

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УРГАНЧ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

БЕГЖАНОВ АМИРБЕК ШИХНАЗАРОВИЧ

**НОНЬЮТОН СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ҚУВУРЛАРДАГИ
ПУЛЬСАЦИОН ОҚИМИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИНИ
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА
ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

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

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

**Contents of Dissertation Abstract of the Doctor of Philosophy (PhD) on
Physico-mathematical Sciences**

Бегжанов Амирбек Шихназарович

Ноньютон суюкликларнинг қувурлардаги пульсацион оқимини тадқиқ қилиш
усулларини такомиллаштириш5

Бегжанов Амирбек Шихназарович

Совершенствование методов исследования пульсирующего течения
неньютоновских жидкостей в трубах23

Begjanov Amirbek Shixnazarovich

Improving the methods of studying the pulsating flow of non-Newtonian fluids in
pipes41

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works43

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УРГАНЧ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

БЕГЖАНОВ АМИРБЕК ШИХНАЗАРОВИЧ

**НОНЬЮТОН СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ҚУВУРЛАРДАГИ
ПУЛЬСАЦИОН ОҚИМИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИНИ
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА
ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/FM352 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Урганч давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.instmech.uz) ва "Ziyonet" ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Наврузов Куралбай

физика-математика фанлари доктори,
профессор

Расмий оппонентлар:

Худайкулов Савет Ишанкулович

техника фанлари доктори, профессор

Жумаев Жўрабек

физика-математика фанлари номзоди,
доцент

Етакчи ташкилот:

**Тошкент ахборот технологиялари
университети**

Диссертация ҳимояси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ҳузуридаги фан доктори илмий даражасини берувчи DSc.02/30.12.2019. T/FM.61.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил “30” “ноябрь” соат 14:00 даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўчаси, 33, 1-мажлислар зали. Тел: (99871) 262-71-52; Факс: (99871) 262-71-32, e-mail: instmech@academy.uz).

Диссертация билан Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (11- рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100125, Тошкент ш., Дўрмон йули кўчаси, 33-уй. Тел.: (99871) 262-71-52).

Диссертация автореферати 2022 йил «07» ноябрь куни тарқатилди.
(2022 йил «17» августдаги 3- рақамли реестр баённомаси).

М.М.Мирсаидов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
раиси, т.ф.д., профессор, ЎзР ФА академиги

М.К.Усаров

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
илмий котиби, т.ф.д., к.и.х

З.М.Маликов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
қошидаги Илмий семинар раиси, т.ф.д., к.и.х.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда суюқликлар ва газлардан самарали фойдаланишда, жумладан, уларни девори ўтказувчи канал ва қувурларда ҳайдаш, уларнинг ҳаракатини мақсадли бошқариш ва шунга ўхшаш амалларни бажаришнинг қулай вариантларини топиш муҳим аҳамиятга эга. Айниқса у ҳозирги даврдаги муҳим соҳалардан нефть ва газ саноатида (нефть, газ ва бошқа суюқликларни ер остидан қувурлар орқали сўриб олишда, нефть ва нефть маҳсулотларини қувурлар орқали манзилга етказиб беришда), саноат ва қишлоқ хўжалигида (девори ўтказувчи канал ва қувурларда суюқлик сарфини мақсадли тақсимлашда, энергияни тежаш усулларини топишда, томчилатиб суғоришда, замонавий гидропониканинг суғориш ишларида), озиқ-овқат, кимё соҳаларида (суюқликларни идишларга қадоклаш масалаларини қарашда), биомеханика соҳасида (томирларда қоннинг ҳаракатини таҳлил қилишда, организмлар ичидаги керакли жойга, керакли миқдордаги суюқ дори - дармонларни узатиш масалаларида), гидротехник иншоотларда (қувурларни қуйқалардан тозалаш ишларида, қаттиқ заррачаларни узатиш масалаларида) устувор вазифалардан бири бўлиб келмоқда. Шу боисдан суюқликлар ва газларнинг стационар ва пульсланувчи оқимлари муайян шароитларда тебраниши ёки пульсацияси ёрдамида эритиш, қуриштириш, тозалаш ва бошқа жараёнларини тезлаштириш ва яхшилаш имкони мавжудлиги билан боғлиқ. Ҳозирги даврда, жумладан, Буюк Британия, АҚШ, Германия, Франция, Нидерландия, Жанубий Корея, Хитой, Япония, Эрон Ҳиндистон, Россия, Ўзбекистон ва бошқа ривожланган мамлакатларда суюқликларнинг реологик хусусиятларини эътиборга олган ҳолда, кўчиш жараёнларини назарий ҳамда амалий жиҳатдан тадқиқ қилишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда синтетик толалардан фойдаланиш, композит материаллардан тайёрланган эластик қувурлар ёрдамида ер остидан, ер устидан экинларни суғориш, томчилатиб суғориш, эгатлаб суғориш усулларини такомиллаштириш девори ўтказувчи канал ва қувурлардаги ноньютон суюқликларининг стационар, пульсланувчи оқимларини таҳлил қилишга боғлиқ. Турли технологик жараёнларга талабларнинг ортиши эса, масалан, қудуқларни бурғилашда суюқликнинг зарурий реологик хусусиятларини таъминлаш ва ростлаш, парчаланган маъданни халқали қувурлар ёрдамида олиб чиқишнинг самарадорлигини яхшилашга катта эътибор қаратилган. Бундай тизимларнинг эксплуатацияси жараёнида фойдаланилаётган асбоб-ускунанинг, механизмларнинг иш самарадорлигини ошириш, албатта унда оқётган суюқликнинг реологик хусусиятларига, оқимни ташкил қилиш режим ҳолатларига боғлиқ бўлади. Масалан, оқимнинг пульсланувчи режимида суюқликда ва суюқлик оқётган эластик қувурларнинг деворида пульс тўлқинларининг тарқалиш қонуниятларини ўрганиш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Мамлакатимизда 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, шу жумладан «юқори

технологияли қайта ишлаш тармоқларини, энг аввало, маҳаллий хомашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори кўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш, иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»¹ вазифалари белгилаб берилган бўлиб, бу ўз навбатида турли шаклдаги қувурларда ноньютон суюқликлар оқимлари жараёнларида энергия тежамкорлигини амалга ошириш имкониятларини яратиш муҳим масалалардан бири эканлиги аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони, 2008 йил 15 июльдаги ПҚ-916-сонли «Инновацион лойиҳалар ва технологияларни ишлаб чиқаришга татбиқ этишни рағбатлантириш борасидаги кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида», 2017 йил 30 июньдаги ПҚ-3107-сонли «Нефть ва газ саноатини бошқариш тизимини такомиллаштириш тўғрисида» ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги вақтда суюқликларнинг мураккаб реологик хусусиятларини эътиборга олган ҳолда, уларнинг математик моделини яратиш, ҳисоблаш алгоритмларини тузиш ва такомиллаштириш бўйича илмий тадқиқот ишлари жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан, NASA (National Aeronautics and Space Administration), Stanford University (АҚШ), Ломоносов номидаги Москва давлат университети, Санкт-Петербург давлат техника университети, Марказий аэрогидродинамика институти (РФ), China Aerodynamics Research and Development Center (ХХР), The Air Systems Research Center (Япония), Cambridge University (Буюк Британия), Computational Aerodynamics Institute (Канада)да олиб борилмоқда ва катта натижаларга эришилган.

Ноньютон суюқликларининг пульсланувчи оқимлари илк маротаба эса И.С. Громеканинг илмий тадқиқот ишида эластик қувурларда суюқликларнинг тўлқинсимон оқими бир ўлчовли қўйилишида ўрганилган. Кейинчалик ясси канал ва цилиндрик қувурларда Ньютон ва ноньютон суюқликларнинг стационар ва пульсланувчи ламинар ва турбулент оқимлари билан У.Л. Улкинсон, К. Труделл, Дж. Астарита, Дж. Марруччи, Дж.Ф. Ричардсон, П.М. Огибалов, А.Х. Мирзаджанзаде, З.П. Шульман, Б.М.

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони.

Хусидлар шуғулланишган. Ҳозирги даврда эса хориж олимларидан А.И. Агеев, Е.И. Могилевский, Зхаодонг Динг, Рекха Бали, Ниведита Гупта, Е.П. Валуева, Л.Л. Феррас, Ж.М. Нобрега, Лорензо Фуси, Каи Бао, Зоҳрех Шеидаеи, Р.П. Чобра ва бошқалар томонидан илмий ишлар олиб борилмоқда. Ўзбекистонлик олимлардан эса Ж.Ф. Файзуллаев, Ж.А. Акилов, Б.Х. Хўжаёров, К.Ш. Латипов, О.И. Умаров, К. Наврўзов, З.М. Маликов, И.К. Хужаев, С.И. Худайкулов, Д. Базаров ва бошқалар томонидан ўрганиб ижобий натижаларга эришилган.

Ноньютон суюқликлар ҳаракатини ўрганиш масалаларида кўплаб тадқиқотлар олиб борилганига қарамай, ҳозирги кунда Шульман-Хусид модели ёрдамида конкрет масалалар етарли даражада тадқиқ қилинмаган ва амалиётга татбиқ этилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Урганч давлат университети “Амалий математика” кафедраси илмий-тадқиқотлар режасига мос ҳолда ОТ-Ф4-04(05) “Материал ночизиқли эволюцион тенгламаларни ечишни спектрал усулини қўллаш. Юрак томир системаси биомеханикаси” (2017-2020 йй.) мавзусидаги илмий-тадқиқот лойиҳаси доирасида ҳамда 2012-2016 йилларда “Юрак биомеханикаси ва унинг татбиқлари” мавзусидаги давлат фундаментал лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади бир жинсли бўлмаган эластик қовушоқ суюқликларнинг мураккаб реологик модели тенгламаларини ортогонал координаталар системасига ўтиш орқали такомиллаштириш ва унинг асосида девори ўтказувчи ясси канал ва цилиндрик қувурларда эластик қовушоқ суюқликларнинг стационар ва пульсланувчи оқими масалаларини аналитик шаклда ечишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

девори ўтказувчи ясси канал ва цилиндрик қувурларда эластик қовушоқ суюқликларнинг стационар ва пульсланувчи оқимлари масалаларини такомиллаштирилган моделлар ёрдамида аналитик усулда ечиш ва сонли ҳисоб формулаларини ишлаб чиқиш;

ишлаб чиқилган формулалар ёрдамида девори ўтказувчи ясси канал ва цилиндрик қувурларда эластик қовушоқ суюқлигини стационар ва пульсланувчи оқимларда босим, суюқлик тезликлари профилларининг тақсимланиши ва суюқлик сарфининг ўзгариши қонуниятларини тадқиқ қилиш;

стационар оқимда эластик қовушоқ суюқликлар оқимини Ньютон суюқлиги оқими сифатида қараш мумкинлиги кўрсатиш ва бундай оқимда девор ўтказувчанлик коэффициентига боғлиқ равишда канал бошланғич қисмида суюқлик сарфининг ўзгаришини аниқлаш;

ноньютон суюқликларнинг пульсланувчи оқимида пульс тўлқинининг тарқалиши тезлиги ва пульс тўлқини сўниши кўрсаткичларининг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгаришини эластиклик коэффициентининг ўзгарувчи қийматларига боғланмаган ҳолда ўзгариши

аниқлаш ва бу ҳолда ноньютон суёқлиги пульсланувчи ҳаракатини Ньютон суёқлиги пульсланувчи ҳаракати билан характерлаш мумкинлиги кўрсатиш;

Тадқиқотнинг объекти сифатида девори ўтказувчи ясси канал ва цилиндрик қувурларда эластик қовушоқ суёқликларнинг стационар ва пульсланувчи оқимлари қаралган.

Тадқиқотнинг предмети девори ўтказувчи қувурларда эластик қовушоқ суёқликларнинг стационар ва пульсланувчи оқимларининг математик моделлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари девори ўтказувчи қувурларда эластик қовушоқ суёқликларнинг тебранувчи оқимлари масалаларини ечишда математик физика тенгламалари ва уларни ечиш усулларидадан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

бир жинсли бўлмаган эластик қовушоқ суёқликларнинг реологик модель тенгламалари ортогонал координаталар системасига ўтиш орқали такомиллаштирилган;

девори ўтказувчи ясси канал ва цилиндрик қувурларда эластик қовушоқ суёқликларнинг стационар ва пульсланувчи оқимлар масалалари такомиллаштирилган модель асосида аналитик усулда ечилган;

қўйилган масалаларнинг янги ечимлари таҳлили натижасида ясси канал ва қувур узунлиги бўйича суёқлик сарфини узлуксиз равишда таъминлаш ҳамда босим градиентининг қийматини ҳисоблаш формуласи ишлаб чиқилган;

девори ўтказувчи ясси канал ва цилиндрик қувурларда ноньютон суёқлик оқимларининг янги гидродинамик қонуниятлари аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

девори ўтказувчи канал ва қувурлардаги эластик қовушоқ суёқликлар пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги ва унинг сўниш кўрсаткичлари тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши аниқланган;

тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигига тебраниш частотаси параметрининг ўзгариши деярли таъсир кўрсатмаслигини ифодаловчи эффект, ноньютон суёқлиги пульсланувчи ҳаракатини Ньютон суёқлиги пульсланувчи ҳаракати билан характерлаш мумкинлиги кўрсатилган;

тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларида тўлқиннинг сўниши деярли содир бўлмаслиги, катта қийматларида эса тўлқин сўниши ошиб бориши ўтказувчанлик коэффицентининг ўзгаришига боғлиқ бўлмаслиги асосланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги эластик қовушоқ суёқликнинг стационар ва пульсланувчи оқимларини тадқиқ этиш натижасида олинган натижаларнинг ишончлилиги, хусусан, ньютон суёқликлари ҳаракатига ўтишдаги натижалар, шунингдек бу соҳада тадқиқот ишлари олиб борган бошқа муаллифларининг тадқиқот иши натижалари билан мос келиши орқали асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқотнинг илмий аҳамияти эластик қовушоқ суёқликлар моделларининг

турли структура ўзгаришларини ҳисобга олиб, хусусан бир жинсли бўлмаган эластик қовушоқ муҳитлар учун такомиллаштирилгани билан тушунтирилади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти ясси канал ва цилиндрик қувурларда эластик қовушоқ суюқликларнинг пульсланувчи оқимларида пульс тўлқинларининг тарқалиш тезлиги ва бу тўлқинларнинг сўнишини аниқлаш имкони яратилгани билан ифодаланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Эластик қовушоқ суюқликларнинг қувурлардаги стационар ва пульсланувчи ҳаракатларини тадқиқ этиш асосида:

қон хусусиятларининг эластик қовушоқ суюқликларга яқинлиги эътиборга олиниб, бу турдаги суюқликларнинг қувурдаги пульсланувчи ҳаракати, артериал томирларда қоннинг пульсланувчи ҳаракатини моделлаштиришда ва унга мос масалаларни ечишда Ф-4-42 рақамли “Юрак биомеханикаси ва унинг татбиқлари” мавзусидаги фундаментал лойиҳасида фойдаланилган (Урганч давлат университетининг 29 январь 2021 йилдаги далолатномаси). Натижада артериал тизимини математик моделлаштиришга доир дастурий восита ёрдамида олинган пульс тўлқинларининг тарқалиш ва сўниши қонуниятлари асосида артериал томирлардаги гидравлик қаршилиқларни аниқлаш имконини берган;

натижалар Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигига қаршли Чапқирғоқ Амударё ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси томонидан сувни ҳудудларга етказиб бериш, суғориладиган ерларда сувларни қувурлар бўйича тақсимлаш мақсадида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2021 йил 10 февральдаги №04/20-478 маълумотномаси). Оқова сувларни ноньютон ва ньютон суюқликлар деб қараб, қувурлардаги оқимнинг ҳаракатида кўндаланг ва узунлик бўйича тезлик ўзгариши, босими ва гидродинамик катталиқларнинг сонли ўзгариши натижалари математик усулларда аниқланган. Каналлар ва қувурлардаги стационар ва пульсацияли оқим ҳаракати масалаларини ечиш учун таклиф қилинган усуллари объектдаги кузатилиши мумкин бўлган резонанс ҳодисаси, босимнинг ортиши, бузилишларни олдиндан аниқлаш ва бартараф қилишнинг назарий асосларини ифодалаган. Натижада берилган тавсияларга мувофиқ экинларни анъанавий усулдаги суғоришга нисбатан 5-10 фоизгача сув ресурсларини тежаш имкониятига эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 2 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 12 та илмий иш чоп этилган бўлиб, жумладан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола (2 таси республика ва 5 таси хорижий журналларда) чоп этилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация кириш қисми, урта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 111 бетни ташкил қилади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган, ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, ишнинг янгиликлари, назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этилганлик ҳолати ҳамда нашр этилган ишлар ва диссертация ишининг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Суюқликлар ҳаракатининг асосий дифференциал тенгламалари, ноньютон суюқликларнинг реологик моделлари ва уларни соддалаштириш усуллари”** деб номланган биринчи бобда суюқликлар ҳаракатининг асосий дифференциал тенгламалари, ноньютон суюқликларининг реологик моделлари ва уларни соддалаштириш усуллари келтирилган. Бу бобда суюқликлар ҳаракатининг асосий дифференциал тенгламалари “кучланишлар” кўринишида аниқланиб, ноньютон суюқликларнинг реологик тенгламалари эса эластик қовушоқ суюқликлар учун, бир жинсли эластик қовушоқ суюқликларнинг реологик моделларини бир жинсли бўлмаган эластик қовушоқ суюқликлар учун умумлаштириш асосида келтирилган. Суюқликлар ҳаракатининг дифференциал тенгламалари қулайлик учун “кучланишлар” кўринишида куйидагича дифференциал тенгламалари орқали ифодаланган:

Декарт координаталарда

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{11}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{21}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{12}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{22}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{13}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{33}}{\partial z} \right); \end{cases} \quad (1)$$

цилиндрик координаталарда

$$\begin{cases} \frac{\partial g_x}{\partial t} + g_x \frac{\partial g_x}{\partial x} + g_r \frac{\partial g_x}{\partial r} + \frac{g_\varphi}{r} \frac{\partial g_x}{\partial \varphi} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rx}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi x}}{\partial \varphi} + \frac{\tau_{rx}}{r} \right), \\ \frac{\partial g_r}{\partial t} + g_x \frac{\partial g_r}{\partial x} + g_r \frac{\partial g_r}{\partial r} + \frac{g_\varphi}{r} \frac{\partial g_r}{\partial \varphi} - \frac{g_\varphi^2}{r} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xr}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi r}}{\partial \varphi} + \frac{\tau_{rr} - \tau_{\varphi\varphi}}{r} \right), \\ \frac{\partial g_\varphi}{\partial t} + g_x \frac{\partial g_\varphi}{\partial x} + g_r \frac{\partial g_\varphi}{\partial r} + \frac{g_\varphi}{r} \frac{\partial g_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{g_r \cdot g_\varphi}{r} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{x\varphi}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\tau_{r\varphi}}{r} \right). \end{cases} \quad (2)$$

Бу тенгламалар системасига суюқликнинг узлуксизлик тенгламалари ҳам киритилиб, улар ушбу кўринишларда аниқланган:

Декарт координаталар системасида $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$,

цилиндрик координаталар системасида $\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$.

Эластик қовушоқ суюқликларнинг интеграл кўринишидаги реологик тенгламаларини, унга эквивалент бўлган дифференциал тенглама шаклида ифодалаш методикаси Шульман-Хусид томонидан ишлаб чиқилган. Масалалар ечишда реологик тенгламалар ушбу кўринишда фойдаланилди:

Декарт координаталарда

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_k, \quad \frac{\partial \tau_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_k = 2p_k D_{12}, \quad \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, \quad D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial y}; \end{array} \right.$$

цилиндрик координаталарда

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{rx} = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_{k,rx}, \quad \frac{\partial \tau_{k,rx}}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_{k,rx} = 2p_k D_{12}, \quad \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, \quad D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial g_x}{\partial r}. \end{array} \right.$$

Канал ва қувурларда реологик мураккаб суюқлик ҳаракати дифференциал тенгламаларини соддалаштириш учун оқим бўйлама ўқ бўйича симметрик, канал узунлиги L , канал эни h (ёки қувур радиуси R) дан анча катта деб қабул қилинган, яъни $h/L = R/L \ll 1$. Бу ҳолда характерли кўндаланг тезликнинг характерли бўйлама тезликка нисбати чексиз кичик миқдор бўлади, яъни $g/u \ll 1$. Бу шартлар суюқликнинг секин ҳаракатида, яъни Рейнольдс сонининг кичик қийматларида ҳамма вақт бажарилади. Буларни ҳисобга олиб қувурларда ёки каналларда ноньютон суюқликлар оқимини тавсифловчи тенгламалар системаси ушбу кўринишда соддалаштирилган:

Декарт координаталари системасида

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y}, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} = 0, \\ \tau = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_k, \quad \frac{\partial \tau_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_k = 2p_k D_{12}, \\ \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, \quad D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial y}; \end{array} \right. \quad (3)$$

цилиндрик координаталар системасида

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{\partial g_x}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rx}), \quad \frac{\partial g_x}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r g_r) = 0, \\ \tau_{rx} = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_{k,rx}, \quad \frac{\partial \tau_{k,rx}}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_{k,rx} = 2p_k D_{12}, \\ \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, \quad D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial g_x}{\partial r}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Асосан қувур ва каналнинг бошланғич ва қуйи кесимларида бир хил кўринишда тебранадиган босим ўзгаришларини комплекс функциялар шаклида ифодалаш мумкинлигидан фойдаланиб, чегаравий шартларни қуйидаги кўринишда келтирилган:

$$x = 0, t > 0 \text{ да } p(0, t) = p_0^0 + \sum_{k=1}^N p_k^0 \exp(i\omega_k t); \quad (5)$$

$$x = L, t > 0 \text{ да } p(L, t) = p_0^L + \sum_{k=1}^N p_k^L \exp(i\omega_k t).$$

Девори ўтказувчи ясси каналда чегаравий шартлар:

$$y = h \text{ да } u = 0, \quad \vartheta = \frac{\gamma^* h}{\eta} (p - p_c); \quad y = 0 \text{ да } \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \vartheta = 0. \quad (6)$$

Девори ўтказувчи цилиндрик қувурларда чегаравий шартлар:

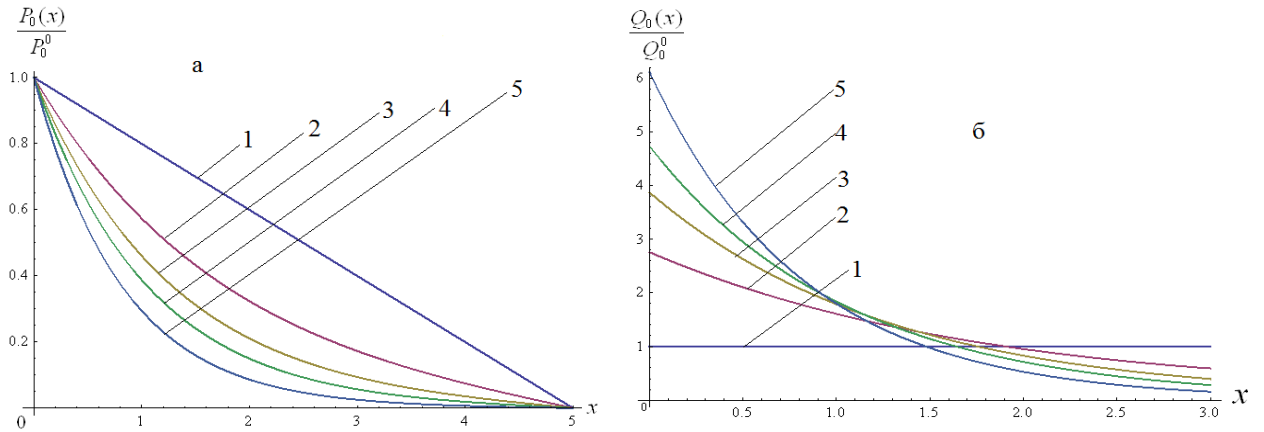
$$r = R \text{ да } \vartheta_x = 0, \quad \vartheta_r = \frac{\gamma^* R}{\eta} (p - p_c); \quad r = 0 \text{ да } \frac{\partial \vartheta_x}{\partial x} = 0, \quad \vartheta_r = 0. \quad (7)$$

Диссертациянинг “**Ньютон суюқликларнинг девори ўтказувчи ясси каналдаги пульсланувчи оқимини тадқиқ қилиш**” деб номланган иккинчи бобида девори ўтказувчи ясси каналда эластик қовушоқ суюқликларнинг пульсланувчи оқими ҳақидаги муайян масалалар ечилган. Бунда асосий мақсад-эластик қовушоқ суюқликларнинг ҳаракатини соддалаштирилган математик моделлар асосида тадқиқ этиш ва олинган натижаларни хусусий ҳолда Ньютон суюқлиги пульсланувчи оқимидаги мавжуд гидродинамик қонуниятлар билан солиштириш ва натижада, ундан фарқ қилувчи янги гидродинамик эффектларни аниқлашдан иборатдир. Эластик қовушоқ суюқликнинг стационар ҳолатдаги оқими вақтга боғлиқ бўлмаганлиги сабабли Ньютон суюқлиги оқимига айланади, табиийки бундай ҳолларда суюқлик хотираси ҳам бўлмайди. Суюқликнинг стационар оқими масалаларини ечиш натижасида босим ва ўртача бўйлама тезлик тақсимланишларини тадқиқ қилиш учун қуйидаги формулалар олинган:

$$\frac{p_0(x)}{p_0^0} = \frac{\operatorname{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{(L-x)}{h}\right)}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)} + \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{\operatorname{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{x}{h}\right)}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)}, \quad (8)$$

$$\frac{Q_0(x)}{Q_0^0} = \frac{\langle u_0(x) \rangle}{\langle u_0^0 \rangle} = \frac{1}{1 - \frac{p_0^L}{p_0^0}} \frac{L}{h} \sqrt{3\gamma^*} \left(\frac{\operatorname{ch}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{(L-x)}{h}\right)}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)} - \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{\operatorname{ch}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{x}{h}\right)}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)} \right). \quad (9)$$

Аниқланган (8) ва (9) формулалар асосида асосий оқим йўналиши бўйича 1-расмда графиклар тасвирланган.



1-расм. Девор ўтказувчанлик коэффициенти γ^* нинг турли
 1– 0,0001; 2– 0,1; 3– 0,2; 4– 0,3; 5– 0,5 қийматларида асосий оқим йўналиши бўйича
 босим (а) ва суюқлик сарфининг (б) ўзгариши.

1-расмдан кўринадик, ўтказувчанлик коэффициентининг ўсиш қийматларида босимнинг ўзгариши чизиқли тақсимланиш қонунидан сезиларли равишда фарқ қилади. Бу фарқ канал узунлигининг ўртасида максимал четлашишга эришади. Суюқлик сарфи ўзгариши эса ўтказувчанлик коэффициентининг ўсиш қийматларида, девори ўтказмайдиган каналга нисбатан каналнинг бошланғич кесимида бир неча баробар ўсиши кузатилади.

Девори ўтказувчи ясси каналдаги пульсланувчи оқимини тадқиқ қилиш натижасида босим ва ўртача бўйлама тезлик тақсимланишлари учун формулалар аниқланган. Аниқланган формулаларни ифодаловчи функция аргументлари тебраниш частотаси параметрига нисбатан комплекс ўзгарувчилардан иборат бўлганлиги сабабли, унинг ҳақиқий қисми бўйлама ўқ бўйича тўлқиннинг сўнишини, мавҳум қисми эса пульс тўлқинининг тарқалиш тезлигини аниқлайди. Шу боисдан ушбу ифоданинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари аниқланиб, пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги ва бўйлама ўқ бўйича тўлқиннинг сўниши график ёрдамида тадқиқ қилинган.

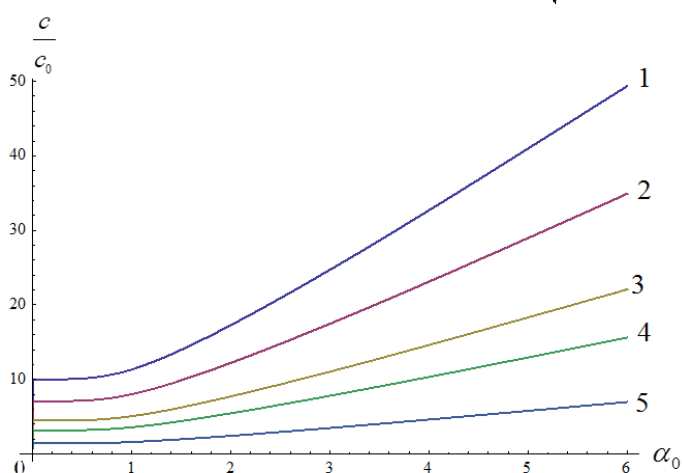
$$\sqrt{k} \bar{z}_0 L = \chi + \beta i,$$

$$p_1(x,t) = \left(p_1^0 \frac{\text{sh}\sqrt{k} \bar{z}_0 L \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{\text{sh}\sqrt{k} \bar{z}_0 L} + p_1^L \frac{\text{sh}\sqrt{k} \bar{z}_0 L \frac{x}{L}}{\text{sh}\sqrt{k} \bar{z}_0 L} \right) e^{i\omega t}, \quad (10)$$

$$\langle u_1(x,t) \rangle = \sqrt{\frac{k}{\bar{z}_0}} \left(p_1^0 \frac{\text{ch}\sqrt{k} \bar{z}_0 L \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{\text{sh}\sqrt{k} \bar{z}_0 L} - p_1^L \frac{\text{ch}\sqrt{k} \bar{z}_0 L \frac{x}{L}}{\text{sh}\sqrt{k} \bar{z}_0 L} \right) e^{i\omega t}. \quad (11)$$

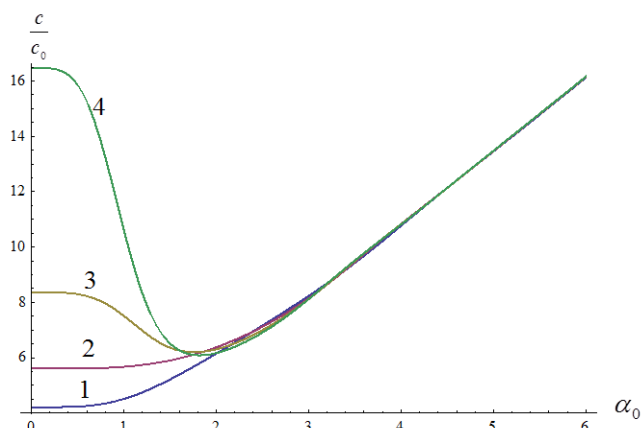
Бу формулалардан Ньютон ва ноньютон суюқликлари учун ўлчамсиз катталиқ кўринишидаги пульс тўлқинларининг тарқалиш тезлиги формуласи ушбу кўринишда аниқланган:

$$\frac{c}{c_0} = \alpha_0^2 \sqrt{\frac{1}{\gamma^*}} (\sqrt[4]{R^2 + L^2} \sin \frac{\varphi}{2})^{-1} \quad (12)$$



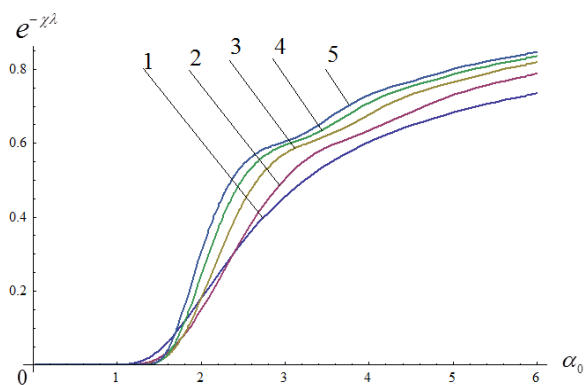
2-расм. Девор ўтказувчанлик коэффициентини γ^* нинг турли қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши.

2-расмда Ньютон суюқликлари учун пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги, тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларида таянч пульс тўлқини тарқалиш тезлигидан сезиларли даражада фарқ қилмаслиги расмда кўрсатилган. Тебраниш частотаси параметрининг катта қийматларида эса пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги, таянч тезлигидан сезиларли равишда фарқ қилиб, унинг ўсиши пульс тўлқинининг тарқалиш тезлигининг ҳам ўсишини таъминлаши кўрсатилган.



3-расм. Эластик қовушоқ суюқликнинг пульсланувчи оқимида эластиклик коэффициентини EL нинг турли қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши $\gamma^* = 0.1$; $EL := 1 - 0.1$; $2 - 0.2$; $3 - 0.3$; $4 - 0.4$

3-расмдан кўринадики, эластик қовушоқ суюқликнинг пульсланувчи оқимида эластиклик коэффициентининг турли хил қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши, тебраниш частотаси параметрининг катта қийматларида эластиклик коэффициенти қийматларига деярли боғланмаган ҳолда ўсиши аниқланган. Тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларида эса Ньютон суюқлигига қараганда сезиларли четлашишлар намоён бўлиб, бу четлашиш эластиклик коэффициентининг катталашган қийматларида яққол содир бўлиши кузатилади.



4-расм. Эластик қовушоқ суюқликнинг пульсланувчи оқимида эластиклик коэффициентининг турли хил қийматларида, тўлқин узунлигига нисбатан олинган тўлқин сўниши катталигига тескари бўлган катталиқнинг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши. $\gamma^* = 0.1$, 1 - EL=0.001; 2 - EL=0.1; 3 - EL=0.2; 4 - EL= 0.3; 5 - EL= 0.4

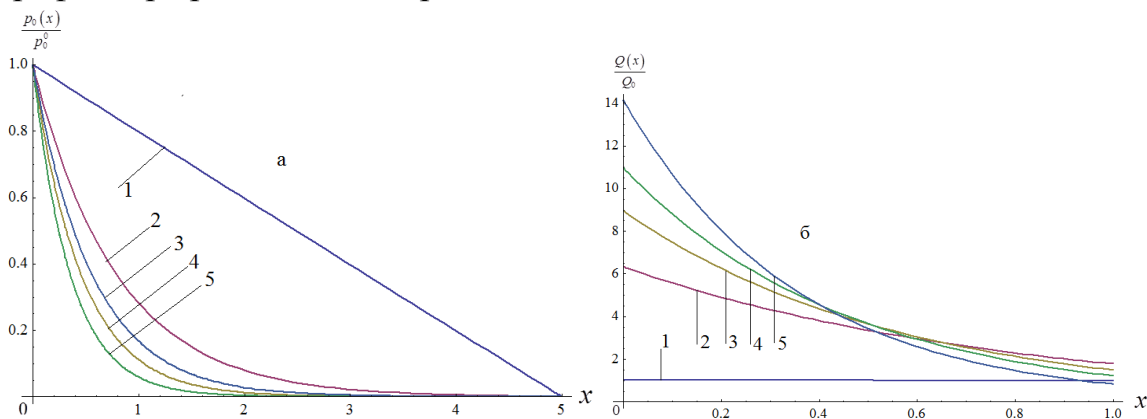
4-расмдан кўринадики, тўлқин сўниш декрементининг эластиклик коэффициентининг катталашган қийматларида сезиларли равишда ўсиб бориши аниқланган.

Диссертациянинг “Девори ўтказувчи цилиндрик қувурларда ноньютон суюқликларнинг пульсланувчи оқими” деб номланувчи учинчи бобида даврий равишда ўзгарувчи босим градиенти таъсирида бўладиган цилиндрик қувурлардаги ноньютон суюқликларнинг стационар ва пульсланувчи оқимига бағишланган масалалар ечилган ва тадқиқ қилинган. Суюқликнинг босими ва оқим тезлиги бўйлама йўналиш бўйлаб ўзгаради ва шунга мос равишда бошқа гидродинамик миқдорлар ҳам бўйлама координата бўйлаб ўзгаради. Шунинг учун барча параметрли ечимлар суюқликнинг босими ва тезлигига боғлиқ. Шу боисдан барча ҳисоблаш формулалари ўлчамсиз шаклга келтириб олинган:

$$\frac{p_0(x)}{p_0^0} = \frac{\text{sh}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{(L-x)}{R}\right)}{\text{sh}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)} + \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{\text{sh}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{x}{R}\right)}{\text{sh}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)}, \quad (13)$$

$$\frac{Q(x)}{Q_0} = \frac{\langle \vartheta_{0x}(x) \rangle}{\langle \vartheta_x^0(x) \rangle} = \frac{p_0^0 4\sqrt{\gamma^*} L}{p_0^0 - p_0^L} \frac{1}{R} \left(\frac{\text{ch}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{(L-x)}{R}\right)}{\text{sh}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)} - \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{\text{ch}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{x}{R}\right)}{\text{sh}\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)} \right). \quad (14)$$

Ўлчамсиз шаклга келтирилган катталиқларнинг бўйлама ўқ бўйича ўзгариши графиклар ёрдамида тасвирланган.



5-расм. Ўтказувчанлик коэффициенти γ^* нинг турли қийматларида босим (а) ва суюқлик сарфининг (б) ўзгариши 1– 0,0001; 2– 0,1; 3– 0,2; 4– 0,3; 5– 0,5

5-расмда $\gamma^* = 0,0001$ да қувур узунлиги бўйлаб босим чизиқли равишда ўзгаради ва суюқлик сарфи деярли ўзгармас бўлади, бу эса девори ўтказмас чексиз узун қувурда суюқлик оқими қонунига мос бўлиб, бу Пуазейль оқимининг ўзидир. Ўтказувчанлик коэффициентларининг бошқа катта қийматлари учун бўйлама йўналишдаги босим ўзгариши чизиқли қонуниятдан сезиларли даражада фарқ қилар экан. Қувур узунлигининг ўрта қисмида эса эгилиш ҳосил бўлиши аниқланган. Суюқлик оқими тезлиги ўтказувчанлик коэффициенти қийматларига қараб бир хил босим градиенти таъсирида девори ўтказмас қувурга нисбатан қувурнинг бошланғич қисмида бир неча маротаба ортиши аниқланган.

Ньютон суюқлигининг пульсланувчи оқими учун ҳосил қилинган ҳаракат дифференциал тенгламалар системасида бир неча амалларни бажариш орқали, қуйидаги кўринишга келтирилган:

$$\frac{d^2 \bar{g}_x}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d \bar{g}_x}{dr} - \frac{\rho(i\omega)}{\bar{\eta}(i\omega)} \bar{g}_x = -\frac{1}{\bar{\eta}(i\omega)} \left(-\frac{\partial p_1}{\partial x} \right). \quad (15)$$

Бу ердаги (15) тенглама Бессель тенгламаси бўлиб, унинг ечимлари қуйидагича:

$$p_1(x) = \frac{p_1^0 \operatorname{sh}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L-x}{R}\right)}{\operatorname{sh}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R}\right)} + \frac{p_1^L \operatorname{sh}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{x}{R}\right)}{\operatorname{sh}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R}\right)}, \quad (16)$$

$$\langle \bar{g}_x(x) \rangle = \frac{R^2}{8\eta} \frac{4\sqrt{\gamma^*} L}{R} \left[\frac{p_1^0 \operatorname{ch}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L-x}{R}\right)}{\operatorname{sh}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R}\right)} - \frac{p_1^L \operatorname{ch}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{x}{R}\right)}{\operatorname{sh}\left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R}\right)} \right]. \quad (17)$$

Аниқланган (16) ва (17) ечимлардан фойдаланиб, дастлаб Ньютон суюқлигининг пульсланувчи оқими тадқиқ қилинган, кейин эса эластик қовушоқ суюқликнинг цилиндрик қувурдаги пульсланувчи оқимининг сонли ҳисоб натижаларини келтирилган. Натижаларни солиштириш натижасида Ньютон суюқлиги пульсланувчи оқимидан эластик қовушоқ суюқликнинг пульсланувчи оқимидаги фарқлар аниқланган ва унинг аҳамиятли томонлари таҳлил қилинган.

Аниқланган (16) ва (17) формулалар $4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R}$ параметрга узвий равишда боғланганлиги кўрсатилган. Бу параметр комплекс сондан ташкил топгани учун, у қуйидаги кўринишда ифода қилинган:

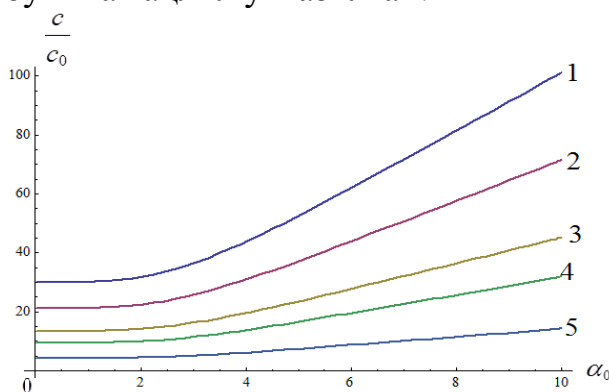
$$4\sqrt{\gamma^* Z^*} \frac{L}{R} = \bar{\chi} + i\bar{\beta}.$$

Бу ерда $\bar{\chi}$ – Ньютон суюқлиги пульсланувчи оқимида тўлқин сўнишини характерловчи катталиқ; $\bar{\beta}$ – Ньютон суюқлиги пульсланувчи оқимида пульс тўлқинини тарқалиш тезлигини аниқловчи ўлчамсиз катталиқдир.

$c = \omega L / \bar{\beta}$ формуладан фойдаланиб Ньютон суюқлиги пульсланувчи оқимида пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги топилган. Баъзи бир мураккаб бўлмаган ҳисоблашлардан кейин ушбу формула ҳосил қилинган:

$$\frac{c}{c_0} = \alpha_0^2 \sqrt{\frac{1}{16\gamma^*}} (\sqrt[4]{M_2^2 + N_2^2} \sin \frac{\varphi}{2})^{-1}. \quad (18)$$

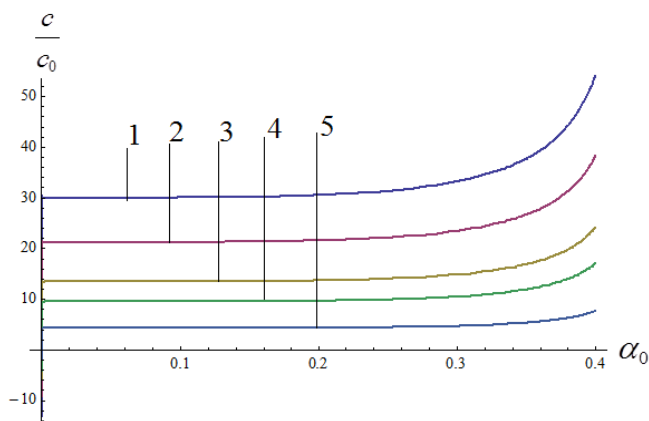
Масалани ечиш натижасида аниқланган формулалар асосида, тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги бўйича таҳлил ўтказилган.



6-расм. Ньютон суюқлиги пульсланувчи оқимида девори ўтказувчи цилиндрик қувурда ўтказувчанлик коэффициенти γ^* нинг турли 1– 0.01; 2– 0.02; 3– 0.05; 4– 0.1; 5– 0.5 қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши.

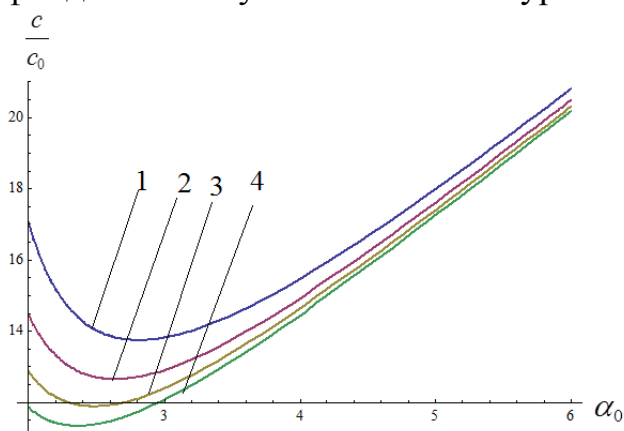
Пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларида таянч пульс тўлқини тарқалиш тезлигидан сезиларли даражада фарқ қилмаслиги 6-расмда кўрсатилган. Тебраниш частотаси параметрининг катта қийматларида эса пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги таянч тезлигидан сезиларли равишда фарқ қилиб, унинг ўсиши пульс тўлқинининг тарқалиш тезлигининг ҳам ўсишини таъминлаши аниқланган. Эластик қовушоқ суюқликнинг цилиндрик қувурдаги пульсланувчи оқими масаласини ечиш натижасида топилган (16) ва (17) формулаларда келтирилган катталиклар $\sqrt{K Z_0} L / R$ параметр қийматига боғлиқ равишда ўзгариши аниқланган.

Комплекс аргументли Бессель функцияларининг умумий ҳолдаги қийматларини ҳисоблашнинг имконияти бўлмаганлиги сабабли Бессель функцияларининг қийматларини ҳисоблашнинг иккита ҳолдаги асимптотик формулаларидан фойдаланилган. Биринчи ҳолда аргумент абсолют қийматининг кичик бўлган қийматларида сонли ҳисоб амалларини бажариш натижасида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларига боғлиқ равишда ўзгариши график ёрдамида тасвирланган. Яъни $|z| = \left| i^{3/2} \alpha_0 \left(\frac{1}{\eta^*(i\omega)} \right)^{1/2} \right| \leq 1$ ҳол тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларига мос келади.



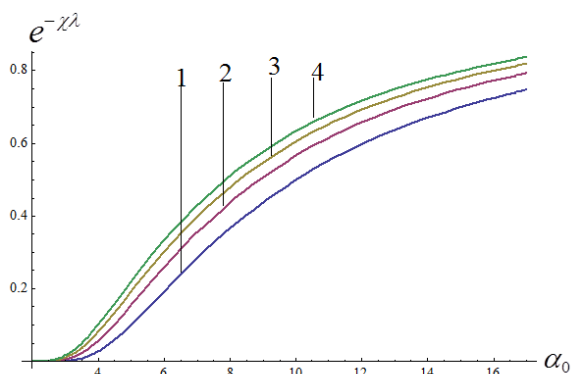
7-расм. Ноньютон суюқлиги пульсланувчи оқимида девори ўтказувчи цилиндрик қувурда ўтказувчанлик коэффициентининг турли қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларига боғлиқ равишда ўзгариши

7-расмда девори ўтказувчи цилиндрик қувурлардаги ноньютон суюқлигининг пульсланувчи оқимларида ўтказувчанлик коэффициентининг турли қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрининг $0 \leq \alpha_0 \leq 0.4$ кесмадаги қийматларига боғлиқ равишда ўзгариши келтирилган. Расмдан кўринадикки, суюқликнинг ноньютонлик хусусияти пульсланувчи оқим характеристикаларига, жумладан пульс тўлқини тарқалиш тезлигига тебраниш частотаси параметрининг $0 \leq \alpha_0 \leq 0.4$ кесмадаги қийматларда деярли таъсир кўрсатмайди. Бу ҳолда девори ўтказувчи цилиндрик қувурларда ноньютон суюқлиги пульсланувчи оқимлари ҳисоб натижалари ўрнига Ньютон суюқлигининг пульсланувчи оқимларининг ҳисоб натижалардан фойдаланиш мумкин эканлиги кўрсатилган.



8-расм. $|z| \geq 1$ бўлган ҳолда эластик қовушоқ суюқликнинг пульсланувчи оқимида эластиклик коэффициентининг турли хил қийматларида пульс тўлқини тарқалиш тезлигининг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши $\gamma^* = 0.1$; $EL := 1 - 0.1$; $2 - 0.2$; $3 - 0.3$; $4 - 0.4$

8-расмдан кўринадикки, пульс тўлқини тарқалиш тезлиги тебраниш частотаси параметрининг $2 < \alpha_0 < 2.5$ ораликдаги қийматларида камайиб, $\alpha_0 = 2.5$ қийматида минимум тезликка эришиб, ундан катта бўлган қийматларида асимптотик равишда ўсади.



9-расм. Эластик қовушоқ суюқликнинг пульсланувчи оқимида эластиклик коэффициентининг турли хил қийматларида, тўлқин узунлигига нисбатан олинган тўлқин сўниши катталигига тескари бўлган катталиқнинг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши $\gamma^* = 0.1$; $EL := 1 - 0.1$; 2 – 0.2; 3 – 0.3; 4 – 0.4

9-расмда тебраниш частотаси параметрининг катта қийматларида тўлқин сўниш декрементининг эластиклик коэффициентининг катталашган қийматларида сезиларли равишда ўсиб бориши кўрсатилган.

ХУЛОСА

“Ноньютон суюқликларнинг қувурлардаги пульсацион оқимини тадқиқ қилиш усулларини такомиллаштириш” мавзусидаги диссертация иши юзасидан қуйидагича хулосалар тақдим этилди:

1. Девори ўтказувчи ясси канал ва цилиндрик қувурларда ноньютон ва Ньютон суюқликларнинг реологик ва ҳаракат дифференциал тенгламалари системасини соддалаштириш усуллари ҳамда стационар ва пульсланувчи ҳаракати масалалари чегаравий шартларининг берилиш усуллари шакллантирилди.

2. Девори ўтказувчи ясси каналдаги суюқликларнинг стационар оқими қаралиб, унда бир хил босим градиентининг ўзгаришида суюқлик сарфининг бошланғич кесим юзасида, ўтказувчанлик коэффициентининг ўсишига қараб, бир неча баробарга ошиши аниқланди. Пульсланувчи оқимда каналда ноньютон (эластик қовушоқ) суюқликнинг пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги ўтказувчанлик коэффициенти қийматининг ўсиши натижасида тўлқин частотаси параметрига боғлиқ равишда ортиши аниқланди.

3. Ўтказувчанлик коэффициентининг ошиши билан босимнинг ўзгариши чизиқли тақсимланиш қонунидан сезиларли фарқ қилиб бориши ва канал ичидаги босимнинг кескин камайишига олиб келиши аниқланди. Пульс тўлқинининг тарқалиш тезлиги тебраниш частотаси параметрининг кичик қийматларида таянч пульс тўлқини тарқалиш тезлигидан сезиларли даражада фарқ қилмаслиги, катта қийматларида эса сезиларли равишда фарқ қилиши аниқланди.

4. Ноньютон суюқликнинг пульсланувчи оқимида пульс тўлқини тезлиги тебраниш частотаси параметрининг катта қийматларида эластиклик коэффициентининг қийматларига боғлиқ бўлмаган ҳолда ўсиши ва кичик қийматларида эса Ньютон суюқлигига нисбатан сезиларли даражада четлашиши кузатилди.

5. Ноньютон суюқликларнинг девори ўтказувчи цилиндрик қувурдаги пульсланувчи оқими масаласини ечиш ва Бессель функцияларининг кичик параметр бўйича қаторга ёйиш орқали тезликлар майдони, суюқлик сарфи

ва босим ўзгаришларини тадқиқ қилиш учун формулалар ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган формулалар асосида пульс тўлқини тарқалиш тезлиги ва тўлқин узунлигига нисбатан олинган тўлқин сўниши катталигига тесқари бўлган катталиқнинг тебраниш частотаси параметрига боғлиқ равишда ўзгариши графиклар ёрдамида тасвирланди.

6. Диссертация ишининг натижалари давлат фундаментал грантларини бажаришда фойдаланилган. Мазкур диссертациянинг натижалари Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигига қаршли Чапқирғоқ Амударё ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси томонидан сувни ҳудудларга етказиб бериш, суғориладиган ерларда сувларни қувурлар бўйича тақсимлаш мақсадида жорий этилган. Қувурлардаги оқимнинг ҳаракатида кўндаланг ва узунлик бўйича тезлик ўзгариши, босими ва гидродинамик катталиқларнинг сонли ўзгариши натижалари математик усулларда аниқланган.

7. Каналлар ва қувурлардаги стационар ва пульсланувчи оқим ҳаракати масалаларини ечиш учун таклиф қилинган усуллари объектда кузатилиши мумкин бўлган резонанс ҳодисаси, босимнинг ортиши, бузилишларни олдиндан аниқлаш ва бартараф қилишнинг назарий асосларини ифодалайди. Берилган тавсияларга мувофиқ экинларни анъанавий усулдаги суғоришга нисбатан 5-10 фоизгача сув ресурсларини тежаш имкониятига эришилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ МЕХАНИКИ И
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ**

УРГЕНЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БЕГЖАНОВ АМИРБЕК ШИХНАЗАРОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЕЧЕНИЯ НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ
В ТРУБАХ**

01.02.05 – Механика жидкости и газа

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

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии(PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан № В2019.2.PhD/FM352

Диссертация выполнена в Ургенчском государственном университете.

Афтореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском) размещен на веб-странице Научного совета(www.instmech.uz) и информационно-образовательном портале "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:	Наврузов Куралбай доктор физико-математических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Худайкулов Совет Ишанкулович доктор технических наук, профессор Жумаев Жўрабек кандидат физико-математических наук, доцент
Ведущая организация:	Ташкентский университет информационных технологий

Защита диссертации состоится «30» ноября 2022 года в 14 часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019. T/FM.61.01 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Дурман йули, 33, зал заседаний – 1. Тел.:(99871) 262-71-52; факс:(99871) 262-71-32, e-mail: instmech@academy.uz.

С диссертацией (PhD) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института механики и сейсмической стойкости сооружений (регистрационный номер -11). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Дурман йули, 33. Тел. (99871) 262-71-32.

Автореферат диссертации разослан «07» ноябрь 2022 года.
(реестр Протокола рассылки № 3 от «17» август 2022 года)

М.М.Мирсаидов

Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор, академик АН РУз

М.К.Усаров

Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., с.н.с.

З.М.Маликов

Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., с.н.с.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день найти удобные варианты эффективного использования жидкостей и газов, в том числе загонять их в каналах и трубах с проницаемыми стенками, нацеливать их движение и подобные операции играют значительную роль в глобальном масштабе. Особенно является одной из приоритетных задач нынешнего периода в таких областях, как нефтегазовая промышленность (при добыче нефти, газа и других жидкостей из-под земли по трубопроводам, при доставке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам к месту назначения), промышленность и сельское хозяйство (целое распределение расхода жидкости в каналах и трубах с проницаемыми стенками, в поиске способов экономии энергии, в капельном орошении, в ирригационных работах в современной гидропонике), в пищевых и химических областях (рассматривая вопросы расфасовки жидкостей), в области биомеханики (при анализе движение крови в сосудах, в вопросах переброски необходимого количества жидкого лекарства в нужное место в организме), в гидротехнических сооружениях (очистка труб от сгустков, вопросы переброски твердых частиц). Поэтому оно связано с возможностью ускорения и улучшения плавки, сушки, очистки и других процессов с помощью вибрации или пульсации стационарных и пульсирующих потоков жидкостей и газов при определенных условиях. В настоящее время в Великобритании, США, Германии, Франции, Нидерландах, Южной Корее, Китае, Японии, Иране, Индии, России, Узбекистанч и других развитых странах особое внимание уделяется теоретическим и практическим исследованиям процессов перемещения с учетом реологических свойств жидкостей.

В мире использование синтетических волокон, применение эластичных труб из композиционных материалов, полив сельскохозяйственных культур из подземного и надземного, капельного орошения, совершенствование методов орошения зависят от анализа стационарных, пульсирующих потоков неньютоновских жидкости в каналах и трубах. Повышение требований к различным технологическим процессам, например, обеспечение и корректировка необходимых реологических свойств жидкости при бурении скважин, повышение эффективности извлечения дробленой руды с помощью кольцевых труб. Повышение эффективности оборудования и механизмов, используемых при работе таких систем, безусловно, будет зависеть от реологических свойств протекающей в нем жидкости, условий режима течения. Например, важно изучить закономерности распространения пульсовых волн в жидкости при пульсирующем режиме течения и на стенке упругих труб, по которым течет жидкость.

В нашей стране в стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи по «дальнейшему модернизацию и диверсификацию промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленные на опережающее

развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, прежде всего по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов; сокращению энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкому внедрению в производство энергосберегающих технологий»² что, в свою очередь, подтверждает, что создание возможностей энергосбережения в процессах течений неньютоновских жидкостей в трубах различной формы является одним из важных вопросов. Данное диссертационное исследование служит выполнению задач, поставленных в Указе Президента Республики Узбекистан, от 07.02.2017 г. № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлении Президента Республики Узбекистан, от 15.07.2008 г. № ПП-916 «О дополнительных мерах по стимулированию внедрения инновационных проектов и технологий в производство», в Постановлении Президента Республики Узбекистан, от 30.06.2017 г. № ПП-3107 «О мерах по совершенствованию системы управления нефтегазовой отраслью» и в других правовых документах, связанных с этой деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики. Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления IV «Математика, механика и информатика» программы развития науки и технологии республики .

Степень изученности проблемы. В настоящее время с учетом сложных реологических свойств жидкостей научно-исследовательские работы по созданию математической модели, созданию и совершенствованию расчетных алгоритмов проводятся в ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях, в том числе НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства), Стэнфордский университет (США), МГУ имени М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный технический университет, Центральный институт аэрогидродинамики (РФ), Китайский научно-исследовательский центр аэродинамики (КНР), Исследовательский центр воздушных систем (Япония), Кембриджский университет (Великобритания), Институт вычислительной аэродинамики (Канада) и были достигнуты большие результаты.

Пульсирующие течения неньютоновских жидкостей впервые были введены И.С. Громеки в научно-исследовательской работе волнообразное течение жидкости в эластичных трубах изучалось в одномерной постановке. Позднее стационарные и пульсирующие ламинарные и турбулентные течения ньютоновской и неньютоновской жидкостей в плоских каналах и цилиндрических трубах изучались У.Л. Улкинсон, К. Трасделл, Дж. Астарита, Дж. Марруччи, Дж.Ф. Ричардсон, П.М. Огибалов, А.Х. Мирзаджанзаде, З.П. Шульман, Б.М. Хусиды. В настоящее время зарубежные ученые А.И. Агеев, Э.И. Могилевский, Чжаодун Дин, Рекха

² Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года « О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Бали, Ниведита Гупта, Э.П. Валужева, Л.Л. Феррас, Дж.М. Нобрега, Лоренцо Фуси, Кай Бао, Зохране Шейдай, Р. П. Чобра и другие ведут научную работу.

Среди ученых из Узбекистана Ж.Ф. Файзуллаев, Ж.А. Акилов, Б.Х. Ходжаёров, К.Ш. Латипов, О.И. Умаров, К. Наврузов, З. Маликов, И. Ходжаев, С. Худайкулов, Д. Базарова и других при изучении были получены положительные результаты.

Несмотря на то, что по изучению движения неньютоновских жидкостей проведено много исследований, конкретные задачи с использованием модели Шульмана-Хусида изучены и применены недостаточно.

Связь диссертационной работы с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где она выполнена.

Данная работа выполнена в соответствии с планом научных исследований кафедры «Прикладная математика» Ургенчского государственного университета в рамках научно-исследовательского проекта ОТ-Ф4-04(05) «Применение спектрального метода решения материальных нелинейных эволюционных уравнений. Биомеханика сердечно-сосудистой системы» (2017-2020 гг.) и государственного фундаментального проекта «Биомеханика сердца и ее приложения» в 2012-2016 гг.

Цель исследования усовершенствовать уравнения сложной реологической модели неоднородных упруговязких жидкостей путем перехода к ортогональной системе координат и на ее основе решить в аналитической форме задачи о стационарном и пульсирующем течении упруговязких жидкостей в плоских каналах и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками.

Задачи исследования:

аналитическое решение и определение численных расчетных формул, с использованием усовершенствованных моделей, для задач о стационарных и пульсирующих течениях упруговязких жидкостей в плоских каналах и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками;

исследование распределения давления, профилей скорости жидкости и закономерностей изменения расхода жидкости при стационарных и пульсирующих течениях упругой вязкой жидкости в плоских каналах и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками с помощью определенных формул;

показать, что течение упруговязких жидкостей в стационарном течении можно рассматривать как течение ньютоновской жидкости, и определить изменение расхода жидкости в начальной части канала в зависимости от коэффициента проницаемости стенки в таком течении;

определить изменение скорости распространения пульсовой волны и параметров затухания пульсовой волны в пульсирующем течении неньютоновской жидкости в зависимости от параметра частоты колебаний и зависимости от переменных значений коэффициента упругости, и показать, что в этом случае пульсирующее движение неньютоновской жидкости можно охарактеризовать пульсирующим движением ньютоновской жидкости анализ скорости распространения пульсовой волны и законов ее затухания при

пульсирующем течении упругой вязкой жидкости в плоском канале и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками.

Объектом исследования рассматриваются стационарные и пульсирующие течения упругих вязкоупругих жидкостей в плоских канальных и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками.

Предметом исследования являются математические модели стационарных и пульсирующих течений упруговязких жидкостей в трубах с проницаемыми стенками.

Методы исследования использованы методы математической физики и их решения для решения задач о колебательном течении упруговязких жидкостей в трубах с проницаемыми стенками.

Научная новизна исследований состоит из следующих:

усовершенствованы уравнения реологической модели неоднородных упруговязких жидкостей за счет перехода к ортогональной системе координат;

задачи о стационарном и пульсирующем течении упруговязкой жидкости в плоских каналах и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками решены аналитическим методом на основе усовершенствованной модели;

в результате анализа новых решений задач удалось обеспечить непрерывное течение жидкости по длине плоского канала и трубы и разработана формула расчета величины градиента давления;

установлены новые гидродинамические законы течения неньютоновской жидкости в плоских каналах и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками.

Практические результаты исследований заключаются в следующем:

определено, что скорость распространения пульсовой волны упруговязких жидкостей в каналах и трубах с проницаемыми стенками, показатели ее затухания изменяются в зависимости от параметра частоты колебаний;

при малых значениях параметра частоты колебаний было установлено, что пульсирующее движение неньютоновской жидкости может характеризоваться пульсирующим движением ньютоновской жидкости, а значит, изменение параметра частоты колебаний практически не влияет от скорости распространения пульсовой волны;

установлено, что при малых значениях параметра частоты колебаний затухания волны почти не происходит, а при больших значениях параметра частоты колебаний показатель затухания волны значительно возрастает, и его затухания практически не зависит от изменение коэффициента проницаемости стенки.

Достоверность результатов исследований основана на достоверности результатов, полученных при исследовании стационарных и пульсирующих течений упругой вязкой жидкости, в частности, результатов перехода к движению ньютоновских жидкостей, а также их совместимости с

результатами исследовательской работы других авторов, проводивших исследования в этой области.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследования объясняется тем, что модели упругих вязких жидкостей были усовершенствованы за счет учета различных структурных изменений, в частности для неоднородных упругих вязких сред.

Практическая значимость исследования заключается в возможности определения скорости распространения пульсовых волн и затухания этих волн в пульсирующих течениях упругих вязких жидкостей в плоских каналах и цилиндрических трубах.

Внедрение результатов исследований.

На основе исследования стационарных и пульсационных движений упруго вязких жидкостей в трубах:

Учитывая близость свойств крови к упруговязким жидкостям, пульсирующее движение этого вида жидкости в трубе, пульсирующее движение крови в артериальных сосудах и решение соответствующих задач использовались в фундаментальном проекте «Биомеханика сердца и ее приложения» № Ф-4-42 (Ургенчский государственный университет, Акт от 29 января 2021 года). В результате удалось определить гидравлическое сопротивление в артериальных сосудах на основе законов распространения и затухания пульсовых волн, полученных с помощью программ математического моделирования артериальной системы;

Результаты введены Чапкиргокским бассейновым управлением ирригационных систем Амударьи при Министерстве водного хозяйства Республики Узбекистан в целях подачи воды в регионы и распределения воды на орошаемых землях по трубопроводам (справка Постановления № 04/20-478 Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан от 10 февраля 2021 года). Рассматривая сточные воды как неньютоновские и ньютоновские жидкости, математическими методами определяются результаты изменения поперечной и продольной скорости, давления и численные изменения гидродинамической жесткости при движении потока в трубах. Предложенные методы решения задач стационарного и пульсирующего течения в каналах и трубах представляют собой теоретическую основу наблюдаемого явления резонанса в объекте, повышения давления, раннего обнаружения и устранения возмущений. Согласно рекомендациям, достигнуто сэкономить до 5-10 процентов водных ресурсов по сравнению с традиционным орошением сельскохозяйственных культур.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 2-х международных и 2-х республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 7 статей (2 в республиканских и 5 в зарубежных журналах) в научных изданиях, рекомендованных к

публикации основных научных результатов докторских диссертаций (PhD) Высшей аттестации комиссии Республики Узбекистан.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 111 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и необходимость темы диссертации, показана ответственность исследования с приоритетными направлениями развития науки и техники республики, определены цели и задачи, а также объект исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведена информация о состоянии внедрения результатов, об опубликованных работах и структуре диссертационной работы.

В первой главе диссертации «**Основные дифференциальные уравнения движения жидкости, реологические модели неньютоновских жидкостей и методы их упрощения**» представлены основные дифференциальные уравнения движения жидкости, реологические модели неньютоновских жидкостей и методы их упрощения. В этой главе определяются основные дифференциальные уравнения движения жидкости в виде «напряжений», а реологические уравнения неньютоновских жидкостей представлены на основе обобщения реологических моделей однородных упругих вязких жидкостей на неоднородные упругие вязкие жидкости. Дифференциальные уравнения движения жидкости для удобства выражаются в виде «напряжений» дифференциальными уравнениями следующего вида:

в Декартовых координатах

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{11}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{21}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{12}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{22}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{13}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{33}}{\partial z} \right). \end{cases} \quad (1)$$

в цилиндрических координатах

$$\begin{cases} \frac{\partial g_x}{\partial t} + g_x \frac{\partial g_x}{\partial x} + g_r \frac{\partial g_x}{\partial r} + \frac{g_\varphi}{r} \frac{\partial g_x}{\partial \varphi} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rx}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi x}}{\partial \varphi} + \frac{\tau_{rx}}{r} \right), \\ \frac{\partial g_r}{\partial t} + g_x \frac{\partial g_r}{\partial x} + g_r \frac{\partial g_r}{\partial r} + \frac{g_\varphi}{r} \frac{\partial g_r}{\partial \varphi} - \frac{g_\varphi^2}{r} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xr}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi r}}{\partial \varphi} + \frac{\tau_{rr} - \tau_{\varphi\varphi}}{r} \right), \\ \frac{\partial g_\varphi}{\partial t} + g_x \frac{\partial g_\varphi}{\partial x} + g_r \frac{\partial g_\varphi}{\partial r} + \frac{g_\varphi}{r} \frac{\partial g_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{g_r \cdot g_\varphi}{r} = F_z - \frac{1}{r\rho} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{x\varphi}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\tau_{r\varphi}}{r} \right). \end{cases} \quad (2)$$

Эта система уравнений также включает уравнения непрерывности (сплошности) жидкости, которые задаются в следующих формах:

$$\text{в Декартовых координатах } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

$$\text{в цилиндрических координатах } \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0.$$

Шульман-Хусид разработал метод выражения реологических уравнений упругих вязких жидкостей в виде интегральной формы, в виде эквивалентного ей дифференциального уравнения. Здесь верхняя конвективная производная, нижняя конвективная производная и производная Яуманна получаются в произвольной системе координат и становятся простыми производными в ортонормированной системе, а именно в декартовой и цилиндрической системах координат. Эти реологические уравнения использовались при решении задач в таком виде:

в Декартовых координатах

$$\left\{ \tau = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_k, \frac{\partial \tau_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_k = 2p_k D_{12}, \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial y} \right.$$

в цилиндрических координатах

$$\left\{ \tau_{rx} = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_{k,rx}, \frac{\partial \tau_{k,rx}}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_{k,rx} = 2p_k D_{12}, \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial g_x}{\partial r} \right.$$

Для упрощения дифференциальных уравнений движения реологически сложной жидкости в каналах и трубах предполагается, что течение симметрично относительно продольной оси, длина канала L намного больше ширины канала h (или радиуса трубы R), то есть: $h/L = R/L \ll 1$. В этом случае отношение характеристической поперечной скорости к характеристической продольной скорости будет бесконечно малой величиной, т. е. $g/u \ll 1$. Эти условия всегда выполняются при медленном движении жидкости, то есть при малых значениях числа Рейнольдса. С учетом этого система уравнений, описывающая течение неньютоновских жидкостей в трубах или каналах, упрощается в таком виде:

в Декартовой системе координат

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} &= 0, \\ \tau = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_k, \frac{\partial \tau_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_k &= 2p_k D_{12}, \\ \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k &= \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial y}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

в цилиндрической системе координат:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rx}), \quad \frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mathcal{G}_r) = 0, \\ \tau_{rx} = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_{k,rx}, \quad \frac{\partial \tau_{k,rx}}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} \tau_{k,rx} = 2p_k D_{12}, \\ \frac{\partial p_k}{\partial t} + \frac{g_k}{\lambda_k} p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} f_k, \quad D_{12} = \frac{1}{2} \frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial r}. \end{array} \right. \quad (4)$$

В основном, используя возможность выражения изменений давления в виде сложных функций, одинаково колеблющихся в начальном и нижнем участках трубы и канала, предельные условия представляются в следующем виде:

$$\begin{aligned} x=0, t>0 \text{ да } p(0, t) &= p_0^0 + \sum_{k=1}^N p_k^0 \exp(i\omega_k t); \\ x=L, t>0 \text{ да } p(L, t) &= p_0^L + \sum_{k=1}^N p_k^L \exp(i\omega_k t). \end{aligned} \quad (5)$$

Предельные условия в плоском канале с проницаемыми стенками определяются следующим образом

$$y=h \text{ да } u=0, \quad \mathcal{G} = \frac{\gamma^* h}{\eta} (p - p_c); \quad y=0 \text{ да } \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \mathcal{G} = 0. \quad (6)$$

Предельные условия в цилиндрической трубе с аналогичной проницаемыми стенками определяются следующим образом:

$$r=R \text{ да } \mathcal{G}_x = 0, \quad \mathcal{G}_r = \frac{\gamma^* R}{\eta} (p - p_c); \quad r=0 \text{ да } \frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial x} = 0, \quad \mathcal{G}_r = 0. \quad (7)$$

Во второй главе диссертации под названием «**Исследование пульсирующего течения неньютоновской жидкости в плоском канале с проницаемыми стенками**» рассматриваются конкретные вопросы о пульсирующем течении упругой вязкой жидкости в плоском канале с проводимой стенкой. Основная цель исследования движения упругих вязких жидкостей на основе упрощенных математических моделей и сопоставление полученных результатов с существующими законами гидродинамики в пульсирующем течении ньютоновской жидкости, и выявление новых гидродинамических эффектов, отличных от этого. Установившееся течение упруговязкой жидкости становится течением ньютоновской жидкости, так как движение жидкости в этом случае не зависит от времени, и, естественно, в таких случаях отсутствует память жидкости. В результате решения задач о стационарном течении жидкости были определены следующие формулы для исследования распределений давления и средней продольной скорости:

$$\frac{p_0(x)}{p_0^0} = \frac{\text{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{(L-x)}{h}\right)}{\text{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)} + \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{\text{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{x}{h}\right)}{\text{sh}\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)}, \quad (8)$$

$$\frac{Q_0(x)}{Q_0^0} = \frac{\langle u_0(x) \rangle}{\langle u_0^0 \rangle} = \frac{1}{1 - \frac{p_0^L}{p_0^0}} \frac{L}{h} \sqrt{3\gamma^*} \left(\frac{ch\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{(L-x)}{h}\right)}{sh\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)} - \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{ch\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{x}{h}\right)}{sh\left(\sqrt{3\gamma^*} \frac{L}{h}\right)} \right). \quad (9)$$

На основании установленных формул (8) и (9) на рис. 1 изображены графики в направлении основного потока.

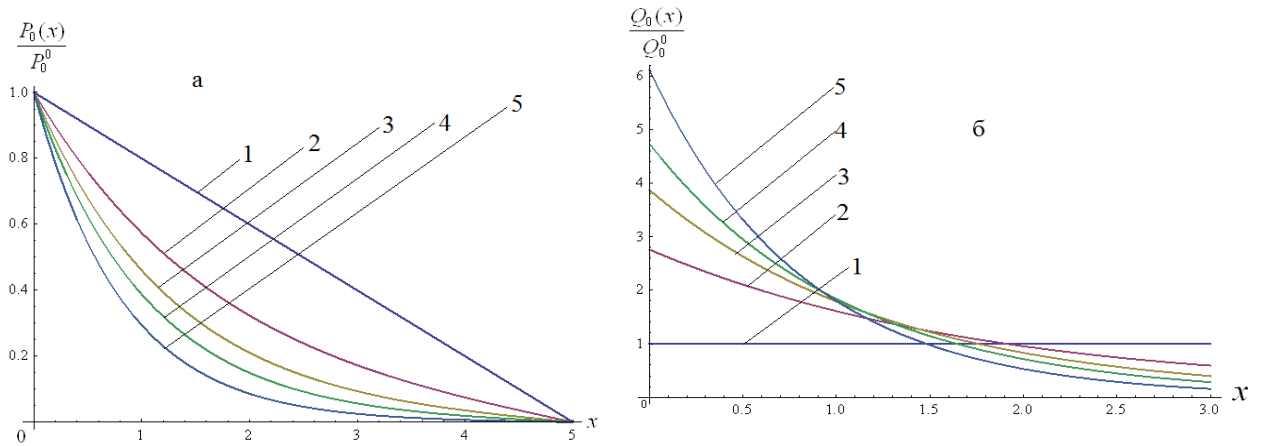


Рис. 1. Изменение давления (а) и расхода жидкости (б) в направлении основного потока при различных 1– 0,0001; 2– 0,1; 3– 0,2; 4– 0,3; 5– 0,5 значениях коэффициента проницаемости стенки γ^* .

Из рисунка 1 видно, что изменение давления при увеличении значений коэффициента проницаемости существенно отличается от линейного закона распределения. Эта разница достигает максимального отклонения в середине длины канала. Изменение расхода жидкости наблюдается в значениях увеличения коэффициента проницаемости, увеличении в несколько раз начального сечения канала по сравнению с каналом без стенки.

Формулы для распределения давления и средней продольной скорости были определены в результате исследования пульсирующего течения в плоском канале с проницаемыми стенками. Поскольку аргументы функции, представляющей определяемые формулы, состоят из комплексных переменных относительно параметра частоты вибрации, её действительная часть определяет затухание волны вдоль продольной оси, а абстрактная часть определяет скорость распространения пульсовой волны. Поэтому определены действительные и абстрактные части этого выражения, а также с помощью графика изучали скорость распространения пульсовой волны и затухание волны вдоль продольной оси.

$$\sqrt{k} \bar{z}_0 L = \chi + \beta i,$$

$$p_1(x, t) = (p_1^0 \frac{sh\sqrt{k} \bar{z}_0 L \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{sh\sqrt{k} \bar{z}_0 L} + p_1^L \frac{sh\sqrt{k} \bar{z}_0 L \frac{x}{L}}{sh\sqrt{k} \bar{z}_0 L}) e^{i\omega t}, \quad (10)$$

$$\langle u_1(x,t) \rangle = \sqrt{\frac{k}{z_0}} \left(p_1^0 \frac{ch\sqrt{k} z_0 L \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{sh\sqrt{k} z_0 L} - p_1^L \frac{ch\sqrt{k} z_0 L \frac{x}{L}}{sh\sqrt{k} z_0 L} \right) e^{i\omega t}. \quad (11)$$

Из этих формул определяется формула скорости распространения пульсовых волн в виде безразмерной величины для ньютоновской и неньютоновской жидкостей в таком виде:

$$\frac{c}{c_0} = \alpha_0^2 \sqrt{\frac{1}{\gamma^*} (\sqrt[4]{R^2 + L^2} \sin \frac{\varphi}{2})^{-1}}. \quad (12)$$

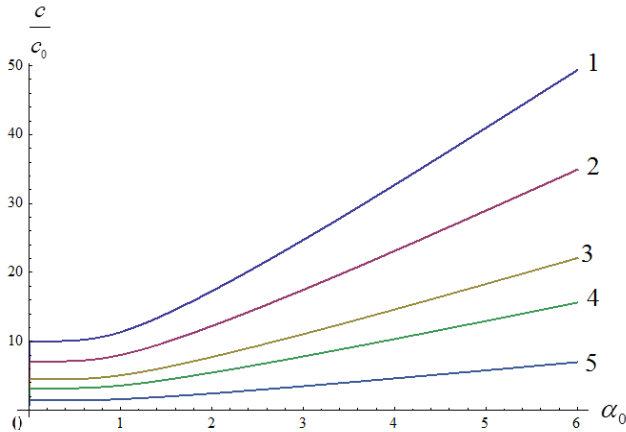


Рис. 2. Изменение скорости распространения пульсовой волны в зависимости от параметра частоты вибрации при различных значениях коэффициента проницаемости стенки γ^* .

На рис. 2. видно, что скорость распространения пульсовой волны для ньютоновских жидкостей существенно не отличается от скорости распространения базовой пульсовой волны при малых значениях параметра частоты колебаний. При больших значениях параметра частоты вибрации скорость распространения пульсовой волны существенно отличается от базовой скорости, и ее увеличение обеспечивает увеличение скорости распространения пульсовой волны.

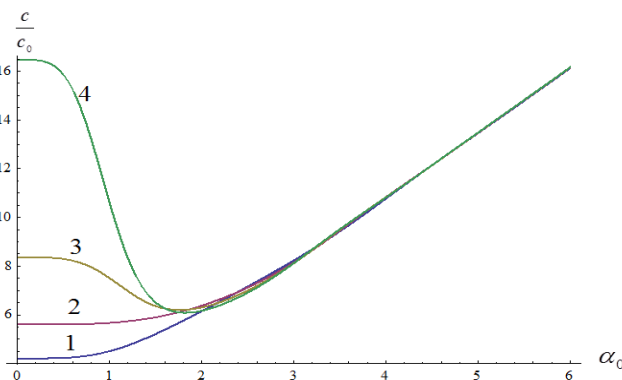


Рис. 3. Изменение скорости и распространения пульсовой волны в зависимости от параметра частоты колебаний при различных значениях x коэффициента упругости EL в пульсирующем течении упругой вязкой жидкости $\gamma^* = 0.1$; $EL := 1 - 0.1; 2 - 0.2; 3 - 0.3; 4 - 0.4$

Из рис. 3 видно, что в пульсирующем течении упругой вязкой жидкости при различных значениях коэффициента упругости изменение скорости распространения пульсовой волны зависит от параметра частоты колебаний, а при больших значениях параметра частоты колебаний установлено, что увеличение практически не зависит от значений коэффициента упругости. При малых значениях параметра частоты вибрации наблюдаются

значительные отклонения по сравнению с ньютоновской жидкостью, причем наблюдается, что это отклонение четко проявляется при повышенных значениях коэффициента упругости.

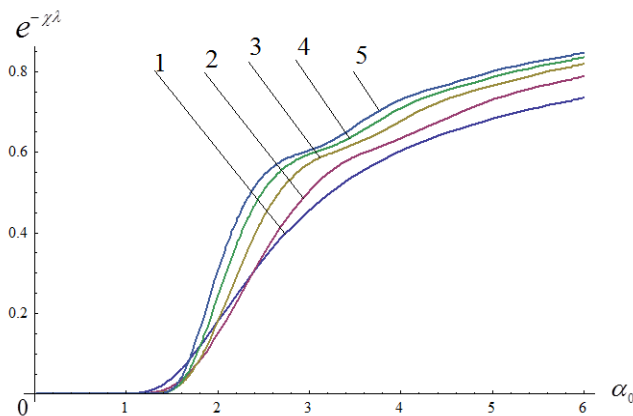


Рис. 4. Изменение упругой вязкой жидкости в пульсирующем течении, обратной величине затухания волны, полученной по отношению к длине волны, при различных значениях коэффициента упругости в зависимости от частоты колебаний параметр. $\gamma^* = 0.1$, 1 - EL= 0.001; 2 - EL= 0.1; 3 - EL= 0.2; 4 - EL= 0.3; 5 - EL= 0.4

Из рис. 4 видно, что декремент затухания волны значительно увеличивается при повышенных значениях коэффициента упругости.

В третьей главе диссертации, известной как «**Пульсирующее течение неньютоновской жидкости в цилиндрических трубах с проницаемыми стенками**», исследованы и решены вопросы стационарного и пульсирующего течения неньютоновской жидкости в цилиндрических трубах под действием градиент периодически изменяющегося давления. Давление и расход жидкостей изменяются по продольному направлению, а соответственно по продольной координате изменяются и другие гидродинамические величины. Следовательно, все решения параметров зависят от давления и скорости жидкости. Поэтому все расчетные формулы приводятся к безразмерному виду:

$$\frac{p_0(x)}{p_0^0} = \frac{sh\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{(L-x)}{R}\right)}{sh\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)} + \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{sh\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{x}{R}\right)}{sh\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)}, \quad (13)$$

$$\frac{Q(x)}{Q_0} = \frac{\langle \mathcal{G}_{0x}(x) \rangle}{\langle \mathcal{G}_x^0(x) \rangle} = \frac{p_0^0 4\sqrt{\gamma^*} L}{p_0^0 - p_0^L R} \left(\frac{ch\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{(L-x)}{R}\right)}{sh\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)} - \frac{p_0^L}{p_0^0} \frac{ch\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{x}{R}\right)}{sh\left(4\sqrt{\gamma^*} \frac{L}{R}\right)} \right). \quad (14)$$

Изменение представленных в безразмерном виде величин вдоль продольной оси изображается с помощью графиков.

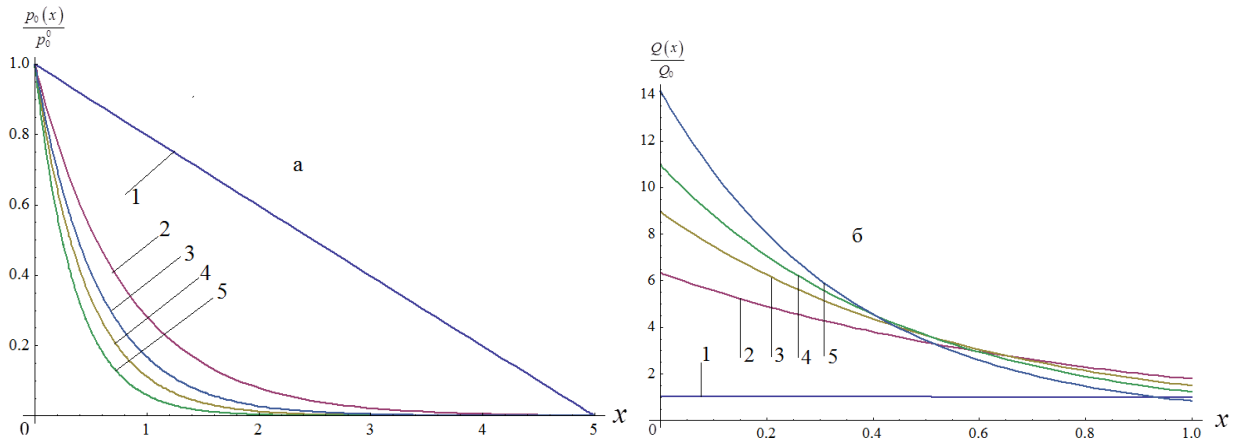


Рис. 5. Изменения давления (а) и расхода жидкости (б) при разных значениях коэффициента проницаемости γ^* . 1–0,0001; 2–0,1; 3–0,2; 4–0,3; 5–0,5

На рис. 5 давление изменяется линейно по длине трубы, а расход жидкости почти постоянен, что соответствует закону течения жидкости в бесконечно длинной трубе без проницаемости стенки, что и есть собственно течение Пуазейля. При других больших значениях коэффициентов проницаемости изменение давления в продольном направлении существенно отличается от линейного закона. В средней части длины трубы было определено образование изгиба. В зависимости от значений коэффициента проницаемости расход жидкости в начальном сечении трубы под действием одного и того же градиента давления увеличивается в несколько раз по сравнению с пристеночной трубой.

Движение, создаваемое пульсирующим потоком неньютоновской жидкости при выполнении нескольких операций в системе дифференциальных уравнений, представляется в следующем виде:

$$\frac{d^2 \bar{g}_x}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d \bar{g}_x}{dr} - \frac{\rho(i\omega)}{\bar{\eta}(i\omega)} \bar{g}_x = -\frac{1}{\bar{\eta}(i\omega)} \left(-\frac{\partial p_1}{\partial x} \right). \quad (15)$$

Уравнение (15) здесь представляет собой уравнение Бесселя, решения которого определяются как:

$$p_1(x) = \frac{p_1^0 \operatorname{sh} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \left(\frac{L-x}{R} \right) \right)}{\operatorname{sh} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R} \right)} + \frac{p_1^L \operatorname{sh} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{x}{R} \right)}{\operatorname{sh} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R} \right)}, \quad (16)$$

$$\langle \bar{g}_x(x) \rangle = \frac{R^2}{8\eta} \frac{4\sqrt{\gamma^*} L}{R} \left(\frac{p_1^0 \operatorname{ch} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \left(\frac{L-x}{R} \right) \right)}{\operatorname{sh} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R} \right)} - \frac{p_1^L \operatorname{ch} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{x}{R} \right)}{\operatorname{sh} \left(4\sqrt{\gamma^* Z_0} \frac{L}{R} \right)} \right). \quad (17)$$

С помощью найденных решений (16) и (17) сначала было исследовано пульсирующее течение ньютоновской жидкости, а затем представлены результаты численного расчета пульсирующего течения упругой вязкой жидкости в цилиндрической трубе. В результате сравнения результатов установлены отличия пульсирующего течения ньютоновской жидкости от

пульсирующего течения упругой вязкой жидкости и проанализированы его существенные стороны.

Показано, что определяемые формулы (16) и (17) непрерывно связаны с параметром $4\sqrt{\gamma^* \bar{Z}_0} L/R$. Поскольку этот параметр состоит из комплексного числа, он выражается в следующем виде:

$$4\sqrt{\gamma^* \bar{Z}_0} \frac{L}{R} = \bar{\chi} + i\bar{\beta}.$$

Здесь $\bar{\chi}$ – величина, характеризующая затухание волны в пульсирующем потоке ньютоновской жидкости, $\bar{\beta}$ – безразмерная величина, определяющая скорость распространения пульсовой волны в пульсирующем потоке ньютоновской жидкости. По формуле $c = \omega L / \bar{\beta}$ найдена скорость распространения пульсовой волны в пульсирующем потоке ньютоновской жидкости. После несложных вычислений была получена формула:

$$\frac{c}{c_0} = \alpha_0^2 \sqrt{\frac{1}{16\gamma^*} (\sqrt{M_2^2 + N_2^2} \sin \frac{\varphi}{2})^{-1}}. \quad (18)$$

По формулам, полученным в результате решения задачи, проанализирована скорость распространения пульсовой волны в зависимости от параметра частоты колебаний.

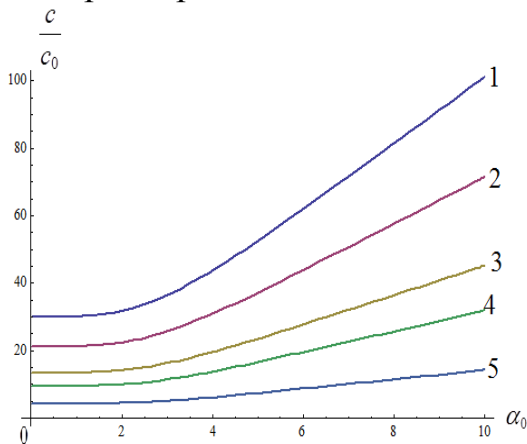


Рис.6. Изменение скорости распространения пульсовой волны в зависимости от параметра частоты вибрации при различных 1- 0.01; 2- 0.02; 3- 0.05; 4- 0.1; 5-0.5 значениях коэффициента проницаемости γ^* в цилиндрической трубе с проходящей стенкой в пульсирующем потоке ньютоновской жидкости.

На рис. 6 показано, что скорость распространения пульсовой волны существенно не отличается от скорости распространения базовой пульсовой волны при малых значениях параметра частоты колебаний. При больших значениях параметра частоты вибрации скорость распространения пульсовой волны существенно отличается от базовой скорости, и ее увеличение обеспечивает увеличение скорости распространения пульсовой волны. В результате решения задачи о пульсирующем течении упругой вязкой жидкости в цилиндрической трубе установлено, что величины, приведенные в формулах (16) и (17), изменяются в зависимости от значения параметра $\sqrt{K} Z_0 L/R$. Поскольку вычислить значения функций Бесселя с комплексными аргументами в общем случае не представляется возможным, использовались двухточечные асимптотические формулы для вычисления

значений функций Бесселя. В первом случае изменение скорости распространения пульсовой волны в зависимости от малых значений параметра частоты вибрации в результате выполнения численных расчетов при малом абсолютном значении аргумента изображают с помощью графика. То есть, случай $|z| = \left| i^{\frac{3}{2}} \alpha_0 \left(\frac{1}{\eta^*(i\omega)} \right)^{\frac{1}{2}} \right| \leq 1$ соответствует малым значениям параметра

частоты вибрации.

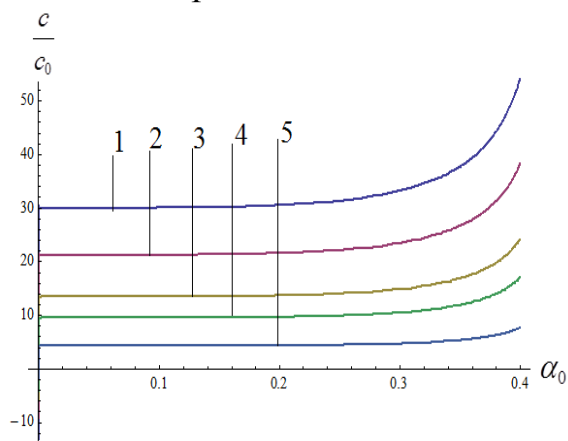


Рис.7. Изменение скорости распространения пульсовой волны в зависимости от малых значений параметра частоты колебаний при различных 1– 0.01; 2– 0.02; 3– 0.05; 4– 0.1; 5– 0.5 значениях коэффициента проницаемости γ^* в цилиндрической трубе, проходящей через стенку, в пульсирующем течении неньютоновской жидкости

На рис. 7 показано изменение скорости распространения пульсовой волны в зависимости от значений параметра $0 \leq \alpha_0 \leq 0.4$ частоты вибрации в поперечном сечении при различных значениях коэффициента проницаемости в пульсирующих течениях неньютоновской жидкости в цилиндрических трубах проходящей через стенку. Из рисунка видно, что неньютоновский характер жидкости практически не влияет на характеристики пульсирующего потока, в том числе на скорость распространения пульсовой волны, на значения параметра $0 \leq \alpha_0 \leq 0.4$ частоты колебаний в сечении. Так, в данном случае вместо результатов расчета пульсирующих течений неньютоновской жидкости в цилиндрических трубах с проницаемыми стенками, показано, что можно использовать результаты расчета пульсирующих течений ньютоновской жидкости.

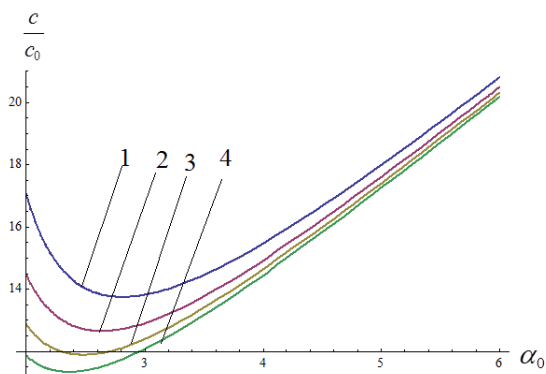


Рис. 8. В пульсирующем течении упругой вязкой жидкости при различных значениях коэффициента упругости скорость распространения пульсовой волны изменяется $|z| \geq 1$ в зависимости от параметра частоты вибрации $\gamma^* = 0.1$; $EL := 1 - 0.1$; 2–0.2; 3–0.3; 4–0.4

Из рисунка 8 видно, что скорость распространения пульсовой волны достигает минимальной скорости в диапазоне $2 < \alpha_0 < 2.5$ значений

параметра частоты вибрации, а при $\alpha_0 = 2.5$ значениях, больших его, возрастает асимптотически.

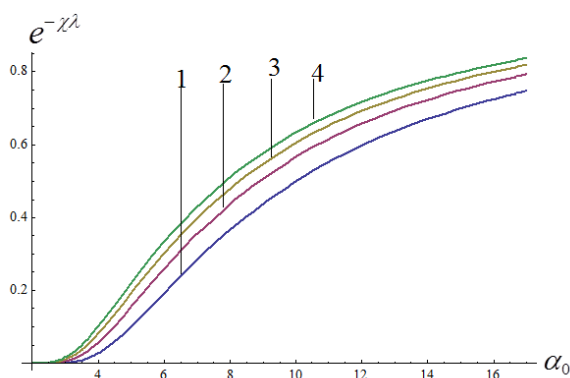


Рис. 9. В пульсирующем течении упругой вязкой жидкости изменение величины, обратной величине затухания волны, полученной по отношению к длине волны, при различных значениях коэффициента упругости в зависимости от параметр частоты колебаний
 $\gamma^* = 0.1$; $EL := 1 - 0.1$; $2 - 0.2$; $3 - 0.3$; $4 - 0.4$

На рис. 9 видно, что при больших значениях параметра частоты вибрации декремент затухания волны значительно увеличивается при повышенных значениях коэффициента упругости.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В связи с диссертационной работой по теме «Совершенствование методов исследования пульсирующего течения неньютоновских жидкостей в трубах» были представлены следующие выводы:

1. Сформированы методы упрощения системы реологических и дифференциальных уравнений движения неньютоновских и ньютоновских жидкостей в плоских каналах и цилиндрических трубах с проницаемыми стенками, и методы задания граничных условий для задач стационарного и пульсирующего движения.

2. Рассмотрено стационарное течение жидкости в плоском канале с проницаемыми стенками, и установлено, что расход жидкости на поверхности начального сечения увеличивается в несколько раз при изменении одного и того же градиента давления в зависимости от увеличения коэффициента водопроницаемости. В пульсирующем течении установлено, что скорость распространения пульсовой волны неньютоновской (упругой вязкой) жидкости в канале увеличивается в зависимости от параметра частоты волны в результате увеличения значения коэффициента проницаемости.

3. Установлено, что с увеличением коэффициента проницаемости изменение давления становится существенно отличным от закона линейного распределения и вызывает резкое снижение давления внутри канала. Установлено, что скорость распространения пульсовой волны существенно не отличается от скорости распространения базовой пульсовой волны при малых значениях параметра частоты вибрации, а при больших значениях отличается существенно.

4. В пульсирующем течении неньютоновской жидкости было замечено, что скорость пульсовой волны увеличивается при больших значениях параметра частоты колебаний вне зависимости от значений коэффициента

упругости, а при малых значениях она значительно отличается от ньютоновской жидкости.

5. Разработаны формулы для решения задачи о пульсирующем течении неньютоновской жидкости в цилиндрической трубе с проницаемыми стенками и для исследования поля скоростей, расхода жидкости и изменения давления путем разложения функций Бесселя в ряд с малым параметром. На основании разработанных формул изображено изменение величины, обратной величине затухания волны, в зависимости от скорости распространения пульсовой волны и длины волны в зависимости от параметра частоты вибрации.

6. Результаты диссертационной работы использованы при реализации государственных фундаментальных грантов. Результаты данной диссертации были реализованы Чапкиргокским бассейновым управлением ирригационных систем Амударьи при Министерстве водного хозяйства Республики Узбекистан в целях обеспечения водой регионов и распределения воды на орошаемых землях по трубопроводам. Математическими методами определяются результаты численного изменения скорости, давления и гидродинамической жесткости при движении потока в трубах в поперечном и продольном направлениях.

7. Предложенные методы решения задач стационарного и пульсирующего течения в каналах и трубах представляют собой теоретическую основу наблюдаемого явления резонанса в объекте, повышения давления, раннего обнаружения и устранения возмущений. Согласно рекомендациям, получена возможность сэкономить до 5-10 процентов водных ресурсов по сравнению с традиционным орошением сельскохозяйственных культур.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc. 02/30.12.2019.T/FM.61.01 AWARDING THE
SCIENTIFIC DEGREE AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES**

URGENCH STATE UNIVERSITY

BEGJANOV AMIRBEK SHIXNAZAROVICH

**IMPROVING THE METHODS OF STUDYING THE PULSATING FLOW
OF NON-NEWTONIAN FLUIDS IN PIPES**

01.02.05 – Mechanics of liquid and gas

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSIC AND MATHEMATICS SCIENCES**

Tashkent – 2022

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registred at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of thr Republic of Uzbekistan, under number B2019.2.PhD/FM352.

The dissertation has been prepared the Urgench state University.

The absteract of the dissertation in posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific Council (www.instmech.uz) and on the information-educational portal "ZiyoNet" at the address (www.ziynet.uz).

Scintific supervisor:

Navruzov Kuralbay
Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, Professor

Official opponents:

Xudayqulov Savet Ishanqulovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Jumayev Jo'rabek
Candidate of Physical and Mathematical
Sciences, Associate Professor

Leading organization:

**Tashkent University of Information
Technologies**

Defense will take place «30» november 2022 at 14⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures (Address 100125, Tashkent, Durman yuli street, 33, Conference hall – 1. Tel: (99871) 262-71-52; fax: (99871) 262-71-32, e-mail:instmech@academy.uz).

Dissertation is possible to review in Information-resource center of the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures (registration number 11). (Address: 100125, Tashkent, st. Durmon Yuli, 33. Tel. (99871) 262-71-52).

Abstract of the dissertation sent out on “07” november 2022 year.
(mailing report №.3 on “ 17 ” august 2022 year)

M.M.Mirsaidov

Chairman of Scientific Council for awarding egrees,
doctor of technical sciences, professor, Academician
of Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan

M.K.Usarov

Scientific secretary of Scientific Council
for awarding degrees, doctor of Physical and
mathematical sciences, Senior Researcher

Z.M.Malikov

Chairman of the council seminar at the Scientific Council for
the awarding degrees, Doctor of Technical Sciences

INTRODUCTION (abstract of PhD. thesis)

The aim of the study is to improve the equations of a complex rheological model of inhomogeneous elastic-viscous fluids by switching to an orthogonal coordinate system and, on its basis, solve in an analytical form the problems of stationary and pulsating flow of elastic-viscous fluids in the wall of a conducting flat channel and cylindrical pipes.

The objects of the study is stationary and pulsating flows of elastic viscoelastic fluids in flat channel and cylindrical pipes with a conductive wall.

Scientific novelty of the dissertation research is as follows:

the equations of the rheological model of inhomogeneous elastoviscous fluids are improved due to the transition to an orthogonal coordinate system;

the problems of stationary and pulsating flow of an elastoviscous fluid in flat channels and cylindrical pipes with a conductive wall are solved by an analytical method based on an improved model;

as a result of the analysis of new solutions it was possible to ensure a continuous flow of fluid along the length of a flat channel and pipe and a formula for the calculation of the value of the pressure gradient was also developed;

new hydrodynamic laws of non-Newtonian fluid flow in flat channels and cylindrical pipes with a conductive wall are established.

Implementation of research results. Given the proximity of the properties of blood to elastic-viscous fluids, the pulsating movement of this type of fluid in a pipe, the pulsating movement of blood in arterial vessels and the solution of relevant problems were used in the fundamental project "Biomechanics of the heart and its applications" No. F-4-42 (Urgench State University, Act of January 29, 2021). As a result, it was possible to determine the hydraulic resistance in arterial vessels on the basis of the laws of propagation and attenuation of pulse waves obtained using programs for mathematical modeling of the arterial system;

results was introduced by Chapkirgok basin Administration of irrigation system of Amudarya under the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan in order to supply water to the regions and distribute water on irrigated lands through pipelines (Reference No. 04/20-478 of Resolution No. 04/20-478 of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan dated February 2021). Considering wastewater as non-Newtonian and Newtonian liquids, the results of changes in the transverse and longitudinal velocity, pressure and numerical changes in hydrodynamic stiffness during flow in pipes are determined by mathematical methods. The proposed methods for solving problems of stationary and pulsating flow in channels and pipes represent the theoretical basis for the observed phenomenon of resonance in an object, pressure increase, early detection and elimination of disturbances. According to the recommendations of the research paper, up to 5-10 percent of water resources can be saved compared to traditional crop irrigation.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 111 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-бўлим (I часть; I part)

1. Navruzov Kuralbay, Begjanov Amirbek, Khujatov Nurbek. Unstationary flow of a viscoelastic liquid in a plane channel // International Engineering Journal For Research & Development. Vol.5 Issue 5.–India 2020. (№35, CrossRef. Impact factor: 4.9).

2. Navruzov K., Begjanov A.Sh., Shukurov Z.K. Method for determining hydraulic resistance during fluid flow in pipes // Electronic journal of actual problems of modern science, education and training 2019-II part. Issn 2181-9750.-pp. 1-8.(01.00.00; №10).

3. Navruzov Kuralbay, Begjanov Amirbek, Khujatov Nurbek. Stationary flow of a viscous fluid in a flat channel with permeable walls (in the example of blood circulation) // European Journal of Molecular & Clinical Medicine. ISSN 2515-8260 Volume 07, Issue 03, 2020.(№3 Scopus. №35 CrossRef.).

4. Navruzov K., Rajabov S., Shukurov Z., Begjanov A., Babajanova Y. On the reduction of the resistance in the central arterial vessel // Asian Journal of Research № 12(12)2017.-pp.20-31.(№35 CrossRef. Impact factor:4.1).

5. Navruzov Kuralbay, Begjanov Amirbek, Khujatov Nurbek. Pulsing flows of a viscous incompressible liquid in a pipe with elastic walls//Psychology and education (2021) 58(2).-pp. 1436-1444.(№3 Scopus.).

6. Navruzov K., Sharipova Sh., Khujatov N., Begjanov A. General rheological model of elastic viscosity fluids // JournalNX- A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal. VOLUME 6, ISSUE 10, Oct. -2020.P 138-142. (№35 CrossRef. Impact factor: 0.57).

7. Бегжанов Амирбек Шихназарович., Хўжатов Нурбек Жумабаевич., Шукуров Зоҳид Кучкарович. Ясси каналларда олдройд суюкликнинг ностационар оқими // “Илм сарчашмалари”, Урганч. 2020.-№4. 3-8 б. (01.00.00; №12).

II-бўлим (II часть; II part)

8. Begjanov A. Sh., Inoyatov M.O. Simplification of differential equations of elastic viscous fluid motion in pipes and ducts // Central asian journal of theoretical and applied sciences. Volume: 02 Issue: 03 | March 2021

9. Бегжанов А.Ш., Матвапаев Х.М. Выражение дифференциальные уравнения движения несжимаемой вязкой жидкостей в декартовых, цилиндрических и сферических координатах. // Актуальные вызовы современной науки. XLIV Международная научная конференция. Переяслав - 2019 г.-С 130-133.

10. Наврузов К., Шарипова Ш.Б., Абдикаримов Н.И., Бегжанов А.Ш. Касательное напряжение сдвига при колебательном течении вязкоупругой

несжимаемой жидкости в плоском канале // International conference, Mathematical analysis and its applications in modern mathematical physics. September 23-24, 2022; Samarkand, Uzbekistan. p37-38.

11. Бегжанов А.Ш., Хужатов Н.Ж. Нестационарное течение вязкоупругой жидкости в плоском канале // Ўзбекистонда илмий-амалий тадқиқотлар мавзусидаги конференция материаллари. 2020. №20:, 27-30б

12. Бегжанов Амирбек, Исмаилов Рахматжон. Девори ўтказувчи цилиндрлик қувурларда суюқликларнинг стационар оқими. // “Innovatsion texnologiyalari, IT-texnologiya va ishlab chiqarishda mehnat muhofazasi muomolari va yechimlari” mavzusida xorijiy hamkorlar ishtirokida Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. Andijon-2022. 571-577b.

Автореферат «Til va adabiyot ta'limi» - «Преподавание языка и литературы» илмий – методик журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди (04.11.2022 й.).

Босишга рухсат этилди: __.11. 2022 йил