

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ХУДЖАЕВ МУХИДДИН КУШШАЕВИЧ

ГИДРОПРИВОДЛАР СУЮҚЛИК ҲАРАКАТЛАНИШ
СОҲАЛАРИДАГИ ВА ОҚИМИДАГИ ЎЗИГА ХОСЛИКЛАР БИЛАН
СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ

05.02.02 – «Механизмлар ва машиналар назарияси. Машинашунослик ва машина деталлари»

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2020

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации
Contentsof the Abstract of Doctoral (DSc) Dissertation

Худжаев Мухиддин Кушшаевич

Гидроприводлар суюқлик ҳаракатланиш соҳаларидаги ва оқимидаги ўзига хосликлар билан суюқлик ҳаракатини моделлаштириш 3

Худжаев Мухиддин Кушшаевич

Моделирование движения жидкости с особенностями в потоке и в области движения гидроприводов 27

Khudjaev Mukhiddin Kushshaevich

Simulation of fluid motion with features in flow and in areas of movement of hydraulic drives 51

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 55

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ХУДЖАЕВ МУХИДДИН КУШШАЕВИЧ

**ГИДРОПРИВОДЛАР СУЮҚЛИК ҲАРАКАТЛАНИШ
СОҲАЛАРИДАГИ ВА ОҚИМИДАГИ ЎЗИГА ХОСЛИКЛАР БИЛАН
СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ**

**05.02.02 – «Механизмлар ва машиналар назарияси. Машинашунослик ва машина
деталлари»**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2020

Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.3.DSc/Т371 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва “ZiyoNet” Ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	Каримов Камолхон Аббосович техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Шарипов Конгротбай Авазимбетович техника фанлари доктори, профессор
	Арифжанов Айбек Мухамеджанович техника фанлари доктори, профессор
	Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович техника фанлари доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	ЎЗР ФА Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 рақамли илмий кенгашнинг 2020 йил «7» декабрь соат 12-00 даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2, Механика факультети 3-хона. тел.: (99871)246-46-00, факс: (99871)227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (183 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2, Телфакс: (99871)227-03-41.

Диссертация автореферати 2020 йил «1» декабрда тарқатилди.
(2020 йил «1» декабрдаги 117 - рақамли реестр баённомаси)

А.А. Мухиддинов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
раиси ўринбосари, т.ф.д., профессор

Н.Д. Тураходжаев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
илмий котиби, т.ф.д., профессор

А.А. Ризаев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси ўринбосари, т.ф.д., профессор

КИРИШ (Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Умумий машинасозликнинг янада ривожланиши долзарб илмий-техник муаммоларни ҳал қилиш, рақобатбардош технологиялар, турли тармоқлар учун машиналар ва механизмларни яратиш учун чуқур фундаментал тадқиқотлар ва инновацион ишланмалар зарурлиги билан боғлиқ. Машинасозликни янада ривожлантиришнинг асосий асосларидан бири бу механизмлар ва машиналарнинг умумий назарияси бўйича изланишларни жадаллаштиришдир.

Механизмлар ва машиналарнинг умумий назарияси бўйича олиб борилган фундаментал тадқиқотлар натижалари машинасозликнинг турли йўналишларида: аэрокосмик технологиялари, дастгоҳсозлик, автомобилсозлик, энергетика, шу жумладан ядро, нефт-кимё, кон-металлургия, тоғ-кон саноати ва бошқа соҳаларда ривожланишининг асосини яратди. Бундан ташқари, илмий асосланган назарий натижалар машиналар ва механизмлар назариясининг айрим соҳаларини ривожлантириш билан бевосита боғлиқ, хусусан, аниқ машинасозлик, прецизион вибромеханика механикаси, асбобсозлик, робототехника, компьютер технологиялари, тиббиёт, космик ва махсус ускуналар, тебраниш машиналари, инновацион технологиялар ва бошқалар.

Машиналар ва механизмлар назарияси бўйича Халқаро федерация (IFToMM) Ғарб ва Шарқ мамлакатлари ўртасидаги ҳамкорликни ривожлантириш мақсадида 1969 йилда ташкил этилган. Бугунги кунда IFToMM дунёнинг 48 мамлакати олимларини бирлаштирган ва машиналар ва механизмлар назариясининг барча соҳаларини қамраб олган нуфузли ва қудратли илмий ташкилотдир. Ҳозирги кунда унинг асосий мақсади механика ва машинасозлик соҳасидаги халқаро ҳамкорлик ва амалий қўлланмаларни илгари суриш ва кенгайтиришдан иборат. Умумий ҳолда, машиналар ва механизмлар назарияси Халқаро федерациясининг (IFToMM) қарорларида таъкидланишича, механизмлар ва машиналар назариясининг асосий илмий йўналишлари қуйидагилардир: параметрлари ва боғланишлари бошқариладиган механизмлар; машиналарнинг динамикаси; вибрация; тишли ғилдираклар; инсон-машина тизимлари ва роботлар; автоматик тизимлар; пневматик ва гидравлик приводлар, машина механизмларини бошқариш учун ташқи физик майдонлар; ноньютон суюқликлар электрореологик ва магнитореологик эффекти; механизмлар ва машиналар назарияси учун математик, график ва компьютер дастурлари.

Ҳозирги вақтда машинасозликда ва халқ хўжалигининг бошқа соҳаларида тақдим этилаётган товар ва хизматларнинг рақобатбардошлигини таъминлаш мақсадида механизмлар, машиналар ва машиналар қисмларига уларнинг тезлиги, аниқлиги, ишончлилиги, самарадорлиги, атроф-муҳитга нисбатан талабларини оширишга катта эътибор берилмоқда. Ушбу йўналишдаги истиқболли иш бу аниқ механизм ёки машина қисмини кўриб

чиқишда ҳақиқий физик жараёнларни ҳисобга олган ҳолда чуқур изланишларни жадаллаштиришдир. Хитой, Россия, АҚШ, Германия, Япония каби бир қатор хорижий мамлакатларда бошқа турдаги машиналар приводлари билан муваффақиятли рақобатлашадиган. машинасозликда иш жараёнларини механизациялаштириш ва автоматлаштиришнинг самарали воситаси сифатида гидравлик приводларни ўрганишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Бутун дунёда ускуналар ва технологиялар учун янги ечимларни яратишга қаратилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Шу нуқтаи назардан, механиканинг, математиканинг классик қонунларидан фойдаланган ҳолда ва замонавий ахборот-коммуникация тизимларини жалб қилган ҳолда гидравлик приводлар ишлашини ва уларда юзага келадиган гидродинамик жараёнларни ўрганишнинг янги усулларини ишлаб чиқиш долзарбдир.

Республикамизда саноатни модернизация қилиш орқали ускуналар ва технологиялар самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу рақобатбардошлик, энергия тежаш, экология каби кўрсаткичларни ҳисобга олади. Шу нуқтаи назардан, 2017-2021 йилларда Ўзбекистонни янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида "... миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ... иқтисодиётнинг энергия сиғими ва ресурс интенсивлигини пасайтириш, энергия тежайдиган технологияларни ишлаб чиқаришга кенг жорий этиш ..." вазифалари белгиланган. Ушбу талабни бажариш учун ёқилғи-энергетика ресурсларидан фойдаланиш бўйича чуқур тадқиқотлар асосида янги технологияларни ишлаб чиқиш ва жорий этиш, шунингдек, мавжудларини такомиллаштириш муҳим ҳисобланади.

Ушбу диссертация доирасида олиб борилган тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси Президенти Фармонларида белгиланган вазифаларни амалга оширишга хизмат қиладиган 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли "Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар Стратегияси тугрисидаги"¹ ва Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сонли 2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури, 2017 йил 23 августдаги № ПҚ-3238-сон замонавий энергия самарадорлиги ва энергия тежаш технологияларини янада жорий этиш чора тадбирлари тўғрисидаги ва 2017 йил 8 ноябрдаги ПҚ-3379-сон энергия манбаларидан оқилona фойдаланишни таъминлаш чора тадбирлари тўғрисидаги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоди маълум маънода хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йуналишларига боғлиқлиги. Ушбу тадқиқот

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

фан ва технологияларни ривожлантиришнинг қуйидаги устувор йўналишларига мувофиқ амалга оширилди: “Машиналар ва механизмлар назарияси”. “Энергия, энергия ва ресурсларни тежаш” ва “Математика, механика ва информатика”.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқодлар шарҳи.² Дунёда ускуналар ва технологияларни такомиллаштириш бўйича тадқиқотлар олиб борилмоқда, шу жумладан қуйидаги устувор йўналишларда: машиналар, аппаратлар ва қурилмалар механизмларини такомиллаштириш, инновацион лойиҳалаш методологияси, иқлим шароитини ҳисобга оладиган технологиялар, юқори самарали машина механизмларини такомиллаштириш, уларни янги авлодини яратиш ва лойиҳалаш.

Янги технологиялар ва техник жиҳозлар конструкцияларини яратишга қаратилган илмий тадқиқодлар дунёнинг етакчи илмий марказларида ва олий ўқув юртларида олиб борилмоқда. Жумладан қуйидаги илмий марказлар ва олий ўқув юртларида ҳам: Mechanical Engineering University of Michigan, Colifornia Institute of Technology (США), Manchester University (Англия), Ghent University (Бельгия), Kyoto University (Япония), Dortmund Technical University (Германия), University of Piraeus (Греция), Technische Universitat Munchen, University of Birmingham, Mechanical Engineering research Institute, The University of Sheffield (Великбритания), Cornell University, University of Wisconsin-Madison, Continental Eagle Corporation (США), University of Stuttgart, University of Applied Sciences in Mittweida (Германия), China University of Petroleum-Beijing (Китай), Toyohashi University of Technology (Япония), Kaunas University of Technology (Литва), Гедиминас номидаги Вильнюс техника университети (Литва), Ригатехника университети (Латвия), РФА Машинашунослик институти, Н.Э.Бауман номидаги Москва давлат техника университети, Санкт-Петербург политехника университети (Россия), Беларусь миллий техника университети (Беларусь), ЎзР ФА Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти, Тошкент давлат техника университети, Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти, Наманган муҳандислик қурилиш институти.

Гидравлик привод тизимларини яратиш ва илмий тадқиқодлар ўтказиш қуйидаги жаҳон илмий марказлари ва дунёнинг олий ўқув юртларида муваффақиятли олиб борилмоқда: Машинашунослик ва гидравлик приводлар институти (Австрия), Пурлуе Университети (АҚШ), Гидроэнергетик привод ва системалар институти (Германия), Энергия узатиш ва ҳаракатларни бошқариш Маркази (Буюк Британия).

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.

² Диссертация мавзусига доир бўйича халқаро илмий тадқиқотлар таҳлили қуйидаги манбаалар асосида бажарилди: <https://www.ifw.uni-stuttgart.de/en/>; <https://www.utbm.fr>; <http://www.bmstn.ru>; <http://www.tsu.tula.ru>; <http://www.cvut.cz>; <http://conferences.ufs.ac.za/>; www.dissercat.com.

Машина ва механизмлар назарияси соҳасида дунё бўйича Adelman N., Bansevichus R., Bergstrasser M., Kiyoshi O., Ragulskis K., Redwood M., Levai Z., Yokoyama Y., Okabe S. каби МДХ давлатлари олимларидан Артоболевский И.И., Бессонов А.П., Блехман И.И., Вульфсон И.И., Вейц В.Б., Вирабов Р.В., Ганиев Р.Ф., Джолбасбеков У.А., Фролов И.К., Кожевников С.Н, Крайнев А.Ф., Коловский М.З., Крагельский И.В., Ходжаев К.Ш., Пронин Б.А., Нагаев Р.Ф., Мальцев М.Ф. сингари, Ўзбекистон Республикасида Усмонхўжаев Ҳ.Ҳ., Кўзибоев Ғ.С., Зокиров Ғ.Ш., Рахматқориев Ш.У., Амонов Т.Ю., Туранов Х.Т., Каримов Р.И., Садриддинов А.С., Каримов К.А., Алимухамедов Ш.П., Ризаев А.А., Жўраев А.Д., Баходиров Ғ.А., Мухаммадиев Д.М., Мухамедов Ж.М., Умурзоқов А.Х., Кенжабоев Ш.Ш. каби олимларнинг ҳиссалари беқиёсдир.

Ҳозирги кунда бутун дунёда, гидроприводлар машинасозликда механизациялаш ва автоматлаштириш воситаси сифатида қаралиб, уларнинг тузилиши, конструкцияси, ҳисоб-китоби ҳамда улардаги гидродинамик жараёнлар бўйича тадқиқотлар олиб борилмоқда. Дунёда Р.С.Sharma, М.Shoman, J.Parambath, Р.К.Guha, Р.Т.Balmer, I.Sivaraman, Мустақил Давлатлар Ҳамдўстлигининг Абрамов Э.И., Башта Т.М., Беляев Н.М., Гудилин Н.С., Галдин Н.С. ва бошқа кўплаб олимлари гидравлик приводларни ўрганишга катта ҳисса қўшдилар. Гидравлик приводларни ўрганишда Ўзбекистон олимлари Лебедев О.В., Шарипов К.А., Шермухамедов А.А., Аннақулова Ғ.Қ. ва уларнинг шогирдлари ҳам ўз ҳиссаларини қўшдилар. Гидравлик приводларни ўрганиш уларда содир бўладиган гидродинамик жараёнларни ўрганиш билан чамбарчас боғлиқдир. Дунёда ушбу жараёнларни ўрганувчи гидродинамика фанига Р.Г.Drazin, W.H.Ried, R.Wengeler, F.Charru, J.Ozonek, J.A.Sparenberg ва бошқа олимларнинг китоблари багишланган. МДХда ушбу жараёнларни ўрганувчи гидродинамика фанининг ривожланишига Лойцянский Л.Г., Попов Д.Н., Слезкин Н.А., Струминский В.В., Тарг С.М., Ўзбекистонда Файзуллаев Д.Ф., Бегматов А.Б., Ҳамидов А.А., Латипов К.Ш., Умаров А.И., Хўжаев И.К., Арифжанов А.М., Маликов З.М. ва бошқа кўплаб олимлар ўз ҳиссаларини қўшдилар.

Мавжуд ва истиқболли гидравлик приводларни лойиҳалаш ва уларда содир бўладиган гидродинамик жараёнларни моделлаштириш бўйича кўплаб ишлар мавжуд бўлишига қарамай, ҳақиқий физик жараёнларни ҳисобга оладиган янги реологик қонунлар орқали уларнинг ишини яхшилаш масалалари етарлича ўрганилмаган. Аслида, мавжуд ва истиқболли гидравлик приводларнинг барча лойиҳалаштириш ва моделлаштириш ишларида уларнинг юқори тезликда ишлайдиган режимлари ҳисобга олинмаган. Шу муносабат билан, энергия тежаш нуқтаи назаридан мавжуд ва истиқболли гидроприводларда энергия манбаини ташувчи вазифасини бажарувчиси сифатидаги ва зарур бўлган куч юкламаларини олишнинг асосий кўрсаткичи саналган суюқликлардаги гидродинамик жараёнларнинг

янги умумлаштирилган қонуниятларини ишлаб чиқиш зарурати бу муаммоларнинг долзарблигини билдиради.

Диссертация тадқиқодининг диссертация бажарилган олий таълим муассасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация ПФН-2 “Машина ва механизмлар назарияси” фундаментал тадқиқотлар йўналиши бўйича давлат илмий-техник дастурларига киритилган ва Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг қуйидаги лойиҳалари доирасида амалга оширилган: “Бошқариладиган механик мажмуалар ва механизмларнинг назарий асосларини ва янги авлод қурилмаларини яратиш”.

Тадқиқотнинг мақсади: гидроприводларни конструкциялаш ва мукамаллаштиришда энерготежамкорлик нуқтаи назаридан гидравлик суюқлик гидродинамикасининг назарий асосларини ривожлантириш ва энергия тежашга олиб келувчи технология ва қурилмани асослаб беришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари: Ушбу мақсадга эришиш учун қуйидаги вазифалар белгиланган:

машиналарнинг гидравлик приводларини такомиллаштиришда гидродинамик жараёнларнинг замонавий тадқиқот усулларини таҳлил қилиш;

гидравлик приводларнинг гидравлик суюқликлари гидродинамикасининг мавжуд математик моделларини аналитик таҳлил қилиш ва уларни ривожлантириш бўйича таклиф бериш;

паст ва юқори суюқлик тезлигида машиналарнинг гидравлик приводларидаги гидравлик суюқлик оқимида ҳақиқий физик жараёнларини ҳисобга олган ҳолда самарали тадқиқот усулини ишлаб чиқиш, узун қувурли гидравлик привод каналларидаги гидродинамик жараёнларнинг моляр алмашинувини ҳисобга олувчи янги ва такомиллашган математик моделини яратиш;

оқимдаги қатламлар орасидаги молекулаларнинг ягона ва гуруҳли алмашувининг реологик қонуни бўйича гидравлик приводларнинг текис параллел ва цилиндрсимон каналларида гидравлик суюқлик оқимининг стационар ва ностационар муаммоларини ҳал қилиш;

суюқликда электр разрядидан ҳосил бўлган сферик ва цилиндрсимон каналнинг тарқалиш жараёнини истиқболли гидравлик приводларда босим ҳосил қилиш усули сифатида математик моделини ишлаб чиқиш;

оқимнинг гидродинамик параметрларини яхшилаш мақсадида торайиб борувчи кириш, доимий радиусли ўрта ва кенгайиб борувчи чиқиш қисмларидан иборат каналнинг сегментли қисмида гидравлик суюқликнинг гидродинамик параметрларини аниқлаш ва торайиб борувчи кириш, доимий радиусли ўрта ва кенгайиб борувчи чиқиш қисмларидан иборат конструкция яратиш.

Тадқиқотнинг объекти бошқа приводларга нисбатан бир қанча устунликларга эга бўлган ва саноатнинг турли соҳаларида, жумладан

машинасозлик соҳасида ҳам автоматлаштириш ва механизациялаштириш воситаси саналган гидравлик приводдир.

Тадқиқотнинг предмети – гидравлик привод каналларида гидравлик суюқлик оқимидаги молекуляр ва моляр модда алмашинувини ҳисобга олган ҳолда стационар ва ностационар оқиши жараёни; гидропривод учун босим ҳосил қилиш усули сифатида қараладиган суюқликдаги электр разряди ҳодисаси натижасида келиб чиқадиган суюқлик оқимининг динамикаси, шунингдек гидроприводнинг турли шаклга эга каналларидаги суюқликнинг ҳаракати.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида математик моделлаштириш усуллари, назарий ва техник гидромеханика, хусусий ҳосиллали дифференциал тенгламалар назарияси, операцион ҳисоб назарияси ва сонли моделлаштириш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги:

суюқлик оқадиган каналнинг цилиндрсимон қувуридаги сегментли участка конструкцияси ишлаб чиқилди;

сегмент соҳасидаги суюқлик босимини аниқлашнинг математик модели ишлаб чиқилди;

параболик кириш, ўрта цилиндрсимон ва гиперболик чиқиш қисмларидан иборат сегментли қисмлари ишлаб чиқилди;

эгилиш ва қисилиш нуқталарининг ҳамда иситиш ва суғориш тизимлари қувурлари каналларида сегментли участкаларини ўрнатиш параметрлари ишлаб чиқилган;

қишлоқ хўжалиги техникасининг гидравлик приводларида сегментли участкали ўтказгич конструкцияси ишлаб чиқилган;

гидравлик суюқликнинг паст ва юқори тезликда реал физик жараёнларини ҳисобга олган ҳолда гидравлик приводлар каналларидаги гидродинамик жараёнларнинг математик модели яратилди;

гидравлик суюқлик оқимидаги молекулаларнинг қатламлараро якка ва гуруҳли алмашувининг реологик қонуни асосида гидравлик приводларнинг цилиндрсимон каналларида гидравлик суюқлик ҳаракатининг ностационар масаласи учун аналитик ечим олинди;

суюқлик оқимидаги импульснинг молекуляр ва моляр алмашувини ҳисобга олган ҳолда узун қувурли гидравлик приводларнинг текис параллел ва цилиндрик каналларида гидродинамик параметрларни аниқлашнинг стационар масалалари учун аналитик ечимлар олинди;

гидравлик приводнинг текис-параллел ва цилиндрик каналларида гидравлик суюқликнинг пульсацияли ҳаракати учун аналитик ечимлар олинган;

истикболли гидравлик приводларда босим ҳосил қилиш усули сифатида суюқликдаги электр разряди ҳодисаси динамикасининг математик модели ишлаб чиқилган ва разряд жараёнида ҳосил бўлган каналнинг цилиндрсимон ва сферик кенгайишидан юзага келувчи оқимнинг

гидродинамик параметрларини аниқлаш учун ҳисоблаш тажрибалари ўтказилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

суёқлик оқадиган каналнинг цилиндрсимон қувуридаги сегментли участка конструкцияси жорий қилингани натижасида суёқлик тезлиги 18-20% га ошди;

сегмент соҳасидаги суёқлик босимини аниқлашнинг математик модели ишлаб чиқилди ва суёқлик оқимининг гидродинамик хусусиятларини аниқлаш учун олинган умумлаштирилган қонуниятларни тадбиқ этиш натижасида босим қийматини аниқлаш аниқлиги 10-12% га ошди;

параболик кириш, ўрта цилиндрсимон ва гиперболик чиқиш қисмларидан иборат сегментли қисмни тадбиқ этиш натижасида хизмат кўрсатиш муддати 1,2-1,3 баравар ошди;

эгилиш ва қисилиш нуқталарининг ҳамда иситиш ва суғориш тизимлари каналларида сегментли участкаларини ўрнатиш жойларини аниқлаш ва тадбиқ этиш натижасида суёқликларни узокқа етказиб бериш масофаси 1,5-1,6 мартага ошди;

қишлоқ хўжалиги техникасининг гидравлик приводларида сегментли участкали ўтказгич конструкцияси тадбиқ этиш натижасида узатиладиган юкламаларни узатиш вақти 1,2-1,3 бараварга камайди.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги уларнинг суёқликлар механикасининг классик қонунлари, математик моделлаштириш, хусусий ҳосилали дифференциал тенгламалар назарияси, операцион ҳисоблаш назарияси, сонли моделлаштириш орқали ҳал қилиниши билан ва ҳисоблаш тажрибаларининг ижобий натижалари билан таққосланган ва тасдиқланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, суёқликдаги молекуляр ва моляр алмашувни биргаликда ҳисобга олишнинг реологик қонуни билан гидропривод каналларида гидравлик суёқлик оқими масалаларининг аналитик ечимлари, гидроприводдаги турли қисмлардан иборат каналларда суёқликнинг гидродинамик параметрларини аниқлаш учун аналитик ечимлар ва суёқликдаги электр разрядининг математик модели яратилди. Ушбу натижаларнинг барчаси гидродинамика ва умумий машинашунослик саноатида қўлланиладиган механизм ва машиналарнинг турли амалий муаммоларига қўллаш имкониятларини тўлдиради.

Олинган тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти уларнинг гидропривод тизимларини ҳисоблашда, шунингдек суёқликларни қувурлар орқали узок масофага етказиб беришда, нефть-кимё ва озик-овқат саноатида, пневматик конвейерларда янги технологияларни ишлаб чиқишда, динамик ҳисоб-китобларни амалга оширишда ва суёқликдаги электроразряд эффектидан фойдаланган ҳолда ихчам гидроприводлар, компрессорлар ва

бошқа қурилмаларни яратишда, уларнинг рационал параметрларини танлашда қўлланилиши билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Гидравлик приводларда ва бошқа суюқлик оқадиган қурилмаларда турли хил кўндаланг кесимга эга ва ҳар хил сегментлардан иборат қурилма орқали ҳаракатланадиган оқимни моделлаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Гидравлик приводларда ва бошқа суюқлик оқадиган қурилмаларда турли хил кўндаланг кесимга эга ва ҳар хил сегментлардан иборат қурилма орқали ҳаракатланадиган оқимни моделлаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

суюқлик оқадиган каналнинг цилиндрсимон қувуридаги сегментли участка конструкцияси Ўзбекистон Республикаси Ўрмон хўжалиги давлат қўмитасининг Жондор давлат ўрмон хўжалигида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Ўрмон хўжалиги давлат қўмитасининг 2020 йил 29 августдаги № 05/21-2346 - сон маълумотномаси). Натижада суюқлик тезлигини 18-20% га ошириш имкони яратилган;

сегмент соҳасидаги суюқлик босимини аниқлашнинг математик модели ишлаб чиқилди. Суюқлик оқимининг гидродинамик хусусиятларини аниқлаш учун олинган умумлаштирилган қонуниятларни татбиқ этиш натижасида босим қийматини аниқлаш аниқлиги 10-12% га ошди (Ўзбекистон Республикаси Ўрмон хўжалиги давлат қўмитасининг 2020 йил 29 августдаги № 05/21-2346 - сон маълумотномаси);

параболик кириш, ўрта цилиндрсимон ва гиперболик чиқиш қисмларидан иборат сегментли қисмни татбиқ этиш натижасида хизмат кўрсатиш муддати 1,2-1,3 баравар ошди (Ўзбекистон Республикаси Ўрмон хўжалиги давлат қўмитасининг 2020 йил 29 августдаги № 05/21-2346 - сон маълумотномаси);

эгилиш ва қисилиш нуқталарининг ҳамда иситиш ва суғориш тизимлари каналларида сегментли участкаларини ўрнатиш жойларини аниқлаш ва татбиқ этиш натижасида суюқликларни узоққа етказиб бериш масофаси 1,5-1,6 мартага ошди (Ўзбекистон Республикаси Ўрмон хўжалиги давлат қўмитасининг 2020 йил 29 августдаги № 05/21-2346 - сон маълумотномаси);

қишлоқ хўжалиги техникасининг гидравлик приводларида сегментли участкали ўтказгич конструкцияси татбиқ этиш натижасида узатиладиган юкламаларни узатиш вақти 1,2-1,3 бараварга камайди ҳамда иссиқхоналарни иситиш учун сарфланадиган умумий харажатлари қисқариши ҳисобига рентабеллик 10-12% га оширилди (Ўзбекистон Республикаси Ўрмон хўжалиги давлат қўмитасининг 2020 йил 29 августдаги № 05/21-2346 - сон маълумотномаси).

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация тадқиқотлари натижалари 10 та илмий-техник конференцияларда, шу жумладан 3 та

халқаро (жумладан, Хитой Халқ Республикасида) ва 7 та республика конференцияларида эълон қилинди.

Тадқиқот натижаларини эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича 22 та илмий ишлар, шу жумладан докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини (DSc) чоп этиш учун Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация Комиссияси томонидан тавсия этилган журналларда 10 та мақола: уларнинг 4 таси Республика журналларида, 2 таси Scopus базаси журналида (Journal of Physics) ва 4 таси Clarivate Analytics базаси журналида (ISJ Theoretical & Applied Science, Philadelphia, USA) нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, беш боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 156 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологияларини ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **"Асосий тенгламалар ва гидравлик приводлардаги суюқлик ҳаракатининг математик моделини ишлаб чиқиш"** деб номланган биринчи бобида танланган тадқиқот мавзуси бўйича адабий манбааларни таҳлилий аналитик кўриб чиқиш ва тадқиқот мақсади қўйилган. Машиналарнинг гидравлик приводларини лойиҳалаш ва ҳисоблашда гидравлик суюқликларнинг гидродинамик параметрларини аниқлашнинг мавжуд усуллари оқимдаги ўзига хос хусусиятлари кўпга тадқиқотчиларнинг илмий ишларида ҳисобга олинмаган: суюқликлар механикасининг классик усулларида фойдаланмаслик, технологик жараённинг математик моделларини тузишда бир қатор омиллар ҳисобга олинмайди, хусусан, юқори тезлик хусусиятлари ва турли геометрияликаналлар шакли хилма-хиллигини ҳисобга олмаслик.

Мавжуд классик қонунларни ўрганиш ва таҳлил қилиш асосида, ушбу тадқиқотлар соҳасидаги катта бўшлиқни тўлдирадиган гидроприводлар каналларидаги оқимнинг ҳақиқий физик жараёнларини ҳисобга олган ҳолда реологик қонун ишлаб чиқилган.

Гидравлик суюқлик ҳаракатининг асосий тенгламаси узун қувурли гидроприводлар оқимида импульснинг молекуляр ва моляр алмашишини ҳисобга олувчи реологик қонун асосида олинган. Оқим қатламларидаги молекулаларнинг қатламлараро алмашувининг иккита механизми ҳисобга олинса, суюқлик ҳаракатининг асосий тенгламалари бўлган ва иккинчи

тартибли хусусий ҳосилали дифференциал тенглама ҳисобланган Навье-Стокс тенгласида учинчи тартибли хусусий ҳосилали ҳадлар ҳосил бўлади.

Гидропривод цилиндрик каналларида гидравлик суюқликнинг ҳаракат тенгласи $v_1 = v_1(x_2, t)$, $v_2 = const$, $dp/dx_1 = N = const$ деб фараз қилсак танланган реологик қонун учун қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$m_l \left(\frac{\partial^3 v_1}{\partial t \partial x_2^2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial t \partial x_2} \right) + m_l v_2 \left(\frac{\partial^3 v_1}{\partial x_2^2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) = N. \quad (1)$$

Ушбу тенглама қуйидаги бошланғич ва чегара шартлари билан ечилади:

$$\left. \begin{aligned} v_1 = 0, \quad \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \quad \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} = 0 \quad t = 0, \\ \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \quad v_1 < \infty \quad x_1 = 0, \\ v_1 = 0 \quad x_1 = R. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Бунда ν – оқим тезлиги, p – босим, ρ – суюқлик зичлиги, μ – суюқликнинг динамик ёпишқоқлик коэффиценти; m_l – моляр алмашув коэффиценти, t – вақт, R – цилиндрик канал радиуси.

Гидропривод цилиндрик каналларида гидравлик суюқликнинг ҳаракат тезлигини (1) тенгламадан топиш учун тенгламанинг кўринишини ўзгартирамиз

$$m_l \frac{1}{x_2} \frac{\partial}{\partial t} \left(x_2 \frac{\partial^2 v_1}{\partial t \partial x_2} \right) + m_l v_2 \frac{1}{x_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(x_2 \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} \right) + \mu \frac{1}{x_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(x_2 \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) = N. \quad (3)$$

Бу тенгламани икки томонини x_2 га кўпайтириб интеграллаймиз. Бу амалларни яна бир такрорлаб қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial v_1}{\partial t} + \frac{\mu}{m_l v_2} v_1 = \frac{N x_2^2}{4 m_l v_2} + \frac{c_1}{m_l v_2} \ln x_2 + \frac{c_2}{m_l v_2}. \quad (4)$$

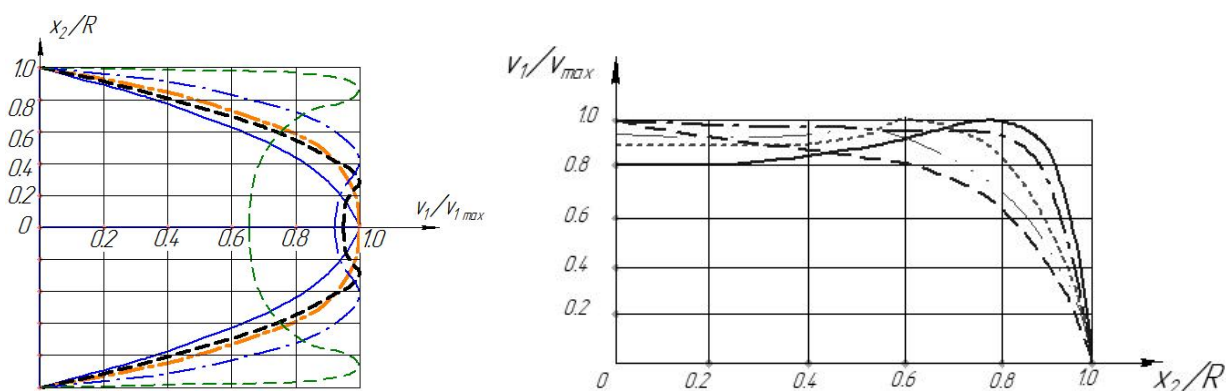
Вақт бўйича Лаплас алмаштиришини қўллаб, ҳосил бўлган доимийларни (2) шартларидан аниқлаб, ҳақиқий ўзгарувчиларга ўтамиз:

$$\begin{aligned}
v_1(t, x_2) = & \frac{dp}{dx_1} \frac{1}{4\mu} \left\{ (x_2^2 - R) \left(1 - e^{-\frac{\mu}{m_l}t} \right) - \right. \\
& - 2(x_2 - R)v_2 \frac{m_l}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu}{m_l}t} - t \frac{\mu}{m_l} e^{-\frac{\mu}{m_l}t} \right) + \\
& + 2v_2^2 e^{-\frac{\mu x_2}{m_l v_2}} \left[e^{-\frac{\mu}{m_l}t} \left(\frac{t^2}{2} + \frac{t^2}{2} \frac{\mu x_2}{m_l v_2} + t \frac{m_l}{\mu} + \frac{m_l^2}{\mu^2} \right) - \frac{m_l^2}{\mu^2} \right] - \\
& \left. - 2v_2^2 e^{-\frac{\mu x_2}{m_l v_2}} \left[e^{-\frac{\mu}{m_l}t} \left(\frac{t^2}{2} + \frac{t^2}{2} \frac{\mu R}{m_l v_2} + t \frac{m_l}{\mu} + \frac{m_l^2}{\mu^2} \right) - \frac{m_l^2}{\mu^2} \right] \right\}. \quad (5)
\end{aligned}$$

Ушбу (5) функция (1) тенгламининг умумий ечими бўлиб, суюқликнинг цилиндрик кувурдаги тезлигини ифодалайди. Бунда $t \rightarrow \infty$ бўлганда тезликнинг стационар ифодасини оламиз:

$$v_1 = \frac{dp}{dx_1} \frac{1}{4\mu} \left[(x_2^2 - R) - 2(x_2 - R)v_2 \frac{m_l}{\mu} + 2v_2^2 \frac{m_l^2}{\mu^2} \left(e^{-\frac{\mu R}{m_l v_2}} - e^{-\frac{\mu x_2}{m_l v_2}} \right) \right]. \quad (6)$$

Танланган реологик қонун учун цилиндрик трубада суюқлик оқимининг модел масаласини олинган аналитик ечими асосида ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди. Улар моляр коэффицент ошган сари максимал тезликлар соҳаси трубанинг ўртасидан периферик минтақага силжишини кўрсатдилар. Оқим ўқидаги тезликнинг пасайиши, муаллиф фикрига кўра, ички моляр ишқаланишнинг кучини ошиши билан боғлиқ (1 - расм).



1- расм. Тезликнинг профиллари.

Шунга асосан гидроприводнинг паст ва юқори тезликда ишлайдиган режимларида гидродинамик жараёнларни тавсифлаш учун танланган реологик моделнинг мувофиқлиги аниқланди.

“Гидроприводларнинг текис ва юмалоқ қувурларида суюқликнинг стационар ҳаракати” деб номланган иккинчи бобида гидроприводлардаги суюқлик оқимининг стационар масалалари тадқиқотлари келтирилган. Узун қувурли гидроприводларнинг текис-параллел ва цилиндрсимон каналларида ишлайдиган суюқликнинг оқими ўрганилган. Бу икки масаланинг аналитик ечимлари операцион ҳисоб назариясидан Лаплас алмаштириши ва Эфрос теоремасини қўллаш орқали олинади. Олинган ечимлар асосида ўтказилган ҳисоблаш амалларининг миқдорий натижалари келтирилган.

Текис-параллел қувурдаги оқим масаласининг ечилишини кўриб чиқамиз. Суюқликнинг ҳаракат тенгламаси танланган реологик қонун учун қуйидагича бўлади:

$$\begin{cases} \rho v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \rho v_2 \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = -\frac{dp}{dx_1} + \mu \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} + m_l \left(v_1 \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2 \partial x_1} + v_2 \frac{\partial^3 v_1}{\partial x_2^3} + \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_1 \partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} \right), \\ \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Бу тенгламалар системасини ечиш учун янги ўзгарувчиларга ўтамыз:

$$v_x = \frac{v_1 - u_0}{u_0}, \quad v_y = \frac{v_2}{u_0}, \quad P = \frac{p - p_0}{\rho u_0^2}, \quad x = \frac{x_1}{h}, \quad y = \frac{x_2}{h}, \quad (8)$$

бунда p_0 – бошланғич босим; $2h$ – қувурнинг деворлари орасидаги масофа; v_x , v_y , P – бошланғич кесимда нолга айланадиган кичик сонлар. Иккинчи даражали кичик сонларни ташлаб юбориб, қуйидагига эга бўламиз:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} - \text{Re} \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{dP}{dx} \right) + a \frac{\partial v_x^3}{\partial y^2 \partial x} = 0, \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Бунда $\text{Re} = \frac{hu_0}{\nu}$ – Рейнольдс сони, $a = \frac{m_l \text{Re}}{\rho h^2}$ – моляр кўчиш ўлчовсиз сони. Қараладиган масаланинг чегара шартлари қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} v_x = 0, \quad P = 0 \quad x = 0, \\ \frac{\partial v_x}{\partial y} = 0, \quad v_y = 0, \quad |v_x| < \infty \quad y = 0, \\ v_x = -1, \quad v_y = 0 \quad x > 0 \quad y = \pm 1. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Танланган модел учун суюқликнинг текис қувурдаги стационар оқимини ифодалайдиган (9) тенгламани (10) шартларда ечимини олиш учун x бўйича Лаплас алмаштиришини амалга оширамыз ва ҳақиқий ўзгарувчиларга ўтиш ҳақидаги Эфрос теоремасидан фойдаланиб масала ечимини топамиз:

$$\frac{p_0 - p}{\rho u_0^2} = \frac{3}{\rho h^2} \left(m_l + \frac{x_1 \mu}{u_0} \right) + \frac{1}{5} - 2\rho h^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp\left[\frac{x_1 \mu \xi_n^2}{u_0(m_l \xi_n^2 + \rho h^2)} \right]}{\xi_n^2 (m_l \xi_n^2 + \rho h^2)}, \quad (11)$$

$$\frac{v_1}{u_0} = \frac{3}{2} \left[1 - \left(\frac{x_2}{h} \right)^2 \right] + 2\rho h \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\xi_n \frac{x_2}{h}) - \cos \xi_n}{\xi_n^2 (m_l \xi_n^2 + \rho h^2) \cos \xi_n} \exp\left(-\frac{x_1 \mu \xi_n^2}{u_0(m_l \xi_n^2 + \rho h^2)} \right), \quad (12)$$

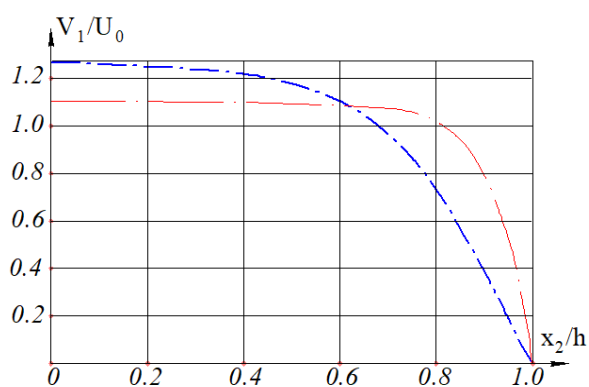
Олинган (11) ва (12) формулалар $m_l = 0$ ҳолда чизикли тезлик профили масаласидаги натижалар билан устма-уст тушади. $x_1 \rightarrow \infty$ ҳолида бу ечим оқимнинг параболик режимини беради. С.М.Таргнинг ламинар оқим учун олган аналитик ечими олинган ечимимизнинг хусусий ҳоли бўлиб қолади. Шунга асосан хулоса қилиш мумкинки, муаллиф томонидан олинган ечим ушбу масаланинг умумлашган ечими ҳисобланади. Олинган аналитик ечим асосидаги ҳисоблашлар оқимда ядро пайдо бўлиши (2-расм) ва Никурадзенинг экспериментал ва Струминскийнинг назарий натижалари билан солиштириш орқали ифодаланган (3 – расм).

Худди олдинги ҳолдаги каби Лаплас алмаштиришини бажариб ва дастлабки ҳақиқий ўзгарувчиларга ўтиш учун яна операцион ҳисоблаш назариясидаги Эфрос теоремасидан фойдаланиб гидроприводнинг цилиндрик каналларидаги суюқлик оқимини гидродинамик параметрлари аниқланган:

$$\frac{p - p_0}{\rho u_0^2} = -\frac{8\nu x_1}{u_0 R^2} - \frac{8m_l}{\rho R^2} - 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k^2 m_l + \rho R^2 [1 - \exp(-\frac{\rho \nu x_1 \beta_k^2}{u_0(m_l + \rho R)})]}{\beta_k^2 (m_l \beta_k^2 + \rho R^2)}. \quad (13)$$

$$\frac{v_1 - u_0}{u_0} = 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k^2 m_l + \rho R^2 [1 - \exp(-\frac{\rho \nu x_1 \beta_k^2}{u_0(m_l + \rho R)})]}{\beta_k^2 (m_l \beta_k^2 + \rho R^2)} \left(1 - \frac{J_0(\frac{x_2}{R} \beta_k)}{J_0(\beta_k)} \right) + \quad (14)$$

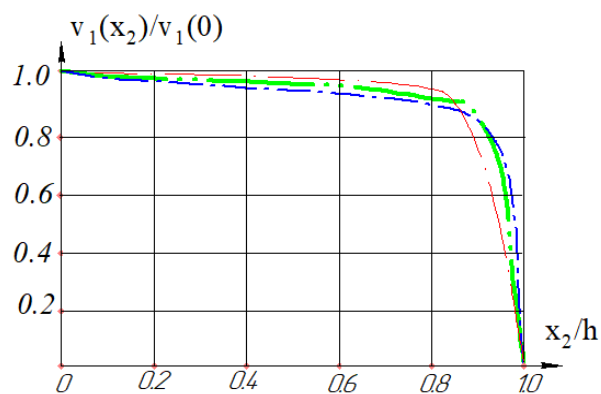
$$+ 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\mu_k^2 m_l + \rho R^2 [1 - \exp(-\frac{\rho \nu x_1 \mu_k^2}{u_0(m_l + \rho R)})] [2J_1(\mu_k) - \mu_k J_2(\mu_k)]}{\mu_k^2 (m_l \mu_k^2 + \rho R^2) J_1(\mu_k) J_2(\mu_k)} J_0(\mu_k \frac{x_2}{R}).$$



— · — · — $Re=2500, a=100$

— · · — · — $Re=500, a=0.5$

2 - расм. $20h$ масофадаги тезлик. $v_1(x_2)/v_1(0)$.



— · — · — Никурадзе

— · · — · — В.В. Струминский

— · · · — · — муаллиф

3 - расм. $Re=12500, a=500$ да

Бу олинган (13) ва (14) формулалар цилиндрик каналларда суюқликнинг босим ва тезликларини молекуляр ва моляр алмашуви реологик қонуни учун ечими ҳисобланади. Моляр алмашув коэффициенти $m_l = 0$ бўлган ҳолда С.М. Тарг томонидан кўрилган ва нима сабабдандир охиригача олиб борилиб ечими олинмаган цилиндрик каналдаги ламинар оқим масаласининг ечимини беради.

“Оқимдаги молекуляр ва моляр алмашишни ҳисобга олган ҳолда гидроприводдаги суюқликнинг пульсацияланувчи ҳаракатини моделлаштириш” мавзусидаги учинчи бобда гидроприводларнинг текис ва цилиндрсимон каналлари учун пульсацияланувчи оқим тадқиқ этилди.

Кўриб чиқиладиган муаммолар операцион ҳисоб қоидаларини қўллаш орқали ҳал қилинади: булар Лаплас алмаштириши ва Коши теоремаси ёрдамида амалга оширилади.

Гидропривод цилиндрсимон каналидаги гидравлик суюқликнинг пульсацияли ҳаракати масаласининг ечилишини кўриб чиқамиз. Ҳаракат тенгламаси танланган реологик қонун учун қуйидагича бўлади:

$$\frac{\partial v_1}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial v_1}{\partial y} \right) + m_l \left[\frac{\partial^3 v_1}{\partial t \partial x^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial^2 v_1}{\partial t \partial y} + v_1 \left(\frac{\partial^3 v_1}{\partial x \partial y^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x \partial y} \right) \right]. \quad (15)$$

Тезликнинг v_2 компоненти v_1 билан қуйидаги тенглама билан боғланган

$$\frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y v_2)}{\partial y} = 0 \quad (x > 0, y > 0, t > 0). \quad (16)$$

Босим ўзгариши қуйидаги кўринишда берилади:

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = a + b \cos \omega t \quad (t > 0, a, b, \omega = \text{const}). \quad (17)$$

(15) ва (16) тенгламалар қуйидаги бошланғич ва чегара шартларига эга бўлади:

$$v_1(x, y, 0) = \frac{\partial v_1}{\partial y}|_{t=0} = \frac{\partial^2 v_1}{\partial y^2}|_{t=0} = 0 \quad (x \geq 0, y \geq 0). \quad (18)$$

$$v_1(0, y, t) = u_0(1 - e^{-\gamma t}); \quad \frac{\partial v_1}{\partial y}|_{x=0} = \frac{\partial^2 v_1}{\partial y^2}|_{x=0} = 0 \quad (y > 0, t > 0), \quad (19)$$

$$\frac{\partial v_1(x, 0, t)}{\partial y} = v_2(x, 0, t) = 0 \quad (x > 0, t > 0), \quad (20)$$

$$v_1(x, R, t) = v_2(x, R, t) = 0 \quad (x > 0, t > 0), \quad (21)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} v_1(x, y, t) = \omega = \text{const}. \quad (22)$$

Бунда γ – тезлик $x=0$ да мувозанат ҳолатидан $u_0 = \text{const}$ тезликка оний ўтиш параметри.

Гидропривод каналида содир этиладиган пульсацияли оқимнинг тезлик ифодаларини топиш учун

$$u(x, y, t) = v_1(x, y, t) - u_0(1 - e^{-\gamma t}) \quad (23)$$

функциясини киритамиз ҳамда вақт бўйича Лаплас, координата бўйича Ханкел алмаштиришларини қўллаб ва топилган ечимга операцион ҳисоб назариясининг ҳақиқий ўзгарувчиларга ўтиш ҳақидаги маълум теоремасини қўллаб гидропривод текис-параллел каналидаги пульсацияли оқимнинг тезлигини қуйидаги функционал боғланишлар орқали аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} v_1(x, r, t) = & \frac{aR^2}{4\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_i}} \right) (1 - r^2) + \frac{b}{\rho\omega} \sin \omega t + \\ & + \frac{2bR^2}{\mu} \sum_i \frac{\lambda^2}{(\lambda^2 + \omega^2)} \left[\cos \omega t - e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_i}} \cos \omega(t - t_1) - \frac{\xi_i^2}{\rho\omega R^2} \times \right. \\ & \left. \times \left(\mu + \frac{\xi_i^2}{\rho\omega R^2} \left(\mu + \frac{m_i \omega^2}{\lambda} \right) \sin \omega t - \frac{\omega}{\lambda} e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_i}} \sin \omega(t - t_1) \right) \right] \frac{J_0(r\xi_i)}{\xi_i^3 J_1(\xi_i)}. \end{aligned} \quad (24)$$

$$rv_2(x, r, t) = -\frac{R^3}{16u_0 m_i} e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_i}} \left\{ (1 - r^2)^2 + 32b \sum_i \frac{\cos \omega \left(t - \frac{\mu x}{u_0 m_i \lambda_i} \right)}{\xi_i^4} \left[1 - \frac{rJ_0(r\xi_i)}{\xi_i^3 J_1(\xi_i)} \right] \right\}. \quad (25)$$

Олинган ечимлар асосида ўтказилган ҳисоблаш амалларининг миқдорий натижалари келтирилган. Уларда бу ечим қувурлардаги эрозияни камайтириш, турли хил суспензияларни транспортировкаси масалари учун катта амалий аҳамиятга эга бўлган Ричардсон эффектини ифодалаб бериши таъкидлаб ўтилган.

Гидропривод текис-параллел каналидаги гидравлик суюқликнинг пульсацияли ҳаракати масаласи ҳам худди шу усулда ечилган.

“Суюқликда электр разряди жараёнини моделлаштириш” тўртинчи бобида гидропривод учун босим манбаи сифатида суюқликдаги электр разряди жараёни кўриб чиқилади. Бу ҳодисани ўрганиш математик моделлаштириш орқали амалга оширилади.

Суюқликдаги электр разряди ҳодисаси ҳисобига ҳосил бўлган плазмали бўшлиқ билан суюқлик орасидаги ҳаракатланувчи чегарани аниқлаш ва белгилаб олиш жараёни натижасида ҳосил бўладиган оқимнинг гидродинамик параметрларини аниқлаш усули ишлаб чиқилган.

Электродлар орасида электр чақнашидан суюқликда пайдо бўлган цилиндрик бўшлиқ катта тезлик билан кенгайиб суюқликни ҳаракатга келтирсин. Суюқлик ҳаракати ушбу тенгламалар системаси билан ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial(r\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} &= 0, \\ \frac{\partial(r\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial[r(P + \rho v^2)]}{\partial r} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Бу система қуйидаги тенглама билан тўлдирилади:

$$P = A(\rho/\rho_0)^\chi - B, \quad (27)$$

ҳамда энергия баланси тенгламасидан фойдаланилади:

$$\frac{d}{dt} \frac{P_a V}{\gamma - 1} + P_a \frac{dV}{dt} = \frac{dE}{dt}, \quad (28)$$

бунда $\chi = 7$, $A = 3,04 \cdot 10^8 \text{ Па}$, $B = A - P_\infty$, $\rho_0 = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $P_\infty = 1,04 \cdot 10^5 \text{ Па}$ – гидростатик босим, dE/dt – ажралиб чиқадиган қувват, V – канал ҳажми; $\gamma = 1,26$ – адиабатанинг эффектив кўрсаткичи.

Бошланғич шартлар ушбу кўринишга эга:

$$P(0, r) = P_\infty, \quad v(0, r) = 0 \quad a_0 \leq r \leq r_b, \quad (29)$$

бунда a_0 – плазмали бўшликнинг бошланғич радиуси яъни суюкликнинг қуйи чегараси ($\approx 0,1-0,15$ мм); r_e – ҳисоблаш зонасининг юқори чегараси. Суюқлик чегарасига ушбу шарт қўйилади:

$$P(t, a) = P_a(t), v(t, a) = \frac{da}{dt}. \quad (30)$$

P_a ни қийматини топиш учун $V = l\pi a^2$ ифодани (28) га қўямиз:

$$a^2 \frac{dP_a}{dt} + 2\gamma a P_a \frac{da}{dt} = \frac{\gamma - 1}{\pi l} \frac{dE}{dt}. \quad (31)$$

Бу тенглама чегара шартини ҳисобга олсак қуйидагича бўлади:

$$a^2 \frac{dP_a}{dt} + 2\gamma a P_a v = \frac{\gamma - 1}{\pi l} \frac{dE}{dt}. \quad (32)$$

Каналга энергия кириши қонунини қуйидаги кўринишда оламиз:

$$E(t) = \left(1,9 \frac{t^2}{\tau_0^2} + 1,3 \frac{t^3}{\tau_0^3} - 2,2 \frac{t^4}{\tau_0^4} \right) E_0, \quad (33)$$

бунда τ_0 – разряд даври; E_0 – каналда тўла ажралиб чиқадиган энергия.

(26), (27) ва (28) тенгламалар бошланғич (29) ва (30) чегара шартлари билан суюқликдаги электр разряди ҳодисасининг аналитик ечимини олиб бўлмайдиган ёпиқ тенгламалар системасини ташкил этади.

Бу масала разряд канали вақт ўтиши билан ўзгариши туфайли ўзгарувчан чегаравий масала ҳисобланади. Агар ушбу

$$\tau = t, \eta = \frac{r - a(t)}{r_b - a(t)}, \quad (34)$$

янги координаталар системасини киритсак, плазмали бўшлиқ чегараси янги киритилган координаталар системасининг ноль қийматига мос келади. Масала ўзгармас чегаравий масалага айланади ва сонли ҳисоблашни 0 дан 1 гача ораликда олиб бориш мумкин.

Масалани сонли усулда ечиш учун Лакс схемасидан фойдаланилган. Натижада суюқлик зичлигини топиш учун узлуксизлик тенгламасидан қуйидаги зичликнинг сеткали тенгламасини олинган:

$$\rho_m^{n+1} = \rho_{m+1}^n \frac{\left(a^n + (m+1)h_x(1-a^n) \right)}{\left(a^{n+1} + mh_x(1-a^{n+1}) \right)} \left(\frac{1}{2} \frac{1-mh_x}{1-a^n} \frac{a^{n+1}-a^n}{2h_x} - \frac{h_t v_{m+1}^n}{2h_x(1-a^n)} \right) + \rho_{m-1}^n \frac{\left(a^n + (m-1)h_x(1-a^n) \right)}{\left(a^{n+1} + mh_x(1-a^{n+1}) \right)} \left(\frac{1}{2} \frac{1-mh_x}{1-a^n} \frac{a^{n+1}-a^n}{2h_x} - \frac{h_t v_{m-1}^n}{2h_x(1-a^n)} \right).$$

Худди шу усулда ҳаракат миқдори ва энергия баланси тенгламаларидан мос равишда суюқликнинг плазмали бўшлиқ ва суюқлик чегарасидаги тезлик ва босими аниқланган. Гидропривод учун босим манбаи сифатида қаралган суюқликда содир этиладиган электр разряди ҳодисасининг цилиндрик ва

сферик тарқалиши модели асосида ўтказилган ҳисоблаш амаллари бу ҳодиса учун асосий кўрсаткичлар бўлиб электродлар орасидаги ҳар бир масофага бериладиган энергия катталиги ва энергиянинг ажралиб чиқиш вақти асосий кўрсаткичлар ҳисобланар экан. Бу катталикларга ҳар хил қийматлар бериб туриб бу ҳодиса асосида ишлатилмоқчи бўлинган ҳар бир қурилма учун зарур режим танлаб олиш имконияти мавжуд эканига амин бўлиш мумкин.

Бешинчи **“Гидроприводнинг мураккаб геометрияга эга бўлган турли қисмларидан суюқликнинг оқиб чиқишини моделлаштириш”** деб номланган бобда гидроприводларнинг ҳар хил кесимга эга бўлган қисм бўлақларидаги каналларда гидродинамик жараёнлар кўриб чиқилган.

Гидроприводларнинг ҳар хил тораийб борадиган, ўзгармас радиусли ва кенгайиб борадиган каналлари учун оқим параметрларини аниқлаш усули ишлаб чиқилган.

Гидропривод каналининг ушбу ҳар бир сегментида суюқликнинг гидродинамик параметрлари учун аналитик ифодалар олинган. Бу сегментлар турли хил тўғри чизиқли қисмлардан иборат.

Параболик кириш, ўртада цилиндрсимон ва гиперболик чиқиш қисмларидан ташкил топган сегментли каналдан оқиб ўтувчи гидравлик суюқликнинг тезлиги ва босимининг аналитик ифодалари ҳам аниқланган. Ушбу ифодалар Навье-Стокс тенгламаси ва массанинг сақланиш тенгламалари ёрдамида олинган.

Суюқлик ҳаракати қуйидаги боғлиқлик билан берилган параболик кириш, ўртада цилиндрсимон ва гиперболик чиқиш қисмларидан ташкил топган сегментли каналда қаралади:

$$R(x) = \begin{cases} ax^2 + c & \delta \leq -\delta_e \\ R_e & -x \leq \delta \leq \delta_e \\ \frac{b}{a} \sqrt{x^2 + a^2} & \delta > \delta_e \end{cases} \quad (35)$$

Гидравлик суюқликнинг гидростатик босим ва ўртача харажат тезликларини топиш учун Навье-Стокс тенгламасининг дивергент кўринишини $2\pi r$ кўпайтириб ва r бўйича 0 дан $R(x)$ гача интегралланган:

$$2\pi \frac{\partial}{\partial x} \int_0^R (\rho u^2 + P) r dr = \frac{\partial Q}{\partial t} + v \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + 2\pi R \tau_R. \quad (36)$$

Бунда Q – суюқлик сарфи; v – кинематик ёпишқоқлиги; u – суюқлик тезлиги; τ_R – уринма кучланиш.

Тезликни унинг ўртача харажат қиймати

$$Q = 2\pi\rho \int_0^R ur dr = \pi R^2 u \rho,$$

билан ифодалаб қуйидаги ифода олинган:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[(\rho U^2 + P) R^2 \right] = -\rho R^2 \frac{\partial U}{\partial t} + \mu \frac{\partial^2 R^2 U}{\partial x^2} + 2R\tau_R. \quad (37)$$

Гидравлик суюқликнинг ҳаракати Пуазейл оқимиға мос келади деб

$$u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu l} (R^2 - r^2), Q = \frac{\pi \Delta P}{8\mu l} R^4 \quad (38)$$

ушбу ифода олинган:

$$u = \frac{2Q}{\pi R^2} (R^2 - r^2). \quad (39)$$

Бундан келиб чиқадики

$$\tau_R = -\frac{4\nu Q}{\pi R^3} \quad (40)$$

ва $Q = \pi \rho R^2 U = \pi \rho R^2 U_-$, эканини ҳисобга олсак, (40) дан қуйидагини оламиз:

$$\frac{\partial P R^2}{\partial x} = -\frac{Q}{\pi} \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{8\nu Q}{\pi R^2}. \quad (41)$$

(40) ни x бўйича x_- дан x гача интеграллаб R канал учун босимни топамиз:

$$P(x) = \rho U \left(U_- - U + 8\nu \int_{x_-}^x \frac{dx}{R^2} \right). \quad (42)$$

Интеграл кўринишдаги $R^2 U = R^2 U_-$ массанинг сақланиш тенгламасидан каналнинг параболик қисми учун ўртача харажат тезлиги формуласи келиб чиқади:

$$U(x) = \left(\frac{R_-}{ax^2 + c} \right)^2 U_-. \quad (43)$$

Каналнинг бу қисмида босимнинг ўзгариши (45) ни $R = ax^2 + c$ учун интеграллаш орқали топилади:

$$\frac{P(x)}{\rho U_-^2} = \left(\frac{R_-}{ax^2 + c} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{R_-}{ax^2 + c} \right)^2 - \frac{4R_-}{c \operatorname{Re}} \left(\frac{x}{ax^2 + c} + \frac{1}{\sqrt{ab}} \operatorname{arctg} \sqrt{a/bx} \right) \right]_{x_-}^x. \quad (44)$$

Кейин каналнинг доимий $R_{жс}$ радиусли қисми бошланиб, унинг кириш кесими учун ушбу шартга эгамиз:

$$U(-x_{жс}) = \left(\frac{R_-}{R_{жс}} \right)^2 U_-.$$

Каналнинг $-x_{жс} \leq x \leq x_{жс}$ қисмида канал кесими ўзгармасдан қолганлиги учун массанинг сақланиш қонунига асосланиб ўртача харажат тезлиги доимий бўлиб қолади:

$$U(x) = \left(\frac{R_-}{R_{жс}} \right)^2 U_-. \quad (45)$$

Каналнинг бу қисмида $R = const$, $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$ ва $Q = \rho U \pi R^2$, ҳаракат тенгламаси оралиқ интегрални қисқариб қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{\partial P}{dx} = -\frac{8\nu Q}{\pi R^4} = -\frac{8\nu \rho U}{R^2}. \quad (46)$$

Бундан қуйидаги боғлиқлик келиб чиқади:

$$P(x) = P(-x_{жс}) - \frac{8\nu \rho U}{R^2} \Big|_{x_{жс}}^x. \quad (47)$$

Цилиндрик канал охири учун қуйидагиларни оламиз:

$$U(x_{жс}) = U(-x_{жс}) = \left(\frac{R_-}{R_{жс}} \right)^2 U_-, \quad (48)$$

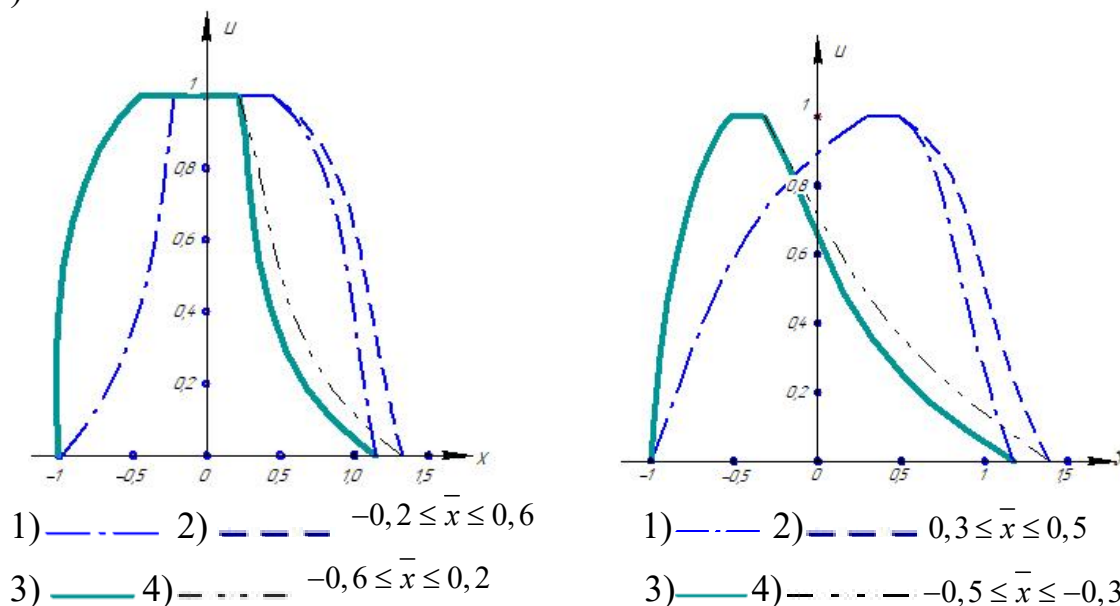
$$P(x_{жс}) = P(-x_{жс}) - \frac{16\rho U_{жс}^2}{\operatorname{Re}_{жс}} \frac{x_{жс}}{R_{жс}}. \quad (49)$$

Гидродинамик параметрларнинг бу қийматлари каналнинг учинчи гиперболик қисми учун бошланғич қийматлар бўлиб ҳисобланади.

Каналнинг гиперболик қисми учун босимнинг ифодасини топиш учун (42) тенгламадан фойдаланиб $R = \frac{b}{a} \sqrt{ab}$ учун $x_{жс}$ дан x гача интеграллаб қуйидагига эга бўламиз:

$$P(x) - P(x_0) = \rho U_-^2 \left[\frac{x^2 L^2}{x^2 + a^2} - 8\nu \frac{a}{b^2} \left(\operatorname{arctg} \frac{x}{a} - \operatorname{arctg} \frac{x_0}{a} \right) \right]. \quad (50)$$

Шундай қилиб, кетма-кет жойлашган параболик, цилиндрик ва гиперболик қисмлардан иборат каналдан оқиб ўтувчи суюқлик масаласининг аналитик ечими олинди. Гидродинамик параметрларнинг оқим каналининг ҳар бир қисми учун аналитик ифодаси олинди. Олинган аналитик ифодалар асосида (4-расм; 1, 3) ва экспериментлар асосида (4-расм; 2, 4) суюқлик тезлигининг канал сегментининг ҳар бир қисмида ўзгариши ўрганилди (4-расм).



4-расм. Тезлик профили.

Босим учун олинган (45) ва интеграл кўринишида олинган массанинг сақланиш тенгламаларидан нафақат параболик, цилиндрик, гиперболик кесимга эга булган, балки ихтиёрий кесимга эга бўлган каналнинг арифметик ифодасини уларга қўйиб гидродинамик параметрларини аниқлаш мумкин.

ХУЛОСА

“Гидроприводлар суюқлик ҳаракатланиш соҳаларидаги ва оқимидаги ўзига хосликлар билан суюқлик ҳаракатини моделлаштириш” диссертациясида олинган натижалар асосида қуйидаги хулосалар келтирилган:

1. Гидроприводларнинг гидравлик суюқлиги оқимидаги молекуляр ва моляр алмашинув доирасидаги ҳақиқий физик жараёнларни ҳисобга олишнинг самарали усули ишлаб чиқилган бўлиб, бу ишчи муҳитнинг паст ва юқори тезлигида объект хусусиятларини ўрганишга имкон беради.

2. Гидроприводларнинг цилиндрсимон каналларида гидравлик суюқликнинг барқарор бўлмаган оқими муаммосининг аналитик ечими, оқимдаги моддаларнинг молекуляр ва моляр алмашинишининг реологик

қонуни асосида олинди, бу эса турбулент оқимдаги Ричардсон эффектининг долзарблигини тасдиқлайди.

3. Гидроприводларнинг текис-параллел ва цилиндрсимон каналларида гидравлик суюқлик оқимининг стационар масаласига аналитик ечим гидродинамик параметрларни 18-20% гача аниқлашнинг аниқлигини оширишга имкон берадиган оқимдаги моддаларнинг молекуляр ва моляр узатилишининг реологик қонуни асосида аниқланди.

4. Гидроприводларнинг даврий ишлашига қўллашга доир, оқимдаги моляр узатишни ҳисобга олган ҳолда текис-параллел ва цилиндрлик пулсацияланувчи суюқлик ҳаракати учун аналитик ечимлар олинди, бу объектнинг энергия ҳолатини етарли даражада тавсифлашга имкон беради.

5. Гидроприводлар учун босим ҳосил қилиш усули сифатида нуқта ва цилиндрсимон манбадан ҳосил бўлган суюқликдаги электр разрядини тавсифловчи математик модел тузилган бўлиб, бу механик энергияни гидроприводлар орқали узатишда истиқболли манбааларни ишлаб чиқиш учун назарий асос бўлиб хизмат қилади.

6. Лакс усули ёрдамида суюқлик ҳаракатининг гидродинамик хусусиятларини аниқлаш учун сонли усул ишлаб чиқилди ва биринчи марта суюқликда электр разрядидан ҳосил бўлган цилиндрсимон ва сферик тарқалиш тўлқинларининг тарқалиши тўғрисидаги янги маълумот асослаб берилди.

7. Гидравлик привод каналларининг торайиб боровчи, доимий радиусли ва кенгайиб боровчи зоналари бўлган сегментли қисмида суюқликнинг гидродинамик параметрларини аниқлаш учун математик модел ишлаб чиқилди. Тадқиқот натижалари гидравлик приводларда суюқлик қуйиш ёки сепиш ва тебранишнинг олдини олиш учун зарур бўлган канал шакллари синтез қилишга имкон беради.

8. Суюқлик оқувчи каналга кетма-кет жойлашган параболик, цилиндрсимон ва гиперболик қисмлардан ташкил топган сегментни ўрнатиш, мажбурий конвекция шароитида оқимнинг гидродинамик хусусиятларини 10-12% га яхшилашга олиб келди. Шу сабабли, энергия сарфи худди шу миқдорга камайди.

9. Қувур тармоқларида турли хил шаклларга эга бўлган сегментни ўрнатиш импульсни узатиш ва суюқлик ташиш масофасини 1,5-1,6 баравар оширди. Шу сабабли, тармоқнинг ишлаш муддатини 1,2-1,3 мартага оширди ва суюқликни бир хил масофага етказиш вақти 1,2-1,3 бараварга камайди.

10. Замонавий гидравлик приводлар ривожланишининг истиқболли йўналишлари ҳисобланувчи суюқликда содир этиладиган электр разряди ҳодисаси асосида ишловчи манбаадаги ёки турли хил алгебраик ифода билан берилган диаметрга эга зоналардан ташкил топган гидроприводлардаги гидродинамик хусусиятларни аниқлаш учун конструктив методологияси ишлаб чиқилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

ХУДЖАЕВ МУХИДДИН КУШШАЕВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ С
ОСОБЕННОСТЯМИ В ПОТОКЕ И В ОБЛАСТИ ДВИЖЕНИЯ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ**

**05.02.02 – «Теория механизмов и машин.
Машиноведение и детали машин.»**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Ташкент – 2020

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистон за №B2020.3.DSc/T371

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу (www.tdtu.uz) и на информационно-образовательном портале “ZiyoNet” по адресу (www.ziynet.uz).

Научный консультант:	Каримов Камолхон Аббосович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Шарипов Конгротбай Авазимбетович доктор технических наук, профессор
	Арифжанов Айбек Мухамеджанович доктор технических наук, профессор
	Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович доктор технических наук, профессор
Ведущая организация:	Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз

Защита диссертации состоится «7» декабря 2020 года в 12-00 часов на заседании совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. Адрес: 100095, г.Ташкент, ул.Университетская, 2, факультет механики, ауд. 3. тел.: (99871)246-46-00, факс: (99871)227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 183). Адрес: 100095, г.Ташкент, ул.Университетская, 2. тел.: (99871)246-03-41.

Автореферат диссертация разослан «1» декабря 2020 года.
(протокол рассылки № 117 от «1» декабря 2020 года)

А.А.Мухиддинов

Заместитель председателя научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Н.Д. Тураходжаев

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

А.А.Ризаев

Заместитель председателя научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Дальнейшее развитие общего машиностроения обусловлено необходимостью проведения глубоких фундаментальных исследований и инновационных разработок с целью решения актуальных научно-технических проблем, создания конкурентоспособных технологий, машин и механизмов для различных отраслей промышленности. Одной из фундаментальных основ для дальнейшего развития машиностроения является активизация исследований по общей теории механизмов и машин.

Результаты фундаментальных исследований по общей теории механизмов и машин заложили основу развития основных направлений отечественного машиностроения в различных отраслях промышленности: авиационно-космической техники, станкостроения, автомобилестроения, энергетике, в том числе атомной, нефтехимической, горно-металлургической, добывающей и других отраслях промышленности. Кроме того, научно обоснованные теоретические результаты имеют непосредственное отношение к развитию отдельных направлений ТММ, в частности применительно к точному машиностроению, прецизионной вибромеханике, приборостроению, робототехнике, вычислительной технике, медицине, космической и специальной технике, машинам вибрационного действия, инновационным технологиям и др.

Международная федерация по теории машин и механизмов (IFToMM) была создана 1969 году с целью налаживания сотрудничества между странами Запада и Востока. Сегодня IFToMM - это авторитетная и мощная научная организация, которая объединяет ученых 48 стран мира и охватывает все направления науки теории машин и механизмов. В настоящее время его основной целью является содействие и расширение международного сотрудничества и практических приложений в области механики и машиноведения. В целом, в решениях Международной Федерации по теории машин и механизмов (IFToMM) подчеркивается, что основными актуальными научными направлениями по теории механизмов и машин являются: механизмы с управляемыми параметрами и связями; динамика машин; вибрации; зубчатые колеса и зубчатые передачи; человеко-машинные системы и роботы; автоматические системы; пневматические и гидравлические системы, а также внешние физические поля для управления машинами; математические, графические и компьютерные приложения для теории механизмов и машин.

В настоящее время в машиностроении и в других областях народного хозяйства с целью конкурентоспособности производимых товаров и оказываемых услуг большое внимание выделяется на повышение требований, предъявляемых к механизмам, машинам и деталям машин в отношении их быстродействия, точности, надежности, экономичности, экологичности. Перспективной работой в этом направлении является

интенсификация глубоких исследований, учитывающая реальных физических процессов при рассмотрении конкретного механизма или деталей машин. В ряде зарубежных стран, таких как Китай, Россия, США, Германия, Япония особое внимание уделяется исследованию гидравлических приводов, как эффективного средства механизации и автоматизации рабочих процессов в машиностроении, которые успешно конкурируют с другими видами приводов машин.

Во всем мире ведутся научно-исследовательские работы, направленные на создание новых решений техники и технологии. В этой связи разработка новых методик изучения работы гидроприводов и происходящих у них гидродинамических процессов с помощью классических законов механики, математики и с привлечением современных информационно-коммуникационных систем является актуальным.

В нашей республике уделяется особое внимание на повышение работоспособности техники и технологии путем модернизации промышленности. При этом учитываются такие показатели как конкурентоспособность, энергосбережение, экология. С этой точки зрения в Стратегии действий по дальнейшему развитию Узбекистана на 2017-2021 годы в том числе, определены задачи "... повышению конкурентоспособности национальной экономики, ... сокращению энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкому внедрению в производство энергосберегающих технологий...". При выполнении данного требования важным считается разработка и внедрение новых технологий, а также усовершенствование существующих на основе глубоких исследований по использованию топливно-энергетических ресурсов.

Исследования, которые проводились в рамках настоящей диссертации послужат реализации задач, определенных Указами Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 "О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан"¹ и в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 от 26 мая 2017 года "О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годах", № ПП-3238 от 23 августа 2017 года "О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий" и № ПП-3379 от 8 ноября 2017 года «О мерах по обеспечению рационального использования энергоресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и

¹ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года "О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан".

технологии республики, которое включено в государственные научно-технические программы фундаментальных исследований по разделу ПФИ-2 "Теории машин и механизмов", а также разделу II. «Энергетика, энерго-ресурсосбережение» и IV. «Математика, механика и информатика».

Обзор международных научных исследований по теме диссертации ². В мире по совершенствованию техники, технологии проводятся исследования, в том числе по следующим приоритетным направлениям: совершенствование механизмов машин, аппаратов и приборов, методологии инновационного проектирования, технологии учитывающих климатические условия, модификация и проектирование механизмов машин с высокой производительностью.

Научные исследования, направленные на создание новых технологий и конструкций технических средств, проводятся в ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях мира, в том числе: Mechanical Engineering University of Michigan, Colifornia Institute of Technology (США), Manchester University (Англия), Ghent University (Бельгия), Kyoto University (Япония), Dortmund Technical University (Германия), University of Piraeus (Греция), Technische Universitat Munchen, University of Birmingham, Mechanical Engineering research Institute, The University of Sheffield (Великбритания), Cornell University, University of Wisconsin-Madison, Continental Eagle Corporation (США), University of Stuttgart, University of Applied Sciences in Mittweida (Германия), China University of Petroleum-Beijing (Китай), Toyohashi University of Technology (Япония), Kaunas University of Technology (Литва), Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса (Литва), Рижский технический университет (Латвия), Институт Машиноведения РАН, Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Санкт-Петербургский политехнический университет (Россия), Белорусский национальный технический университет (Беларусь), Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, Ташкентский государственный технический университет, Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкентский транспортный университет, Наманганский инженерно-строительный институт.

Созданием теоретических и прикладных основ машин и механизмов, в частности гидравлических систем приводов. успешно занимаются в следующих мировых научных центрах и высших учебных заведениях мира: Institut of Mashine Design and Hudraulik Drives (Austria), Purdue University

² Обзор международных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе следующих источников: <https://www.ifw.uni-stuttBart.de/en/>; <https://www.utbm.fr>; <http://www.bmstn.ru>; <http://www.tsu.tula.ru>; <http://www.cvut.cz>; <http://oonferences.ufs.ac.za/>; www.dissercat.com.

(USA), Institute for Fluid Power Drives and Systems (Germany), Centre for Power Transmission & Motion Control (UK), Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана (Россия), Белорусский национальный технический университет (Беларусь), Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, Ташкентский государственный технический университет и др.

Степень изученности проблемы. В развитие теории механизмов и машин большой вклад внесли такие ученые мира, как Adelman N., Bansevichus R., Bergstrasser M., Kiyoshi O., Ragulskis K., Redwood M., Levai Z., Yokoуama Y., Okabe S., по странам СНГ Артоболовский И.И., Бессонов А.П., Блехман И.И., Вульфсон И.И., Вейц В.Б., Вирабов Р.В., Р.Ф. Ганиева, У.А. Джолбасбеков У.А., Фролов И.К., Кожевников С.Н., Крайнев А.Ф., Коловский М.З., Крагельский И.В., Ходжаев К.Ш., Пронин Б.А., Нагаев Р.Ф., Мальцев М.Ф., по Республике Узбекистон Усмонхаджаев Х.Х., Кузибаев Г.С., Зокиров Г.Ш., Рахматкориев Ш.У., Амонов Т.Ю., Туранов Х.Т., Каримов Р.И., Каримов К.А., Садриддинов А.С., Алимухамедов Ш.П., Ризаев А.А., Жураев А.Д., Баходиров Г.А., Мухаммадиев Д.М., Мухамедов Ж.М., Умурзаков А.Х., Кенжабоев Ш.Ш. и многие другие.

В настоящее время по всему миру ведутся исследования по устройству, конструированию, проектированию, расчету, а также происходящих в них гидродинамических процессов и по применению гидроприводов, их агрегатов, как средство механизации и автоматизации в машиностроении. Для изучения гидроприводов и происходящих в них гидродинамических процессов соответственно большой вклад внесли в мире Р.С.Sharma, М.Shoman, J.Parambath, Р.К.Guha, R.T.Balmer, I.Sivaraman, в странах СНГ Абрамов Е.И., Башта Т.М., Беляев Н.М., Гудилин Н.С., Гальдин Н.С. и многие другие ученые Содружества Независимых Государств. Ученые Узбекистана Лебедев О.В., Шарипов К.А., Шермухамедов А.А., Аннакулова Г.К. тоже соответственно внесли свой вклад исследованию гидроприводов.

Исследование гидроприводов тесно связано изучением происходящих в них гидродинамических процессов. Этой науке в мире посвящены книги Р.С.Drazin, W.H.Ried, R.Wengeler, F.Charru, J.Ozonek, J.A.Sparenberg. В СНГ этой наукой занимались Лойцянский Л.Г., Попов Д.Н., Слезкин Н.А., Струминский В.В., Тарг С.М., в Узбекистане Файзуллаев Д.Ф., Латипов К.Ш., Умаров А.И., Бегматов А.Б., Хамидов А.А., Хужаев И.К., Арифжанов А.М., Маликов З.М. и многие другие ученые.

Несмотря на наличие многочисленных работ по проектированию и моделированию существующих и перспективных гидроприводов и происходящих гидродинамических в них процессов, не достаточно

исследованы вопросы улучшения их работы путем изучения новыми реологическими законами, учитывающих реальные физические процессы. Фактически во всех работах проектирования и моделирования существующих и перспективных гидроприводов исследования ведутся без учета скоростных режимов их работы. В связи с этим разработка новых обобщенных закономерностей гидродинамических процессов в гидроприводах, которые являются основным показателем получения нужных силовых нагрузок и для существующих и перспективных источников их энергии с точки зрения энергосбережения.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках плана исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета: “Создание теоретических основ механических систем и механизмов и разработка нового поколения их конструкций”.

Целью исследования является развитие существующих и разработка теоретических основ моделирования гидродинамических процессов гидроприводов машин и определение форму переходных участков в каналах гидроприводов и в других объектах протекания жидких средств с целью улучшения параметров течения, приводящий к энергосбережению.

Задачи исследования:

анализ современных методов исследования гидродинамических процессов при совершенствовании гидроприводов машин и изучение существующих математических моделей гидродинамики гидравлических жидкостей гидравлических приводов;

разработка эффективного метода исследования и создание математической модели гидродинамических процессов в каналах длиннотрубопроводных гидроприводов с учетом реальных физических процессов обмена импульсом в потоке гидравлических жидкостей гидроприводов машин при малых и больших скоростей жидкости;

решения нестационарных и стационарных задач течения гидравлической жидкости в плоскопараллельных и цилиндрических каналах гидроприводов реологическим законом одиночного и группового переноса молекул между слоями в потоке;

разработка математической модели процесса распространения сферического и цилиндрического канала, образованного электрическим разрядом в жидкости, как способа образования давления в перспективных гидроприводах;

разработка способа определения гидродинамических параметров гидравлической жидкости и предложить конструкцию сегментного участка в канале течения жидкости с сужающимся входным, средним с постоянным радиусом и расширяющейся выходной частей с целью улучшения гидродинамических параметров течения.

Объектом исследования является гидравлический привод, который имеет несколько преимуществ по сравнению с другими приводами и является средством автоматизации и механизации в различных отраслях промышленности, в том числе в машиностроении.

Предметом исследования является процесс течения рабочей жидкости в каналах гидроприводов различного сечения с учетом молекулярного и молярного переноса количества движения при нестационарном и стационарном режимах работы; динамика жидкости, движение которой вызвано электрическим разрядом, как способ образования давления в гидроприводах; движение рабочей жидкости в каналах гидроприводов с различной геометрией.

Методы исследования. В процессе исследований использованы методы математического моделирования, теоретической и технической гидромеханики, теории дифференциальных уравнений в частных производных, теории операционных исчислений, численного моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана конструкция сегментного участка цилиндрического канала течения жидкости;

разработана математическая модель определения давления жидкости в сегментном участке;

разработан сегментный участок канала, состоящий из параболического входного, цилиндрического среднего и гиперболического выходного частей;

параметры точек изгибов и рукавов а также мест установления сегментных участков в каналах трубопроводов отопительных и поливных систем;

разработана конструкция переходного устройства в гидроприводах сельхозтехники;

создана математическая модель гидродинамических процессов в каналах гидроприводов с учетом реальных физических процессов при малых и больших скоростях рабочей жидкости;

получено аналитическое решение нестационарной модельной задачи процесса движения рабочей жидкости в цилиндрических каналах гидроприводов с реологическим законом одиночного и группового переноса молекул между слоями в потоке;

получены аналитические решения стационарных задач определения гидродинамических параметров в плоскопараллельных и круглых каналах длиннотрубопроводных гидроприводов с учетом молекулярного и молярного переноса количества движения в потоке;

получены аналитические решения пульсирующего движения рабочей жидкости в плоскопараллельных и круглых каналах гидропривода при периодическом режиме работы;

разработана математическая модель динамики электрического разряда в жидкости, как способ образования давления в перспективных гидроприводах и проведены вычислительные эксперименты по определению

гидродинамических параметров потока при цилиндрическом и сферическом расширении канала, образованного разрядным процессом.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

в результате внедрения конструкции сегментного участка для цилиндрического канала течения жидкости скорость жидкости увеличилась на 18-20 %;

в результате применения разработанной математической модели определения давления жидкости в сегментном участке и полученных обобщенных закономерностей по определению гидродинамических характеристик потока жидкости точность определения давления повышалась на 10-12%;

в результате внедрения конструкции сегментного участка в канале течения жидкости, состоящей из параболического входного, цилиндрического среднего и гиперболического выходного участка срок службы увеличилась на 1,2-1,3 раза;

разработка параметров точек изгибов и рукавов а также мест установления сегментных участков в каналах трубопроводов течения жидкости привело к увеличению расстояния подачи жидких средств в 1,5-1,6 раза;

в результате внедрения конструкции переходного устройства в гидроприводах сельхозтехники время передачи передаваемых нагрузок уменьшилось на 1,2-1,3 раза.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов исследований подтверждается на их обоснованности классическим законам физики, математическим моделированием и способом их решений с применением положений теории дифференциальных уравнений, теории операционных исчислений, численного моделирования и положительными результатами вычислительных экспериментов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в том, что впервые получены аналитические решения задач течения рабочей жидкости в каналах длиннотрубопроводного гидропривода при стационарном и нестационарном режимах работы с реологическим законом совместного учета молекулярного и молярного переноса. Получены аналитические выражения определения гидродинамических параметров жидкости в каналах гидроприводов с различной геометрией и создана математическая модель электрического разряда в жидкости. Все эти результаты дополняют возможностей применения гидродинамики и математики к различным практически важным задачам техники и технологии машиностроения.

Практическая значимость полученных результатов исследований определяется их применением при расчете гидравлических систем приводов, а также трубопроводного транспорта, при разработке новых технологий в химической и пищевой промышленности, пневматических конвейеров, для

динамических расчетов и при создании компактных гидроприводов, компрессоров и других аппаратов с использованием электроразрядного эффекта и при выборе их рациональных параметров.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по моделированию движения жидкости в каналах гидроприводов и других объектов течения с различными сечениями и с разными сегментными участками получены:

конструкция сегментного участка в цилиндрическом трубопроводе канале течения жидкости. В результате внедрения сегмента участка канала в трубопроводах скорость потока увеличилась на 18-20% (Справка Государственного комитета лесного хозяйства Республики Узбекистан 29 августа 2020 года № 05/21-2346);

разработана математическая модель определения давления жидкости в сегментном участке. В результате применения полученных обобщенных закономерностей по определению гидродинамических характеристик потока жидкости точность определения давления повышалась на 10-12% (Справка Государственного комитета лесного хозяйства Республики Узбекистан 29 августа 2020 года № 05/21-2346);

конструкция сегментного участка, состоящая из параболического входного, цилиндрического среднего и гиперболического выходного участков. В результате внедрения увеличилось расстояние подачи жидких средств в 1,5-1,6 раза (Справка Государственного комитета лесного хозяйства Республики Узбекистан 29 августа 2020 года № 05/21-2346);

параметры точек изгибов и рукавов, а также мест установления сегментных участков в каналах трубопроводов отпительных и поливных систем. В результате внедрения увеличилось расстояние подачи жидких средств в 1,5-1,6 раза (Справка Государственного комитета лесного хозяйства Республики Узбекистан от 29 августа 2020 года № 05/21-2346);

конструкция переходного устройства в гидроприводах сельхозтехники. В результате внедрения время передачи силовых усилий уменьшилось на 1,2-1,3 раза (Справка Государственного комитета лесного хозяйства Республики Узбекистан от 29 августа 2020 года № 05/21-2346).

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования были доложены на 10 научно-технических конференциях, в том числе 3 международных (в том числе в Китайской Народной Республике) и 7 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 22 научных работ, в том числе 10 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций (DSc). Из них 4 в журналах Республики, 2 в журнале базы Skopus (JournalofPhusics), 4 в журнале базы Clarivate Analytics (ISJ Theoretical & Applied Science, Philadelphia, USA).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из

введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 156 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность темы диссертации, сформулирован объект и предмет исследования, приведены соответствия важным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, изложены научная новизна и результаты исследований, теоретическое и практическое значение полученных результатов, сведения по опубликованным работам и структура диссертации.

В первой главе «**Основные уравнения и разработка математической модели движения жидкости в гидравлических приводах**» приведены аналитический обзор литературных источников по теме диссертации и поставлена цель исследований. Обосновано, что при конструировании и расчете гидроприводов машин, существующие методы определения гидродинамических параметров рабочих жидкостей не учитывают специфические особенности: недостаточность использования классических методов механики жидкости и газа, не учитываются ряд факторов при составлении математических моделей технологического процесса, в частности скоростные характеристики и разнообразность формы каналов с различной геометрией.

На основе изучения и анализа известных классических работ сформулирован реологический закон учета реальных физических процессов в потоке канала гидроприводов, пополняющий большой пробел в области этих исследований. Выведено основное уравнение движения рабочей жидкости на основе реологического закона учета молекулярного и молярного переноса импульса в потоке длиннотрубопроводных гидроприводов. При совместном учете двух механизмов переноса субстанций в уравнениях Навье-Стокса, которые являются основными уравнениями движения жидкости и считаются дифференциальными уравнениями второго порядка, образуются члены с производной третьего порядка.

Решена одномерная задача течения рабочей жидкости в круглой трубе гидравлических приводов. Получено аналитическое решение выведенных дифференциальных уравнений в частных производных с последовательным применением преобразования Лапласа по времени и координате.

Уравнение движения жидкости в цилиндрическом канале гидропривода для выбранного реологического закона в предположениях $v_1 = v_1(x_2, t)$, $v_2 = const$, $dp/dx_1 = N = const$ имеет следующий вид:

$$m_1 \left(\frac{\partial^3 v_1}{\partial t \partial x_2^2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial t \partial x_2} \right) + m_1 v_2 \left(\frac{\partial^3 v_1}{\partial x_2^2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) = N. \quad (1)$$

Уравнение (1) решается следующими начальными и граничными условиями:

$$\left. \begin{aligned} v_1 = 0, \quad \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \quad \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} = 0 \quad \text{при } t = 0, \\ \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \quad v_1 < \infty \quad \text{при } x_1 = 0, \\ v_1 = 0 \quad \text{при } x_1 = R. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь v – скорость потока, p – давление, ρ – плотность жидкости, μ – динамическая вязкость жидкости; m_l – коэффициент молярного переноса, t – время, R – радиус цилиндрического канала.

С целью определения скорости жидкости в каналах гидропривода произведем видоизменение в уравнении (1):

$$m_l \frac{1}{x_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(x_2 \frac{\partial^2 v_1}{\partial t \partial x_2} \right) + m_l v_2 \frac{1}{x_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(x_2 \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} \right) + \mu \frac{1}{x_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(x_2 \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) = N. \quad (3)$$

Умножим обе части уравнения (3) на x_2 и интегрируем полученного уравнения по x_2 . Применяя эту процедуру вторично, приходим к уравнению

$$\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{1}{x_2} \frac{\partial v_1}{\partial t} + \frac{\mu}{m_l v_2} v_1 = \frac{N x_2^2}{4 m_l v_2} + \frac{c_1}{m_l v_2} \ln x_2 + \frac{c_2}{m_l v_2}. \quad (4)$$

Применяя преобразование Лапласа по времени и переходя к оригиналу имеем:

$$\begin{aligned} v_1(t, x_2) = & \frac{dp}{dx_1} \frac{1}{4\mu} \left\{ (x_2^2 - R) \left(1 - e^{-\frac{\mu}{m_l} t} \right) - \right. \\ & - 2(x_2 - R) v_2 \frac{m_l}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu}{m_l} t} - t \frac{\mu}{m_l} e^{-\frac{\mu}{m_l} t} \right) + \\ & + 2v_2^2 e^{-\frac{\mu x_2}{m_l v_2}} \left[e^{-\frac{\mu}{m_l} t} \left(\frac{t^2}{2} + \frac{t^2}{2} \frac{\mu x_2}{m_l v_2} + t \frac{m_l}{\mu} + \frac{m_l^2}{\mu^2} \right) - \frac{m_l^2}{\mu^2} \right] - \\ & \left. - 2v_2^2 e^{-\frac{\mu x_2}{m_l v_2}} \left[e^{-\frac{\mu}{m_l} t} \left(\frac{t^2}{2} + \frac{t^2}{2} \frac{\mu R}{m_l v_2} + t \frac{m_l}{\mu} + \frac{m_l^2}{\mu^2} \right) - \frac{m_l^2}{\mu^2} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Полученная функция (5) является общим решением уравнения (1) и определяет скорость жидкости в цилиндрическом канале. При $t \rightarrow \infty$ получим стационарное выражение скорости:

$$v_1 = \frac{dp}{dx_1} \frac{1}{4\mu} \left[(x_2^2 - R) - 2(x_2 - R)v_2 \frac{m_1}{\mu} + 2v_2^2 \frac{m_1^2}{\mu^2} \left(e^{-\frac{\mu R}{m_1 v_2}} - e^{-\frac{\mu x_2}{m_1 v_2}} \right) \right]. \quad (6)$$

Проведены вычислительные эксперименты по полученному аналитическому решению модельной задачи течения жидкости в круглой трубе для выбранного реологического закона. Они показали, что по мере увеличения коэффициента молярного переноса количества движения, область максимальных скоростей перемещается от середины трубы к периферийной области. Уменьшение скорости на оси потока, по мнению автора, связано с возрастанием молярной силы внутреннего трения (рис. 1).

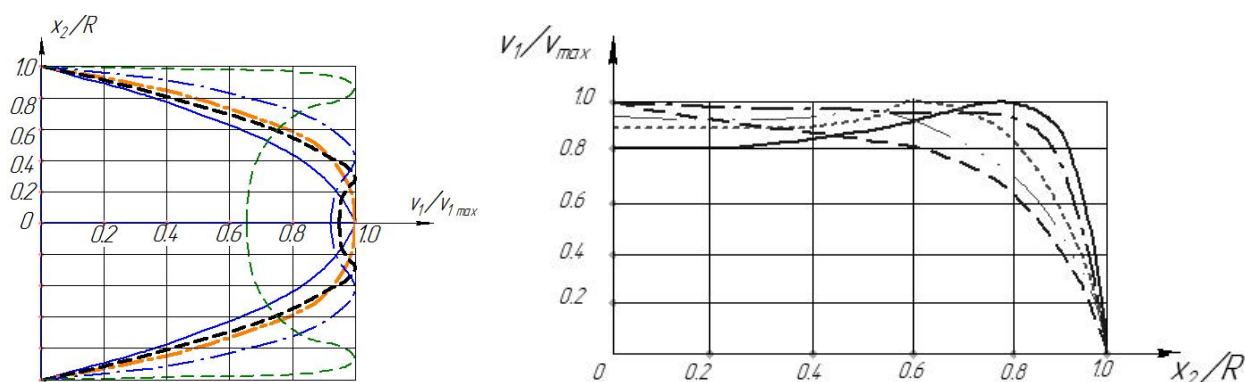


Рис. 1. Профиль скорости.

Выявлена состоятельность выбранной реологической модели для описания гидродинамических процессов в гидроприводах при малых и при больших скоростных режимах работы.

Во второй главе «**Стационарное движение жидкости в плоской и круглой трубах гидроприводов**» приведены исследования стационарного режима работы гидроприводов. Рассмотрены течения рабочей жидкости в плоскопараллельных и цилиндрических каналах длиннотрубопроводных гидроприводов. Аналитические решения сформулированных двух этих задач для выбранного реологического закона, решены применением преобразования Лапласа и теоремы Эфроса из теории операционных исчислений. Представлены количественные результаты вычислительных экспериментов.

Уравнение движения жидкости по выбранному реологическому закону для плоскопараллельного канала (рис. 3) имеет следующий вид

$$\begin{cases} \rho v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \rho v_2 \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = -\frac{dp}{dx_1} + \mu \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} + m_l \left(v_1 \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2 \partial x_1} + v_2 \frac{\partial^3 v_1}{\partial x_2^3} + \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_1 \partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x_2^2} \right), \\ \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Введем новые переменные

$$v_x = \frac{v_1 - u_0}{u_0}, \quad v_y = \frac{v_2}{u_0}, \quad P = \frac{p - p_0}{\rho u_0^2}, \quad x = \frac{x_1}{h}, \quad y = \frac{x_2}{h}, \quad (8)$$

где p_0 – начальное давление; $2h$ – расстояние между двумя неограниченными в одном направлении горизонтальными плоскостями; v_x , v_y , P – малые величины, в начальном сечении обращающиеся в нуль.

Пренебрегая малыми величинами второго порядка, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} - \text{Re} \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{dP}{dx} \right) + a \frac{\partial v_x^3}{\partial y^2 \partial x} = 0, \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Здесь $\text{Re} = \frac{hu_0}{\nu}$ – число Рейнольдса, $a = \frac{m_l \text{Re}}{\rho h^2}$ – число молярного переноса. Граничные условия этой задачи имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} v_x = 0, \quad P = 0 \quad \text{при} \quad x = 0, \\ \frac{\partial v_x}{\partial y} = 0, \quad v_y = 0, \quad |v_x| < \infty \quad \text{при} \quad y = 0, \\ v_x = -1, \quad v_y = 0 \quad \text{при} \quad x > 0 \quad \text{и} \quad y = \pm 1. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

С целью решения уравнения движения жидкости в плоскопараллельном канале к полученным уравнениям и граничным условиям применяем преобразование Лапласа и при переходе к оригиналу от изображения воспользуемся теоремой Эфроса из теории операционных исчислений и определяем:

$$\frac{p_0 - p}{\rho u_0^2} = \frac{3}{\rho h^2} \left(m_l + \frac{x_1 \mu}{u_0} \right) + \frac{1}{5} - 2\rho h^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp \left[\frac{x_1 \mu \xi_n^2}{u_0 (m_l \xi_n^2 + \rho h^2)} \right]}{\xi_n^2 (m_l \xi_n^2 + \rho h^2)}, \quad (11)$$

$$\frac{v_1}{u_0} = \frac{3}{2} \left[1 - \left(\frac{x_2}{h} \right)^2 \right] + 2\rho h \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \left(\xi_n \frac{x_2}{h} \right) - \cos \xi_n}{\xi_n^2 (m_l \xi_n^2 + \rho h^2) \cos \xi_n} \exp \left(-\frac{x_1 \mu \xi_n^2}{u_0 (m_l \xi_n^2 + \rho h^2)} \right), \quad (12)$$

Полученные формулы (11) и (12) являются решением задачи течения жидкости в плоскопараллельной трубе по реологическому закону

молекулярного и молярного переноса в потоке. При $m_l = 0$ совпадают с результатами, при рассмотрении С.М.Таргом вопроса развития линейного профиля скоростей в плоской трубе. При $x_1 \rightarrow \infty$ видно, что это решение дает параболический режим течения, а из (11) следует

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x_1} \right)_{x_1 \rightarrow \infty} = \frac{3u_0\mu}{h^2}.$$

Приведены картины по образованию ядра (рис. 2) в потоке и сравнение результатов расчета по полученному решению с экспериментальными данными Никурадзе и с теоретическими результатами Струминского (рис. 3.).

Таким же способом, как и в предыдущей задаче, получено аналитическое решение задачи течения жидкости в цилиндрических каналах гидроприводов:

$$\frac{p - p_0}{\rho u_0^2} = -\frac{8\nu x_1}{u_0 R^2} - \frac{8m_l}{\rho R^2} - 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k^2 m_l + \rho R^2 [1 - \exp(-\frac{\rho \nu x_1 \beta_k^2}{u_0(m_l + \rho R)})]}{\beta_k^2 (m_l \beta_k^2 + \rho R^2)}. \quad (13)$$

$$\frac{v_1 - u_0}{u_0} = 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k^2 m_l + \rho R^2 [1 - \exp(-\frac{\rho \nu x_1 \beta_k^2}{u_0(m_l + \rho R)})]}{\beta_k^2 (m_l \beta_k^2 + \rho R^2)} \left(1 - \frac{J_0(\frac{x_2}{R} \beta_k)}{J_0(\beta_k)} \right) +$$

$$+ 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\mu_k^2 m_l + \rho R^2 [1 - \exp(-\frac{\rho \nu x_1 \mu_k^2}{u_0(m_l + \rho R)})] [2J_1(\mu_k) - \mu_k J_2(\mu_k)]}{\mu_k^2 (m_l \mu_k^2 + \rho R^2) J_1(\mu_k) J_2(\mu_k)} J_0(\mu_k \frac{x_2}{R}). \quad (14)$$

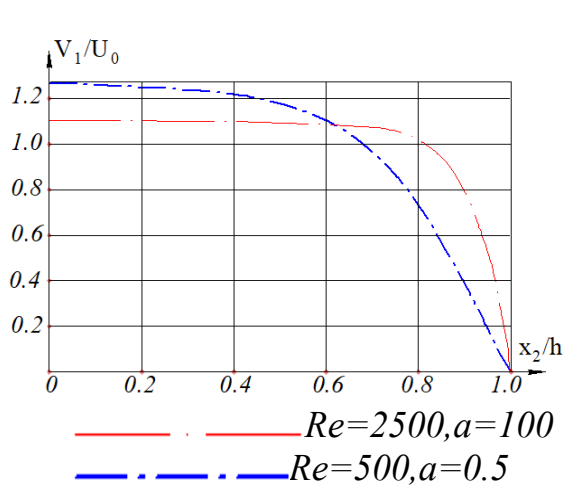


Рис. 2. Профили скорости на расстояний $20h$.

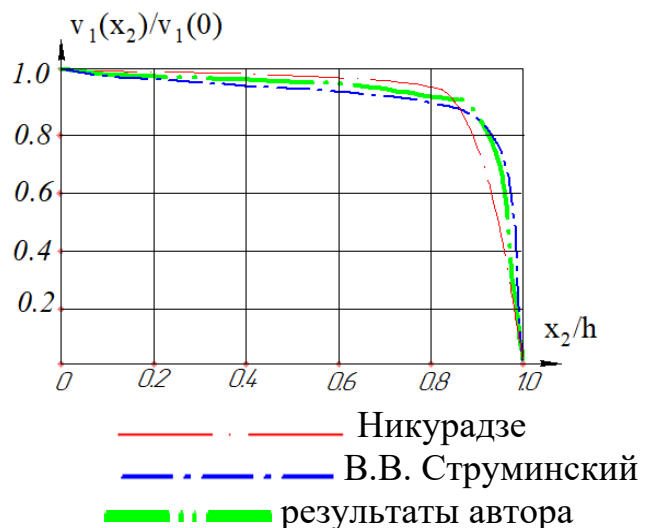


Рис. 3. Изменение $v_1(x_2)/v_1(0)$ при $Re=12500, a=500$.

Полученные формулы (13) и (14) определяют давлению и скорость жидкости в цилиндрической трубе по реологическому закону молекулярного и молярного переноса в потоке. При $m_l = 0$ эти решения являются решением задачи ламинарного течения жидкости в цилиндрических каналах, рассмотренной С.М.Таргом, но по каким-то причинам не доведенного до конца.

В третьей главе по теме «**Моделирование пульсирующего движения жидкости в гидравлических приводах с учетом молекулярного и молярного переносов в потоке**» рассмотрен периодический режим работы гидроприводов. Нестационарное пульсирующее течение исследовано для плоских и круглых каналов гидроприводов.

Рассмотрено пульсационное движение гидравлической жидкости в каналах гидроприводов. Уравнение движения жидкости для реологического закона молекулярного и молярного переноса в этом случае потоке имеет вид:

$$\frac{\partial v_1}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial v_1}{\partial y} \right) + m_l \left[\frac{\partial^3 v_1}{\partial t \partial x^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial^2 v_1}{\partial t \partial y} + v_1 \left(\frac{\partial^3 v_1}{\partial x \partial y^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial^2 v_1}{\partial x \partial y} \right) \right]. \quad (15)$$

Компонента скорости v_2 связана с v_1 следующим уравнением:

$$\frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial (y v_2)}{\partial y} = 0 \quad (x > 0, y > 0, t > 0). \quad (16)$$

Изменение давления опреляется в виде:

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = a + b \cos \omega t \quad (t > 0, a, b, \omega = const). \quad (17)$$

Уравнения (15) и (16) имеют следующие начальные и граничные условия:

$$v_1(x, y, 0) = \frac{\partial v_1}{\partial y} \Big|_{t=0} = \frac{\partial^2 v_1}{\partial y^2} \Big|_{t=0} = 0 \quad (x \geq 0, y \geq 0). \quad (18)$$

$$v_1(0, y, t) = u_0 (1 - e^{-\gamma t}); \quad \frac{\partial v_1}{\partial y} \Big|_{x=0} = \frac{\partial^2 v_1}{\partial y^2} \Big|_{x=0} = 0 \quad (y > 0, t > 0), \quad (19)$$

$$\frac{\partial v_1(x, 0, t)}{\partial y} = v_2(x, 0, t) = 0 \quad (x > 0, t > 0), \quad (20)$$

$$v_1(x, R, t) = v_2(x, R, t) = 0 \quad (x > 0, t > 0), \quad (21)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} v_1(x, y, t) = \omega = const. \quad (22)$$

Здесь γ – параметр перехода скорости при $x=0$ от состояния покоя к значению $u_0 = const$.

С целью определения выражения скорости жидкости при пульсационном течении потока в канале гидропривода введем функцию

$$u(x, y, t) = v_1(x, y, t) - u_0(1 - e^{-\gamma t}) \quad (23)$$

и полученным уравнениям и условиям применяя преобразования Лапласа и Ханкеля последовательно по времени и координате и производя обратное преобразование, находим выражения для составляющих скорости пульсационного течения потока в канале гидропривода:

$$\begin{aligned} v_1(x, r, t) = & \frac{aR^2}{4\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_l}} \right) (1 - r^2) + \frac{b}{\rho\omega} \sin \omega t + \\ & + \frac{2bR^2}{\mu} \sum_i \frac{\lambda^2}{(\lambda^2 + \omega^2)} \left[\cos \omega t - e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_l}} \cos \omega(t - t_1) - \frac{\xi_i^2}{\rho\omega R^2} \times \right. \\ & \times \left. \left(\mu + \frac{\xi_i^2}{\rho\omega R^2} \left(\mu + \frac{m_l \omega^2}{\lambda} \right) \sin \omega t - \frac{\omega}{\lambda} e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_l}} \sin \omega(t - t_1) \right) \right] \frac{J_0(r\xi_i)}{\xi_i^3 J_1(\xi_i)}. \quad (24) \\ rv_2(x, r, t) = & -\frac{R^3}{16u_0 m_l} e^{-\frac{\mu x}{u_0 m_l}} \left\{ (1 - r^2)^2 + 32b \sum_i \frac{\cos \omega \left(t - \frac{\mu x}{u_0 m_l \lambda_i} \right)}{\xi_i^4} \left[1 - \frac{rJ_0(r\xi_i)}{\xi_i^3 J_1(\xi_i)} \right] \right\}. \quad (25) \end{aligned}$$

Анализ полученных результатов показали, что аналитические выражения скоростей описывают аннулярный эффект Ричардсона, который имеет большое прикладное значение при уменьшении гидроэрозии в трубах, транспортировке суспензий, запылённых газов и других веществ.

Приведены количественные результаты расчетов, в частности профили скоростей по полученным решениям.

В четвертой главе «**Моделирование процесса электрического разряда в жидкости**» процесс электрического разряда в жидкости исследуется как источник давления для гидравлических приводов.

Произведено математическое моделирование процесса электрического разряда в жидкости. Разработан способ установления подвижной границы электрического разряда в жидкости и определения гидродинамических характеристик потока, образованного разрядным процессом. Во избежание применения подвижной сетки, опирающейся на границе канала разряда, сделан переход к другим переменным, в которых подвижная граница будет соответствовать началу координаты.

Рассмотрим цилиндрическую модель. Пусть цилиндрическая полость, образуемая в жидкости в результате пробоя межэлектродного пространства, расширяется с большой скоростью и приведет в движение

жидкость. Движение жидкости описывается системой нестационарных уравнений в консервативной форме:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial(r\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} &= 0, \\ \frac{\partial(r\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial[r(P + \rho v^2)]}{\partial r} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Систему уравнений пополняем уравнением состояния в форме Тэта:

$$P = A(\rho/\rho_0)^\chi - B, \quad (27)$$

и воспользуемся уравнением баланса энергии:

$$\frac{d}{dt} \frac{P_a V}{\gamma - 1} + P_a \frac{dV}{dt} = \frac{dE}{dt}, \quad (28)$$

здесь $\chi = 7$, $A = 3,04 \cdot 10^8 \text{ Па}$, $B = A - P_\infty$, $\rho_0 = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $P_\infty = 1,04 \cdot 10^5 \text{ Па}$ – гидростатическое давление, dE/dt – выделяемая энергия, V – объем канала; $\gamma = 1,26$ – эффективный показатель адиабаты.

Начальные и граничные условия имеют следующий вид:

$$P(0, r) = P_\infty, \quad v(0, r) = 0 \quad \text{при} \quad a_0 \leq r \leq r_b, \quad (29)$$

$$P(t, a) = P_a(t), \quad v(t, a) = \frac{da}{dt}. \quad (30)$$

Здесь a_0 – начальный радиус плазменной полости или нижняя граница жидкости ($\approx 0,1-0,15$ мм); r_b – верхняя граница расчетной области. Чтобы определить значение P_a подставим в (28) выражение $V = \pi a^2 l$:

$$a^2 \frac{dP_a}{dt} + 2\gamma a P_a \frac{da}{dt} = \frac{\gamma - 1}{\pi l} \frac{dE}{dt}. \quad (31)$$

Это уравнение с учетом граничного условия принимает следующий вид:

$$a^2 \frac{dP_a}{dt} + 2\gamma a P_a v = \frac{\gamma - 1}{\pi l} \frac{dE}{dt}. \quad (32)$$

Закон ввода энергии в канал берем в виде:

$$E(t) = \left(1,9 \frac{t^2}{\tau_0^2} + 1,3 \frac{t^3}{\tau_0^3} - 2,2 \frac{t^4}{\tau_0^4} \right) E_0, \quad (33)$$

Здесь τ_0 – время разряда; E_0 – полная энергия, выделяемая в канале.

Уравнения (26), (27) и (28) с начальными (29) и граничными (30) условиями представляют замкнутую систему уравнений электрического разряда в жидкости и аналитическому решению не поддаются.

Эта задача является задачей с подвижной границей из-за изменения канала разряда со временем. Если ввести новую систему

$$\tau = t, \eta = \frac{r - a(t)}{r_b - a(t)}, \quad (34)$$

где граница полости соответствует нулевому значению вновь введенной координаты η , а верхняя граница соответствует $\eta=1$, то задача становится задачей с неподвижной границей.

Для решения задачи воспользуемся схемой Лакса. В результате для определения плотности жидкости во внутренних точках расчетной области из уравнения неразрывности получим сеточное уравнение плотности

$$\rho_m^{n+1} = \rho_{m+1}^n \frac{(a^n + (m+1)h_x(1-a^n))}{(a^{n+1} + mh_x(1-a^{n+1}))} \left(\frac{1}{2} \frac{1-mh_x}{1-a^n} \frac{a^{n+1}-a^n}{2h_x} - \frac{h_t v_{m+1}^n}{2h_x(1-a^n)} \right) + \rho_{m-1}^n \frac{(a^n + (m-1)h_x(1-a^n))}{(a^{n+1} + mh_x(1-a^{n+1}))} \left(\frac{1}{2} \frac{1-mh_x}{1-a^n} \frac{a^{n+1}-a^n}{2h_x} - \frac{h_t v_{m-1}^n}{2h_x(1-a^n)} \right).$$

Таким же образом из уравнений количества движения и баланса энергии в канале разряда соответственно определяются скорость жидкости и давление между полостью и границы жидкости.

Проведенные расчеты по электрическому разряду в жидкости для цилиндрических и сферических случаев рассмотренного как источник давления для гидравлических приводов показали, что основными параметрами этого процесса являются значения энергии, подведенной к единице межэлектродного расстояния и времени выделения энергии. При разработке различных устройств, основанных на явлении электрического разряда в жидкости, варьируя этими величинами можно выбрать режим, при котором получаются рациональные характеристики для принятой конструкции.

В пятой главе «**Моделирование истечения жидкости из различных участков гидравлического привода со сложной геометрией**» рассмотрены гидродинамические процессы в каналах и переходных участках гидравлических приводов с различной геометрией.

Разработана методика определения параметров течения для каждой области канала, где существует сужающиеся, с постоянным радиусом и расширяющиеся области каналов гидроприводов.

Получены аналитические выражения гидродинамических параметров рабочей жидкости во всех трех сегментах канала гидропривода, которая состоит из разных прямолинейных кривых.

Определены значения скорости и давления рабочей жидкости в канале течения, который состоит из параболического входного, среднего цилиндрического и гиперболического выходного участков.

Движение жидкости рассматривается в канале, состоящего из параболической входной, средней цилиндрической и гиперболической выходной участки, определяющийся по зависимости

$$R(x) = \begin{cases} ax^2 + c & \text{при } x \leq -x_{жс} \\ R_{жс} & \text{при } -x \leq x \leq x_{жс} \\ \frac{b}{a} \sqrt{x^2 + a^2} & \text{при } x > x_{жс} \end{cases} \quad (35)$$

Динамические изменения гидростатического давления и среднерасходной скорости в элементарном участке сегмента горизонтального трубопровода описывали уравнением движения жидкости Навье-Стокса в дивергентной форме. Умножив его на $2\pi r$ и интегрируя по r от 0 до $R(x)$ можно получить:

$$2\pi \frac{\partial}{\partial x} \int_0^R (\rho u^2 + P) r dr = \frac{\partial Q}{\partial t} + \nu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + 2\pi R \tau_R. \quad (36)$$

Здесь u – продольная составляющая скорости; P – давление; ρ , ν – плотность и кинематическая вязкость жидкости; Q – расход жидкости; τ_R – касательное напряжение.

Заменив скорость u на ее среднерасходное значение:

$$Q = 2\pi r \int_0^R u r dr = \pi R^2 u_r,$$

из (38) получим:

$$\frac{\partial}{\partial x} [(\rho U^2 + P) R^2] = -\rho R^2 \frac{\partial U}{\partial t} + \mu \frac{\partial^2 R^2 U}{\partial x^2} + 2R \tau_R. \quad (37)$$

Предполагая, что движение соответствует пуазейлово течению

$$u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu l} (R^2 - r^2), \quad Q = \frac{\pi \Delta P}{8\mu l} R^4, \quad (38)$$

получим:

$$u = \frac{2Q}{\pi R^2} (R^2 - r^2). \quad (39)$$

Отсюда следует

$$\tau_R = -\frac{4\nu Q}{\pi R^3} \quad (40)$$

Учитывая, что $Q = \pi R^2 U = \pi R^2 U$, из (40) можно получить:

$$\frac{\partial PR^2}{\partial x} = -\frac{Q}{\pi} \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{8\nu Q}{\pi R^2}. \quad (41)$$

Интегрируя (44) по x от x_- до x , определяем давление для канала R :

$$P(x) = \rho U \left(U_- - U + 8\nu \int_{x_-}^x \frac{dx}{R^2} \right). \quad (42)$$

Из уравнения сохранения массы, приведенной в интегральной форме $R^2 U = R_-^2 U_-$, следует формула для определения среднерасходной скорости во входном параболическом участке канала:

$$U(x) = \left(\frac{R_-}{ax^2 + c} \right)^2 U_-. \quad (43)$$

Изменение давления в этом участке канала определяется из (42), проведением интегрирования для $R = ax^2 + c$ и имеет вид:

$$\frac{P(x)}{\rho U_-^2} = \left(\frac{R_-}{ax^2 + c} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{R_-}{ax^2 + c} \right)^2 - \frac{4R_-}{c \text{Re}} \left(\frac{x}{ax^2 + c} + \frac{1}{\sqrt{ab}} \arctg \sqrt{a/bx} \right) \right]_{x_-}^x. \quad (44)$$

Здесь $\text{Re} = \frac{R_- U_-}{\nu}$ – критерий Рейнольдса во входе в канал.

Далее наступает участок цилиндрического канала с постоянным радиусом $R_{\text{жс}}$, во входном сечении которого имеем условия:

$$U(-x_{\text{жс}}) = \left(\frac{R_-}{R_{\text{жс}}} \right)^2 U_-.$$

Так как на участке $-x_{\text{жс}} \leq x \leq x_{\text{жс}}$ живое сечение канала не изменяется, то согласно закону сохранения массы жидкости среднерасходная скорость остается постоянной:

$$U(x) = \left(\frac{R_-}{R_{\text{жс}}} \right)^2 U_-. \quad (45)$$

На этом участке промежуточный интеграл уравнения движения упрощается, в силу $R = \text{const}$, $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$ и $Q = \rho U \pi R^2$, принимает вид:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{8\nu Q}{\pi R^4} = -\frac{8\nu \rho U}{R^2}. \quad (46)$$

Отсюда следует зависимость:

$$P(x) = P(-x_{\text{жс}}) - \frac{8\nu \rho U}{R^2} \Big|_{x_{\text{жс}}}^x. \quad (47)$$

Таким образом, в конце цилиндрического канала имеем:

$$U(x_{\text{жс}}) = U(-x_{\text{жс}}) = \left(\frac{R_-}{R_{\text{жс}}} \right)^2 U_-, \quad (48)$$

$$P(x_{жс}) = P(-x_{жс}) - \frac{16\rho U_{жс}^2}{Re_{жс}} \frac{x_{жс}}{R_{жс}}. \quad (49)$$

Эти значения гидродинамических параметров служат входными данными потока для третьего гиперболического участка канала.

Для определения давления в гиперболическом участке канала воспользуемся уравнение (43), проведя интегрирование для $R = \frac{b}{a}\sqrt{ab}$ от $x_{жс}$ до x имеем:

$$P(x) - P(x_{жс}) = \rho U_{жс}^2 \left[\frac{x^2 L^2}{x^2 + a^2} - 8\nu \frac{a}{b^2} \left(\arctg \frac{x}{a} - \arctg \frac{x_{жс}}{a} \right) \right]. \quad (50)$$

Таким образом, получено аналитическое решение задачи течения жидкости в канале со сложной геометрией. Проведены расчеты по полученным решениям (1, 3) и сравнение с результатами эксперимента (2, 4) по движению жидкости в каналах с входным параболическим, средним цилиндрическим, выходным гиперболическим сечениями (рис. 4).

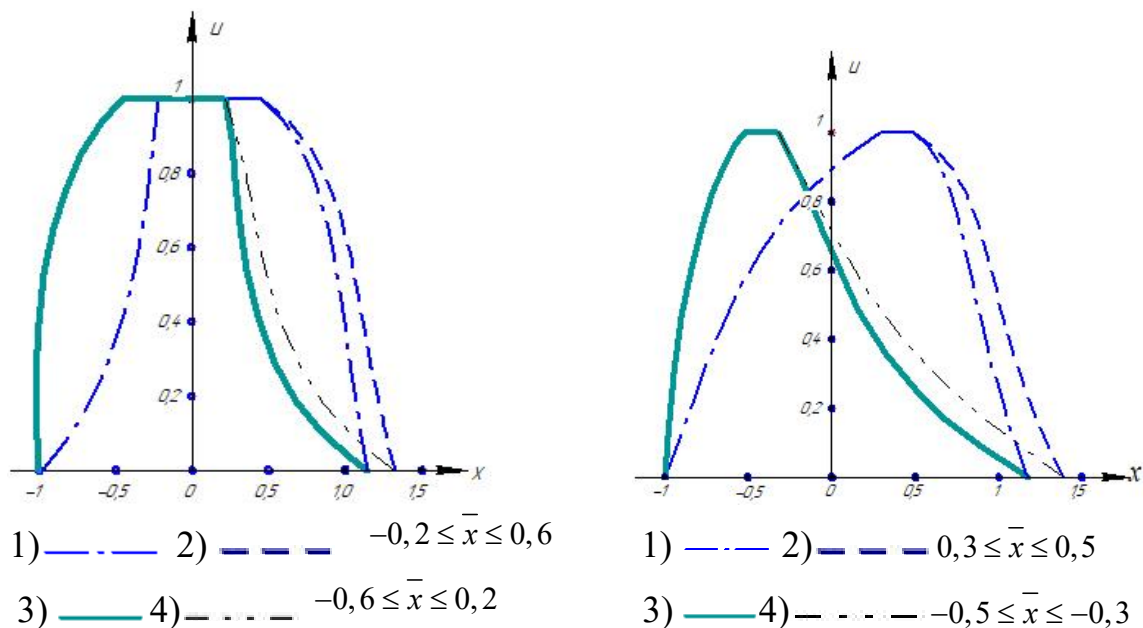


Рис. 4. Профили скорости.

Из полученного уравнения для давления и из уравнения сохранения массы, приведенные в интегральной форме, можно определить давление и среднерасходную скорость в канале с произвольной геометрией сечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов, полученных по диссертационной работе «Моделирование движения жидкости с особенностями в потоке и в области движения гидравлических приводов» представлены следующие выводы:

1. Разработан эффективный способ учета реальных физических процессов в потоке гидравлической жидкости гидроприводов в рамках молекулярного и молярного переноса, который позволяет изучить особенности объекта при малых и больших скоростях рабочей среды.

2. Получено аналитическое решение задачи нестационарного течения гидравлической жидкости в цилиндрических каналах гидроприводов на основе реологического закона молекулярного и молярного переноса субстанций в потоке, которое подтверждает уместность эффекта Ричардсона при турбулентном режиме течения.

3. Получено аналитическое решение стационарной задачи о течении гидравлической жидкости в плоскопараллельных и цилиндрических каналах гидроприводов на основе реологического закона молекулярного и молярного переноса субстанций в потоке, которое позволяет увеличить точности определения гидродинамических параметров до 18-20 %.

4. Применительно к периодическому функционированию гидроприводов получены аналитические решения плоскопараллельного и цилиндрического пульсирующего движения жидкости с учётом молярного переноса в потоке, которое позволяет адекватно описать энергетическое состояние объекта.

5. Составлена математическая модель для описания электрического разряда в жидкости, образованного точечным и цилиндрическим источником, как способа образования давления для гидроприводов, что служить теоретической основой разработки перспективных нагнетателей для передачи механической энергии гидроприводами.

6. С применением метода Лакса разработан численный метод определения гидродинамических характеристик движения жидкости и впервые получена информация о распространении цилиндрических и сферических волн уплотнения, образованных электрическим разрядом в жидкости.

7. Разработана математическая модель определения гидродинамических параметров в сегментном участке канале гидропривода, где существуют сужающаяся, с постоянным радиусом и расширяющаяся зоны. Результаты исследования позволяют синтезировать формы канала, необходимые для впрыскивания жидкости и предотвращения вибраций в гидроприводах.

8. Установка сегмента с последовательно расположенными параболическими, цилиндрическими и гиперболическими участками в канал течения жидкости привело к улучшению гидродинамических характеристик потока на 10-12% в условиях вынужденной конвекции теплоносителя. За счет этого расход энергии уменьшается в таком же размере,

9. Установка сегмента с разными формами поперечного сечения в сети трубопроводов способствует увеличению расстояния передачи импульса

и транспортировки жидкости в 1,5-1,6 раза. За счет этого срок эксплуатации сети продлится в 1,2-1,3 раза и время передачи жидких средств на одинаковое расстояние сокращается на 1,2-1,3 раза.

10. Создана конструктивная методология определения гидродинамических характеристик нагнетателя, работающего в условиях электрического разряда, и гидропривода, состоящий из зон с различным законом изменения диаметра, которые являются перспективными направлениями разработки современных гидроприводов.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03 / 30.12.2019.T.03.04
ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT TASHKENT
STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV

KHUDJAEV MUKHIDDIN KUSHSHAEVICH

**SIMULATION OF FLUID MOTION WITH
FEATURES IN THE FLOW AND IN THE AREA OF MOTION
HYDRAULIC DRIVES**

**02.05.02 - "Theory of mechanisms and machines.
Engineering and machine parts."**

**ABSTRACT OF THE DOCTOR'S DISSERTATION
TECHNICAL SCIENCES (DSc)**

Tashkent - 2020

The thema of doctoral (DSc) dissertation is registered under number B2020.3.DSc/T371 the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan

The dissertation was completed at the Islam Karimov Tashkent State Technical University
The abstract of the thesis in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the web page at (www.tdtu.uz) and on the information and educational portal “ZiyoNet” at (www.ziynet.uz).

Scientific consultant:	Karimov Kamolkhon Abbosovich doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Sharipov Kongrotbay Avazimbetovich doctor of technical sciences, professor
	Arifjanov Aybek Mukhamedjanovich doctor of Technical Sciences, Professor
	Alimuchamedov Shavkat Pirmuchamedovich doctor of technical sciences, professor
Lead organization:	Institute of Mechanics and Earthquake Resistance structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

The defense of the thesis will take place in 7.12.2020 at 12-00 at a meeting of the Council DSc.03/30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya str., 2, Faculty of Mechanics room 3. tel.: (99871) 246-46-00, fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

The dissertation can be found in the information resource center of the Tashkent State Technical University (registration number 183). Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya str., 2. tel.: (99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation sent out 1.12.2020.
(mailing protocol No.117 of 1.12.2020)

A.A. Mukhiddinov
Deputy Chairman of the Scientific Council for
the award of academic degrees,
doctor of technical sciences, professor

N. D. Turakhodjaev
Scientific secretary of the scientific council
for the award academic degrees,
doctor of technical sciences, professor

A.A. Rizaev
Deputy Chairman of the Scientific Seminar at the
scientific council for the award academic degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of doctoral dissertation, DSc)

The aim of the study is to improve the research technology, develop the theoretical foundations for modeling the hydrodynamic processes of hydraulic drives of machines and the development of technology and designs, leading to energy saving.

The object of the research is the process of the flow of the working fluid in the channels of hydraulic drives of various sections, taking into account the molecular and molar transfer of the momentum during non-stationary and stationary operating modes; dynamics of a fluid, the movement of which is caused by an electric discharge, as a way of generating pressure in hydraulic drives, as well as the movement of a working fluid in channels of hydraulic drives with different geometries.

The scientific novelty of the research is as follows:

a mathematical model of hydrodynamic flow processes has been created, taking into account real physical processes in the flow at low and high speeds of the hydraulic fluid of hydraulic drives;

a mathematical model has been developed for determining the hydrodynamic parameters in the segmental section of the hydraulic drive channel, where there is a narrowing, with a constant radius and expanding area;

the calculations performed based on the solutions obtained determined the hydrodynamic parameters with an accuracy of up to 8-10%.

setting a segment with sequential parabolic, cylindrical and hyperbolic sections into the fluid flow channel led to an improvement in the hydrodynamic characteristics of the flow by 10-12%. Due to this, the energy consumption is reduced in the same amount as;

installation of a segment with different cross-sectional shapes in the pipeline fluid flow channel increases the fluid flow rate by 18-20%, the transmission distance by 1.5-1.6 times. Due to this, the service life will be extended by 1.2-1.3 times and the time for transferring liquid funds to the same distance is reduced by 1.2-1.3 times.

Application of research results. Based on the scientific results obtained on the development of theoretical foundations and the development of energy-saving technologies and designs for hydraulic drives and other channels of fluid flow, a three-stage design for improving the hydrodynamic characteristics was introduced in the Jandar State Forestry. (Certificate of the State Forestry Committee of the Republic of Uzbekistan dated August 29, 2020, No. 05/21-2346). As a result, energy costs decreased by 10-12%;

Setting a segment with different cross-sectional shapes in the pipeline fluid flow channel increases the transmission distance by 1.5-1.6 times. Due to this, the service life will be extended by 1.2-1.3 times and the time for transferring liquid funds to the same distance is reduced by 1.2-1.3 times. (Certificate of the State Forestry Committee of the Republic of Uzbekistan dated August 29, 2020, No. 05/21-2346).

The technology for improving the hydrodynamic characteristics by establishing a segmented section was introduced for the flow channels of heating systems, irrigation and agricultural machinery.

ЭЪЛОН КИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHER WORKS

1-бўлим (1-часть; 1-part)

1. Лебедев О.В., Хусанов И.М., Худжаев М.К. О распределении скорости рабочей жидкости в трубе. Докл. АН РУз, №1, 1991. - С.15-17. (05.00.00, № 9).
2. Лебедев О.В., Худжаев М.К., Баклушин М.Б. К течению жидкости в полубеконечной плоской трубе. Докл. АН РУз, №4, 1992. - С. 24-27. (05.00.00, № 9).
3. Худжаев М.К. Исследование движения жидкости в плоской трубе с учетом молярного переноса. Узбекский журнал проблемы механики. 1995, №1.- С. 38-41. (05.00.00, № 6).
4. Худжаев М.К., Хожибеков Т.Д., Хуррамов Д.Х., Хасанов Б.Б. Моделирование сферического распространения электрического разряда в композиционных жидкостях. Узбекский научно-техн. и произв. журнал “Композиционные материалы”, №1, 2020. - С.106-107. (05.00.00, № 13).
5. Karimov K., Khudjaev M.K., Nematov E., Xojibekov T. Analytical solution of Navier-Stokes equation reduced to the equation of third order to study the motion of liquid in a flat pipe. “Clarivate Analytics” International Scientific Journal ISJ Theoretical & Applied Science, Philadelphia, USA, February, 2020, Volume 82, Issue 02. - Pp. 563-569, <http://t-science.org/arxivDOI/20203-78.html> (05.00.00).
6. Karimov K., Khudjaev M.K., Nematov E., Khurramov D. Simulation of fluid outflow from a channel with complex geometry. Journal of Physics: Conference Series. Dec. 2020, 056_MCMMIT . (05.00.00).
7. Khujaev I., Ahmadjanov S., Khujaev M., Ismailov A. Investigation of the gas-dynamic state of an elementary section of the pipeline based on N.E.Zhukovsky equation // International Scientific Journal ISJ Theoretical & Applied Science “Clarivate Analytics”. October 2019. Vol.78. - Pp 32-40. <http://t-science.org/arxivDOI/2019/10-78.html> (05.00.00).
8. Khudjaev M.K., Nematov E., Karimova A., Khasanov B., Hurramov D. Cylindrical distribution of electric discharge in a fluid. International Scientific Journal ISJ Theoretical & Applied Science, Philadelphia, USA, Juli 30, 2020, Vol.87, issue 07. - Pp. 286-291. <http://t-science.org/arxivDOI/2020/07-87.html> (05.00.00).
9. Khudjaev M.K. One-dimensional problem of reological law of molecular and molar transfer in fluids. International Scientific Journal ISJ Theoretical & Applied Science, Philadelphia, Yuli 30, 2020, Vol.87, issue 07. - Pp. 279-285. <http://t-science.org/arxivDOI/2020/07-87.html> (05.00.00).

10. Khudjaev M.K. Analytical solution of the Navier-Stokes equations reduced to the third-order equation for the problem of fluid motion in a round pipe. Journal of Physics: Conference Series. 1614, 2020, 012093. doi:10.1088/1742-6596/1614/1/012093 (05.00.00).

2-бўлим (2-часть; 2-part)

11. Худжаев М.К., Баклушин М.Б. Движение вязкой несжимаемой жидкости в полубесконечной круглой трубе с учетом молярного переноса. – Ред.ж. “Изв. АН РУз”, с.т.н., Ташкент, 1991. Рук.деп. в ВИНТИ, 23.05.91. №2125-В91.- 10 С.
12. Худжаев М.К., Баклушин М.Б. Течение вязкой несжимаемой жидкости в плоской трубе с учетом молярного переноса. Ред.ж. “Изв. АН РУз”, с.т.н., Ташкент, 1991. Рук.деп. в ВИНТИ, -10 С.
13. Худжаев М.К. Об одном решении задачи пульсирующего движения жидкости. Тр.науч.конф.посв. 80-летию академика Усмонходжаева Х.Х. Ташкент, ТИТЛП, 1999. - С.340.
14. Худжаев М.К., Шермухаммедов А.А., Тунгушев М.А. Моделирование движения исполнительного механизма гидропривода при электрическом взрыве в жидкости. Тез.докл.межд. научно-практ.конф. “Проблемные вопросы механики и машиностроения”, Ташкент, 25-27 мая, 1993 г.- С. 74.
15. Шермухаммедов А.А., Худжаев М.К., Тунгушев М.А. Математическая модель силового гидропривода с существенным влиянием внешней нагрузки. Тез.докл.межд. научно-практ.конф. “Проблемные вопросы механики и машиностроения”, 25-27 мая, 1993 г., Ташкент. - С. 43.
16. Худжаев М.К. К расчету течения жидкости в плоском трубе.Тез.докл.межд. научно-практ.конф. “Проблемные вопросы механики и машиностроения”, 25-27 мая, 1993 г., Ташкент. - С. 273.
17. Худжаев М.К. Исследования движения жидкости при подводном электрическом разряде. Респ.конф. посвящ. 85-летию Х.А.Рахматулина и 70-летию Д.Ф.Файзуллаева. “Механика многофазных сред, тепломассообмен и и распространение волн в сплошных средах”, 26-27 апреля 1994 г., Ташкент. - С. 38.
18. Худжаев М.К. Определение среднерасходной скорости и давления при истечении жидкости из канала произвольной формы. Мат. Респ.н.-техн.конф. «Современные проблемы механики жидкости, многофазных сред и моделирование гидравлических устройств машин», Ташкент, 1997. – С. 280.

19. Худжаев М.К. Моделирование истечения жидкости из жиклера произвольной формы. Сб.докл.конф.посв. 90-летию Рахматулина Х.А. «Сууюқликлар, кўп фазали аралашмалар ва туташ муҳитларда тўлқинларни тарқалишининг долзарб муаммолари», Тошкент: Фан, 21-23 апреля 1999 г. - С. 361-363.
20. Худжаев М.К. Об одном решении задачи пульсирующего движения жидкости. Тр.науч.конф.посв. 80-летию академика Усмонходжаева Х.Х. Ташкент, ТИТЛП, 1999. - С.340.
21. Худжаев М.К., Нематов Э.Х. Моделирование одного способа улучшения выхода активных ингредиентов и антиоксидантной активности экстрактов в пищевой промышленности. Тез.докл.межд.конф. “Problems and prospects of innovative technique and technology in agri-food chain”, Ташкент, 24-25 апреля, 2020. - С. 527-529.
22. Худжаев М.К. Математическое моделирование цилиндрической задачи электрического разряда. Тез. докл. межд. Узбекско-Белорусской научно-техн. конф., Ташкент, 21-22 май, 2020. – С. 71-73.

Автореферат «ТДТУ ахборотномаси» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 251.

Гувоҳнома № 10-3719
“Тошкент кимё технология институти” босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.