воздействии гармонических цилиндрических волн, расчетная схема которых приведена на рис.1 ( $n=1,2$ ). Вычисление проводилось на построенном алгоритму в первой главе на основе метода Гаусса, Мюллера и специальных функций уравнений математической физики. Вычисления были выполнены с помощью компьютерного программного комплекса, «Matlab», ряды вычислены с точностью до  $10^{-8}$ . Все выражения для напряжений и смещений имеют вид:

$$(R + i \text{Im})e^{-i\omega t} = (R^2 + \text{Im}^2)^{1/2} e^{-i(\omega t - \gamma)}.$$

Как видно решение поставленной задачи выражается через специальные функции Бесселя и Ханкеля 1-го и 2-го рода. На основе численных экспериментов установлено, что точность из 5-6 членов ряда, достигается  $10^{-6}$ -  $10^{-8}$ . В качестве ядра релаксации вязкоупругого материала принимаем трехпараметрическое ядро  $R(t) = \frac{Ae^{-\beta t}}{t^{1-\alpha}}$  Рижаницена-Колтунова, обладающей слабой сингулярностью, где  $A, \alpha, \beta$ -параметры материала. Примем следующие параметры:



$$A = 0,048; \quad \beta = 0,05; \quad \alpha = 0,1. \quad E_1 = 2,1 \times 10^{10} \frac{H}{M^2}; \quad \rho_1 = 2,0 \times 10^3 \frac{KZ}{M^3}; \quad A = 0,048; \quad \beta = 0,05; \quad \alpha = 0,1$$

$$E_2 = 1,95 \times 10^{11} \frac{H}{M^2}; \quad \rho_2 = 7,86 \times 10^{11} \frac{KZ}{M^3}; \quad R_1 = 0,02R$$

Учет вязких свойств материала при расчете на действие сейсмических волн, снижают напряжения и перемещения на 10 - 15%.

В области длинных волн  $\left(\frac{D}{\lambda} < 1\right)$  распределения напряжения трубы с жидкостью и без жидкости отличаются до 14%, а в области коротких волн  $\left(\frac{D}{\lambda} > 1\right)$  в некоторых значениях частоты они отличаются до 40%. (таблица 3,4)

Таблица-3

**Распределение радиального напряжения в цилиндрическом слое с жидкостью при воздействии продольных волн.**

Угол: $\theta$	$0^0$	$45^0$	$90^0$	$135^0$	$180^0$
Слой без жидкостью $\sigma_{rr}$	0.56721	0.47231	0.72311	0.51438	0.65910
Слой с жидкостью $\sigma_{rr}$	0.57782	0.44359	0.72301	0.54027	0.78865

Колцевые напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$  на внутренней свободной поверхности цилиндрических тел принимает своего максимального значения в  $\theta = 90^0$  и  $270^0$ . Также контурные напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$  на свободной поверхности цилиндрических тел достигают своего максимального значения в  $\theta = 45^0$  и  $135^0$  при воздействии поперечных волн.

Таблица-4

**Распределение радиальное напряжение в цилиндрической слое с жидкостью при воздействии поперечных волн.**

Угол: $\theta$	$0^0$	$45^0$	$90^0$	$135^0$	$180^0$
Слой без жидкостью $\sigma_{rr}$	0.44731	0.73712	0.56621	0.89201	0.87347
Слой с жидкостью $\sigma_{rr}$	0.49283	0.91024	0.60237	0.89425	0.88936

Распределение контурного напряжения при  $\beta_1 R_1 = 0,099$  почти совпадает со статическими результатами и при  $\lambda \rightarrow \infty$ , а при повышенный значения волнового числа ( $\beta_1 R_1 = 1,5$ ) резко отличается от статических результатов. Отношение плотностей слоя и окружающей среды  $\eta_{max} = \rho_1 / \rho_2$  заметно влияет значение перемещения и напряжения.

С увеличением плотности слоя значение перемещение и напряжения до определенного предела увеличиваются и в дальнейшем стремятся к асимптотике. Таким образом, было проанализировано напряженно-деформируемое состояние кусочно-однородных тел при воздействии цилиндрических гармонических волн. Разработанные методики решения и алгоритм позволяет ана-

лизировать произвольное число слоев кусочно-однородных тел. В табл.5 представлены значения коэффициента  $\eta_{\max}$  (максимальное динамическое давление) различных длин ( $l_0/D=2\pi/\alpha$ ),  $P$  - волны, падающей на пустые трубы, расположенные на расстоянии  $l_0/D=1,0$  – друг от друга

Из табл.5 следует, что чем больше длина падающей сейсмической волны, т.е. чем плотнее грунт насыпи, тем меньше коэффициент  $\eta_{\max}$ . Для справки отметим, что соотношение  $l_0/D=5,0$  – не насыпным песчаным, супесчаным и суглинистым грунтам;  $l_0/D=10,0$  – глинистым грунтам. Таким образом, вид грунта, а особенно его плотность оказывает существенное влияние на его динамическое давление на трубы при сейсмическом воздействии.

Таблица- 5

Значения коэффициента  $\eta_{\max}$  для различных длин  $l_0$  ( $P$  – волны)

$l_0/D$	3,0	5,0	10,0
$\eta_{\max}$	1,73126	1,57212	1,20371

Интересно отметить, что хорошее уплотнение грунта позволяет снизить и его статическое давление на трубы. Отсюда следует, что при возведении насыпи над трубами необходимо тщательно уплотнять насыпной грунт. Кроме этого, расчеты показывают, что при  $l_0/D > 10,0$  – динамическая задача сводится к квазистатической, что существенно упрощает ее решение.

В табл.6 приведены значения коэффициента  $\eta_{\max}$  для различной толщины  $t$  стенки железобетонной трубы в случае падения  $P$  - волны на пустые трубы.

Таблица 6

Значения коэффициента  $\eta_{\max}$  для различной толщины  $t$  стенки трубы ( $P$  – волны)

$t/D$	0,08	0,10	0,15	0,20
$\eta_{\max}$	1,60348	1,6721	1,6726	1,6458

Из табл.6 следует, что диапазон толщины стенки, выпускаемой отечественной промышленностью железобетонные трубы, практически не влияют на динамическое давление грунта на эти трубы.

Это, по всей видимости, связано с тем фактом, что сейсмическая волна не проходит вовнутрь железобетонной трубы в силу достаточной жесткости трубы. На рис.2,3. приведена эпюра коэффициента концентрации напряжения  $\sigma_{\theta\theta}^*|_{r=R_N}$  в зависимости  $\theta$  при  $\alpha R=0,1$ ,  $A=0,048$ ;  $\beta=0,05$ ;  $\alpha=0,1$ ;  $\nu=0,25$ ;

$\frac{Z}{R} = 3,0; 30, 50$  Легко видеть, что когда  $\alpha R \rightarrow 0$ , динамическое решение для случая плоской волны приводится к статическому значению, ( $\nu=0,25$ ), ( $\theta = \pi/2$ ) т.е.  $\sigma_{\theta\theta}^* = 2,67$ .

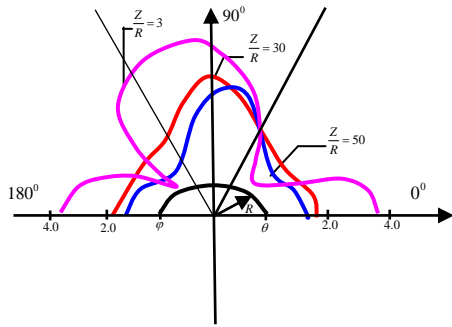


Рис.2. Влияние близости источника на напряжения  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  в зависимости  $\theta = 90^\circ$ , ( $\alpha R = 0,1$ )

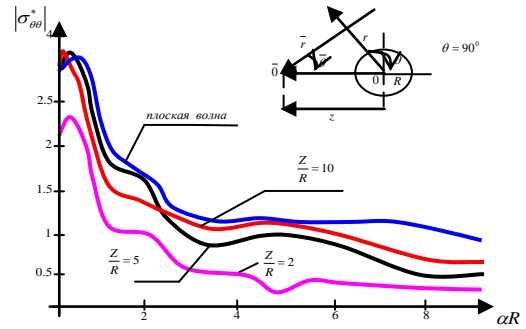


Рис.3. В зависимости концентрации напряжении  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  от  $\theta = 90^\circ$ ,  $A=0,048$ ;  $\alpha = 0,1$ ;  $\beta = 0,05$

Аналогичный, но более резко выражены характер изменения отмечен  $\sigma_{\theta\theta}^*$  при  $(\theta = \pi)$  (рис.4). График зависимость концентрации напряжений  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  от  $(\theta)$  угла падающей волны для параметров (1) и (2) рис.5.

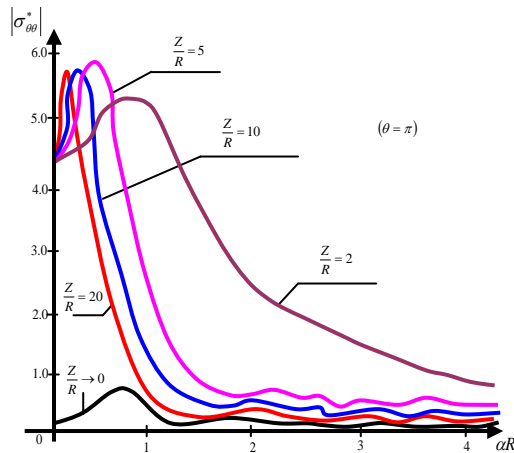


Рис.4. В зависимости  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  амплитуде напряжения при числе плоской волны  $(\theta = \pi)$ .

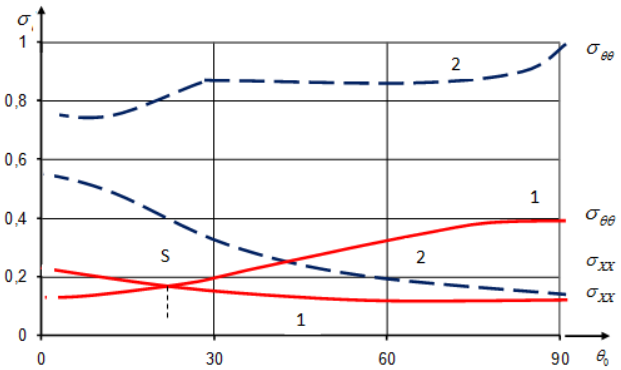


Рис.5. Зависимости концентрации напряжений  $|\sigma_{\theta\theta}^*|$  от  $(\theta)$  угла падающей волны для параметров (1) и (2)

Когда  $\alpha R \geq 1,0$ , решение для динамического источника при значениях  $\frac{Z}{R} = 5,0; 10; 20$  снова сводится к решению для плоской волны. В случае  $Z = 2R$  (рис.3) кривые динамическое концентрации отличаются от статической до 15%. При воздействии  $Z = 50R$  цилиндрического источника раскладывается как плоская волна, т.е. можно не учитывать радиус кривизны волны.

Таким образом, в третьей главе установлено, что контурные напряжения, возникающие при воздействии поперечных волн на 15- 20% больше по сравнению продольными волнами.

В четвертой главе диссертации, «Воздействии нестационарных волн кусочно-однородных цилиндрических оболочек, находящихся в деформируемой среде» приведено постановка задачи, алгоритм и программы для определения, напряженного-деформируемого состояние

цилиндрический одно и двух слойных оболочек при воздействии нестационарных нагрузок. Получены численные результаты и их анализ. Допустим ступенчатые волны взаимодействуют с цилиндрическим отверстием при  $r = r_0$  и отверстием свободным от напряжения ( $\sigma_{rr}|_{r=a} = \sigma_{r\theta}|_{r=a} = 0$ ). Единственным напряжением, которое не обращается в нуль при  $r = r_0$ , является кольцевое напряжение  $\sigma_{\theta\theta} / \sigma_0$ . Применив преобразование Фурье к уравнению движения и граничным условиям, получим выражение для кольцевых напряжений при  $\sigma_{rr} = \sigma_0 H(t) \cos nt$ ,  $\sigma_{r\theta} = \tau_0 H(t) \sin \theta$ :

$$\sigma_{\theta\theta n}^* = \frac{\sigma_{\theta\theta n}(r_{01}\theta, t)}{\sigma} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta_1(r_0\Omega) e^{i\Omega t}}{\Omega_1[\Delta_2\Delta_3 + \Delta_4\Delta_5]} d\Omega, \quad (17)$$

$$\Delta_1(r_{01}\Omega) = (\Delta_3 + \tau_0 E) [2\Omega H_{n-1}^{(1)}(\Omega) - ((2n^2 + 2n) + \Omega^2) H_n^{(1)}(\Omega)] +$$

$$+ [\tau_0 \Delta_2 - \Delta_4] \left[ 2n(n+1) H_n^{(1)}((C_{p1}/C_{s1})\Omega) + \frac{2C_p n \Omega}{C_{s1}} H_{n-1}^{(1)}\left(\frac{C_p}{C_s} \Omega\right) \right].$$

При вычислении интеграла по методу Ромберга приходится многократно вычислять под интегральную функцию. Несобственное интеграл (16) вычисляется разработанным алгоритмом в первой главе.

Вычисление (17) на ПКЭВМ, т.е. алгоритм вычисления излагается следующим образом. Поскольку численное интегрирование нечастных собственных интеграла невозможно. Поэтому интеграл (17) заменяется на (18)

$$\sigma_{\theta\theta n}^* = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_a}^{\omega_b} \frac{\Delta_1(r_{01}\Omega_1)}{\Omega_1[\Delta_2\Delta_3 + \Delta_4\Delta_5]} e^{-i\Omega_1 t} d\Omega_1. \quad (18)$$

Численные значения подынтегральной функции в  $\sigma_{rr}^{(i)F}(\Omega)$  изображениях из (18) вычисляется в конечных пределах заданного выражения падающего импульса при различных  $\Omega$ . Пределов интегрирования несобственного интеграла  $\omega_a, \omega_b$  подбираются в зависимости от вида знаменателя подынтегральные функции.

Изменение в  $\sigma_{\theta\theta}^*$  зависимости  $\tau$  при различных чисел  $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5$  на рис.6 и различных  $\theta = 0^\circ, \theta = 90^\circ$  показано на рис.7.

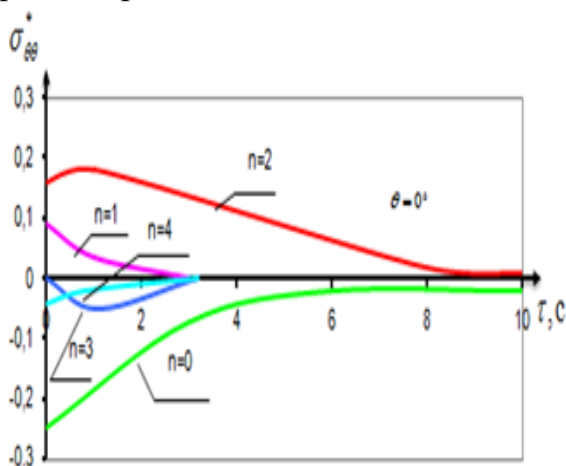


Рис. 6. Зависимость кольцевых напряжений от времени, при различных  $n$

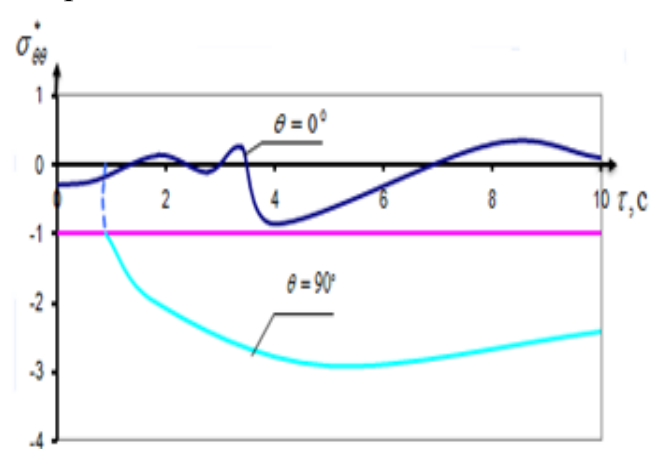


Рис. 7. Зависимость кольцевых напряжений от времени, при различных  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 90^\circ$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В результате проведенного исследования по диссертационной работе доктора философии (PhD) на тему «Особенности воздействий волны на кусочно-однородное цилиндрическое тело с жидкостью, находящиеся в деформируемой среде» представлены следующие выводы:

1. Предложена математическая постановка, методика решения и алгоритмы для определения динамического НДС (напряженно-деформированного состояния) задачи кусочно-однородной цилиндрической оболочки с жидкостью при воздействии гармонических и нестационарных нагрузок. Разработана программа по определению собственной комплексной частоты и динамические кусочно-однородных цилиндрических тел в зависимости от геометрических и физико-механических параметров системы с учетом реологических свойств материала.

2. Предложена математическая постановка, методика решения, алгоритм и программы, для определения комплексных собственных частот и форм колебаний задачи кусочно-однородной цилиндрической оболочки с жидкостью, с учетом реологических параметров механической системы.

3. В области сейсмических волн эпюр напряжения цилиндрической трубы с идеальной жидкостью и без жидкости при различных значениях параметров механической системы отличается до 10%. В области высокочастотных значениях реальные части частоты они отличаются до 15 %.

Учет реологических параметров материала окружающей грунта под воздействие гармонических сейсмических волн, снижает максимальное силовых факторов на 10 - 15%.

4. Когда источник гармонических волн находится на расстоянии пятидесяти радиусов ( $Z > 50R$ ) от цилиндрического тела, высокочастотный характер изменения контурных напряжений  $\sigma_{\theta\theta}$ , воздействующих на внутреннюю свободную поверхность, хорошо аппроксимировать решением для плоской ( $Z \rightarrow \infty$ ) волны. Далее все значения приближаются к одной и той же асимптоте. Наибольшее различие имеет между решением для плоской ( $Z \rightarrow \infty$ ) и цилиндрической гармонических волн в интервале  $0 \leq \alpha R \leq 1$ .

5. Контурные напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$  на свободной внутренней поверхности цилиндрических тел принимает своего максимального значения в углах  $90^\circ$  и  $270^\circ$  при воздействии продольных сейсмических волн. При воздействии поперечных сейсмических волн достигает свое максимальное значение  $45^\circ$  и  $135^\circ$  градусах. Кольцевые усилия  $\sigma_{\theta\theta}$  при воздействии поперечных сейсмических волн на 15- 20% больше, чем при воздействии продольных сейсмических волн. При изоляции трубопровода мягким грунтом установлено, что изоляция является эффективной только для высоких частот.

6. При воздействии нестационарных нагрузок на цилиндрической слой, находящийся в упругой среде, результаты расчетов отличаются от известных экспериментальных результатов до 30%.

7. Максимальное напряжение, вызванное в бетонной оболочке, лежащей в мягком грунте, происходит из-за SH (поперечине горизонтальное) волны, что значительно больше чем P (продольное) и SV (поперечное фронтальное) волны вместе взятые. Напряженное, деформированное, состояние окружающей среды, вызванное с падающих трех типов волн разное. Для SV волн окружное напряжение больше, чем осевое напряжение во всех трех случаях. Для продольных волн, осевое напряжение больше, чем окружное напряжение в первых двух случаях, и они зависят от угла падения в третьем случае, несмотря на то, что окружное напряжение всегда больше чем осевое напряжение.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.30.08.2018. FM/T.02.09 ON THE  
ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE  
SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

---

**NAVOI STATE MINING INSTITUTE**

**KULMURATOV NURILLO RAXIMOVICH**

**PECULIARITIES OF THE EXPOSURE TO A WAVE ON A PIECE-  
UNIQUE CYLINDRICAL BODY WITH A LIQUID UNDER THE  
DEFORMABLE ENVIRONMENT**

**01.02.04 - Mechanics of Deformable Rigid Body**

**ABSTRACT**

**of dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences**

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2018.4.DSc/T514.

The dissertation has been prepared at Navoi State Mining Institute.

The Abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

**Scientific adviser:** **Safarov Ismoil Ibrohimovich**  
Doctor of physical and mathematical sciences, Professor

**Official opponents:** **Mavlanov Tulkin**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Berdiev Shavkat Davronovich**  
Candidate of Technical Sciences, Docent

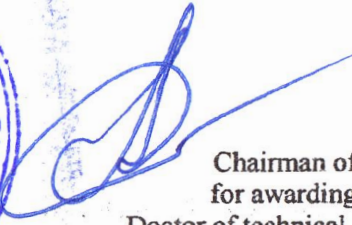
**Leading organization:** **Namangan Engineering Construction Institute**

Defense of dissertation will take place in 29.08 2019 at 14:00 o'clock at a meeting of the scientific council DSc.30.08.2018. FM/T.02.09 at the Samarkand state university (Address: 140106, Samarkand, str.University Avenue, 15, Tel.: (8336) 2351938; факс: (8336) 2351938, E-mail: [sasu\\_info@edu.uz](mailto:sasu_info@edu.uz)).

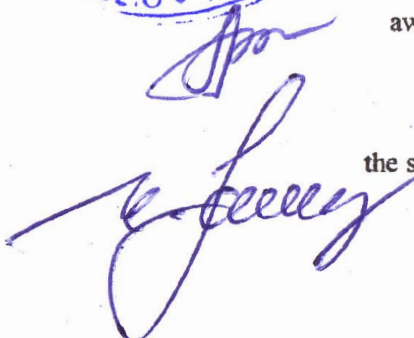
The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Samarkand state university (registration number 99). Address: 140106, Samarkand, str. University Avenue, 15, Tel.: (8336) 2351938; факс: (8336) 2351938, E-mail: [sasu\\_info@edu.uz](mailto:sasu_info@edu.uz)

Abstract of dissertation sent out on «14» November 2019 year.  
(mailing report № 7, on «14» November 2019 year).



  
**R.I. Xalmuradov**  
Chairman of Scientific Council  
for awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, Professor

**A. Abdirashidov**  
Scientific secretary of scientific council,  
awarding scientific degrees, Doctor of physical  
and mathematical sciences, Docent

  
**Kh. Khudoynazarov**  
Chairman of the Academic seminar under  
the scientific council awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, Professor



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of research work** consists of the development of the theory and the development of the scientific basis of the interaction and diffraction of viscous-elastic waves in extended piecewise-homogeneous cylindrical viscous-elastic shells with a fluid associated with the medium.

**The tasks of research:** develop a mathematical formulation, methods of solution and an algorithm for studying problems of the effects of harmonic and non-stationary loads in cylindrical (with and without liquid) viscous-elastic shells related to the medium; comparatively assess changes in VAT depending on the wave number and substantiate the reliability of the results of long cylindrical (with and without liquid) viscous-elastic shells; to determine the boundaries (region) of cylindrical and plane waves for studying problems of the effect of harmonic waves of cylindrical (with and without liquid) viscous-elastic shells associated with the medium.

**The object of the research work** is a single and two-layer viscous-elastic cylindrical mechanical system, a cylindrical shell with a liquid.

**Scientific novelty of the research work** an algorithm and a program were developed for compiling and defining the problem of dynamic stress and a deformable state of a piecewise-uniform cylindrical shell with a liquid (taking into account the rheological properties of the material) under the influence of harmonic and non-stationary loads.

a mathematical formulation, a solution technique, an algorithm and programs for determining complex eigenfrequencies and vibration shapes of a piecewise-uniform cylindrical shell with a liquid, taking into account the rheological and physico-mechanical parameters of a mechanical system, are proposed.

determined the change in the values of maximum dynamic stresses under the influence of harmonic and non-stationary loads on a piecewise-homogeneous cylindrical shell with a liquid, depending on the source.

determined the dependence of the loop voltage on the incidence of waves at an angle, proved as a result of numerical calculations.

the values of the maximum dynamic stresses under the action of harmonic and non-stationary loads on a piecewise-uniform cylindrical shell with a liquid, depending on the initial state of time, are determined.

The effect of loop stresses in a concrete shell lying in soft ground due to the SH wave is greater than the SV and P waves combined.

**Implementation of the research results.** The developed calculation methods and algorithms are applied during the implementation of the F-4-14 project "Development of the theory and development of methods for studying the dynamic stress-strain state of curvilinear sections of thin-walled underground pipelines with flowing fluid under dynamic loads" by the Foundation for Basic Research Support of the Bukhara Regional Center of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Bukhara Engineering Technological Institute (2012-2016)

(Help of the Ministry of Higher and Secondary Specialized of public education of the Republic of Uzbekistan 89-03-3928 of November 15, 2018). Using scientific research allowed reducing maximum stress by 20%.

**The structure and volume of the dissertation.** The structure of the thesis consists of the introduction, four chapters, conclusion, list of references, applications. The volume of the thesis is 133 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Safarov I.I., Kulmuratov N.R. Oscillations of curved pipeline under the action of variable internal pressure //World Journal of Engineering Research and Technology WJRET. Wjret, 2018, Volume 4, Issue 6. - P.125-139. ((№23) Scientific Journal Impact Factor, Impact Factor, IF = 5,924).
2. Кульмуратов. Н.Р. Колебание изогнутого трубопровода под действием переменного внутреннего давления // Журнал «Горный вестник Узбекистана». Навои, 2019. - №2. -С. 101-105 (05.00.00, №7).
3. Safarov I.I., Kulmuratov N.R. Influence of non-stationary waves on cylindrical body // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science, 2019, Volume 73, Issue 5. - P.77-85 ((№23) Scientific Journal Impact Factor, IF = 5,667).
4. Kulmuratov N.R., Kaxarov S.K. Dynamic stressed-deformable state of a piece-uniform cylindrical layer (shell) with liquid from a harmonic wave // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science, 2019, Volume 73, Issue 5. - P.101-110 ((№23) Scientific Journal Impact Factor, IF = 5,667).
5. Safarov I.I., Kuldashov N.U., Kulmuratov N.R. Interaction of Harmonic Waves on A Viscoelastic Cylindrical Sheli // Advance Research Journal of Multidisciplinary Discoveries, 2019, Volume 37, Issue 1.-P.1-10 (International Journal Foundation (UF) Impact Factor, IF = 5,188).
6. Safarov I.I., Kulmuratov N.R., Teshayev M.K., Kuldashov N.U. Interaction of Nonstationary Waves on Cylindrical Body//Scientific Journal Applied Mathematics, 2019, 10, 435-447.
7. Safarov I.I., Kulmuratov N.R., Teshayev M.K., Kuldashov N.U. Diffraction of Surface Harmonic Viscoelastic Waves on a Multilayer Cylinder with a Liquid // Scientific Journal Applied Mathematics, 2019, 10, 468-484.

**II бўлим (II часть; II part)**

8. Кульмуратов Н.Р., Гайбуллаев З.Х., Каюмов С. Исследование механизмов потерь энергии в упругих механических системах // Узбекский журнал «Проблемы механики». - Тошкент, 2003. - №3 - С.32-34.
9. Кульмуратов Н.Р., Сафаров И.И. О применение метода конечных элементов для расчета подземных сооружений при воздействии сейсмических волн // Сборник научных статей международная научная конференция INOVATION -2004. г. Ташкент: 2004. - С.258-259.
10. Кульмуратов Н.Р. Собственные колебания кусочно-однородных цилиндрических тел, находящихся в упругой среде // «Замонавий илм – фан ва технологияларнинг энг мухим муаммолари» Республика илмий-Амалий конференцияси маколалар тўплами. Жиззах: 2004. - С.14-17.

11. Бозоров М.Б., Кульмуратов Н.Р., Рахматов Н. Динамический отклик вполне связанной с грунтом цилиндрической оболочке на действие сейсмических волн // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы и перспективы механики». - Ташкент, 2006. - С. 248- 250.
12. Кульмуратов Н.Р., Жакыпбекова Р., Гайбуллаев З.Х. Собственные колебания жесткого цилиндрического включения в упругой среде // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы и перспективы механики». - Ташкент, 2006. - С. 277- 278.
13. Кульмуратов Н.Р. Об одном алгоритме расчета подземных сооружений при воздействии сейсмических волн методом конечных элементов // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы и перспективы механики». - Ташкент, 2006. - С.279.
14. Сафаров И.И., Умаров А.О., Кульмуратов Н.Р. Собственные колебания подкрепленных горных выработок цилиндрического профиля // Материалы республиканской научно-технической конференции «ISTIQLOL» (с международным участием). «Геотехнология: инновационные методы недропользования в XXI веке» Москва - Навоий, 2007. - С.88- 890.
15. Кульмуратов Н.Р. Нестационарные колебания параллельных цилиндрических горных выработок, находящихся в упругой среде // Материалы международной научно-технической конференции "Современные техники и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития". - Навои, 2010. - С. 183-184.
16. Кульмуратов Н.Р. Нестационарные волны в цилиндрических телах, находящихся в деформируемой среде // Материалы международной научно-технической конференции "Современные техники и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития". - Навои, 2010. - С. 193-194.
17. Кульмуратов Н.Р., Норбеков С.А. Методы расчетов и проектирования горных сооружений на сейсмическое воздействие // Материалы республиканской научно-технической конференции «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости республики Узбекистан». - Навои, 2011. -С. 507-509.
18. Кульмуратов Н.Р., Хамроев Н.Н. Динамический отклик вполне связанного с окружающей средой цилиндрического тела при действии гармонических нагрузок // Международная научно-техническая конференция, посвященная 60-летию НГМК. "Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса". - Навои, 2018. - С.276.
19. Кульмуратов Н.Р., Хамроев Н.Н. Исследование механизмов потерь энергии в упругих механических системах // Международная научно-техническая конференция, посвященная 60-летию НГМК. "Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса". - Навои, 2018. - С.279.
20. Сафаров И.И., Тешаев М.Х., Кулдашов Н.У., Кулмуратов Н.Р. Дифракции гармонических волн на вязкоупругой пространственной цилиндрической

оболочке с жидкостью // Материалы XXI Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВСППС), Алушта. 2019. –С.344-346.

21. Базаров М.Б., Носирова Ш., Кульмуратов Н.Р., Отакулов Л.О., Ярашев Р.З. Интервальные программы для решения систем нелинейных алгебраических уравнений. Государственное патентное ведомство РУ. Свидетельство № DGU 02631.12.11.2012 г.

Автореферат Самарқанд давлат университетининг  
“СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси” журнали таҳририятида  
тахрирдан ўтказилди (09.11.2019 йил).

Гувоҳнома: №10-3512

2019 йил 12 ноябрда босишга рухсат этилди:  
Офсет босма қоғози. Қоғоз бичими 60×84<sub>1/16</sub>.  
“Times” гарнитураси. Офсет босма усули.  
Ҳисоб-нашриёт т.: 2,9. Шартли б.т. 2,0.  
Адади 100 нусха. Буюртма № 12/11.

---

СамДЧТИ нашр-матбаа марказида чоп этилди.  
Манзил: Самарқанд ш, Бўстонсарой кўчаси, 93.