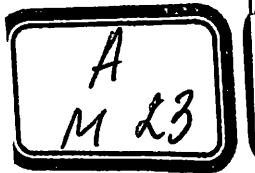


ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ АХБОРОТ-КОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ
ИЛМИЙ-ИННОВАЦИОН МАРКАЗИ



МАМАДАЛИЕВ ХУСНИДДИН АБДИЖАЛИЛОВИЧ

МАССА САРФИ ДИСБАЛАНСИ ШАРОИТЛАРИДА МАГИСТРАЛ
ГАЗ ҚУВУРИ ОРҚАЛИ ГАЗ ТАШИШ РЕЖИМИНИ ТАҲЛИЛ
ҚИЛИШНИНГ МОДЕЛЬ ВА АЛГОРИТМЛАРИ

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ АХБОРОТ-КОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ
ИЛМИЙ-ИННОВАЦИОН МАРКАЗИ

МАМАДАЛИЕВ ХУСНИДДИН АБДИЖАЛИЛОВИЧ

МАССА САРФИ ДИСБАЛАНСИ ШАРОИТЛАРИДА МАГИСТРАЛ
ГАЗ ҚУВУРИ ОРҚАЛИ ГАЗ ТАШИШ РЕЖИМИНИ ТАҲЛИЛ
ҚИЛИШНИНГ МОДЕЛЬ ВА АЛГОРИТМЛАРИ

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Техника фаилари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.PhD/Т60 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион марказида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва "Ziyouet" Ахборот таълим порталида (www.ziyouet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Хўжаев Исмаиулла Қўшаевич
техника фаилари доктори, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар:

Абдурахимов Бахтиёр Файзинович
физика-математика фаилари доктори, профессор

Маликов Зафар Маматқулович
техника фаилари доктори, катта илмий ходим

Этакчи ташкилот:

Самарқанд давлат университети

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.07.01 Илмий кенгашининг 2019 йил «27» сентябрь соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темуր кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz Тошкент ахборот технологиялари университети).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2588 рақам билан рўйхатга олинган.). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темуր кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2019 йил «13» сентябрь куни тарқатилди.

(2019 йил «27» август даги 14 рақамли реестр баённомаси)



Р. Х. Ҳамдамов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Ф. М. Нуралиев
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

И. Равшанов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда математик моделлаштириш ва илмий-инновацион технологияларни татбиқ этган ҳолда қувурлар орқали оқувчи мухитларни ташиш, механик ва иссиқлик энергиясини узатишга мўлжалланган қувурлар тизимларини ишлаб чиқаришни такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Норвегиянинг «Bellona» ташкилоти маълумотларига қараганда, «Россия федерациясининг табиий газдаги йўқотишлари йиллар ҳисобидаги турли маълумотлар келтирилган бўлиб, 9.7, 10, 17.7, 21, 31.1, 35 миллион тоннани ташкил этмоқда»¹. Бу йўналишда нефть ва газ саноати ривожланган давлатлар, жумладан АҚШ, Франция, Россия Федерацияси, Япония, Жанубий Корея, Хитой ва Марказий Осиё ва бошқа мамлакатларнинг кўплаб объеклари ва тармоқлари йилдан-йилга такомиллашиб бораётган, янги қурилаётган ва кенгайиб бораётган қувур тармоқларидан фойдаланмоқда. Шу жиҳатдан газ ташиш жараёнлари учун янги математик моделлар ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этади.

Жаҳонда замонавий ахборот технологиялари асосида тикланаётган қувур тармоқлари ишончилигига бўлган талаблар ортиб бормоқда. Сикилмайдиган ва сикилувчан мухитларни қувур орқали узатиш жараёнларини математик моделлаштириш орқали тадқиқ этиш юқори босим ва импульсларнинг сакраб ўзгаришларини олдини олишнинг турли усулларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада газнинг ўта сикилувчанлиги туфайли магистрал газ қувурлари тармоғида босим ва импульснинг сакраб ўзгариши, қувурда ҳосил бўлган тирқиш орқали сизиб чиқишлар, масса дисбаланси ва газодинамик кўрсаткичларнинг сакраб ўзгаришларини бартараф этишнинг усулларини ишлаб чиқиш, шунга боғлиқ равишда тармоқнинг ҳолатини мунтазам равишда мониторинг қилиш тенденцияси шаклландики, унда математик моделлаштиришнинг ютуқлари ва ахборот-коммуникация технологияларининг имкониятларидан кенг фойдаланишни илмий асослаш зарур бўлмоқда.

Республикамызда табиий газ маҳсулотини истеъмолчиларга керакли микдорда узлуксиз етказиб беришни таъминлаш мақсадида математик моделлаштириш усуллари ва ахборот-коммуникация технологияларини газ узатиш тизимига жорий этиш бўйича кенг қамровли ишлар олиб борилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш стратегиясида, жумладан «... замонавий халқаро стандартлар ва корпоратив бошқарув усулларини жорий этиш, ... ахборот-коммуникация технологияларини иқтисодиётга, ижтимоий соҳага, бошқарув тизимларига жорий этиш»², вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда табиий газ транспорти тизимларининг реал вақтдаги фаолияти учун зарур

¹ https://vuzlit.ru/704080/problema_poteri_prirodnogo_gaza_rossii

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

бўлган математик моделлар, сонли алгоритмлар ва дастурий воситаларни ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ва 2017 йил 30 июнь ПФ-5099-сон «Республикада ахборот технологиялари соҳасини ривожлантириш учун шарт-шароитларни тубдан яхшилаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармонларида ҳамда 2014 йил 3 апрелдаги ПК-2158-сон «Иқтисодиётнинг реал секторига ахборот-коммуникация технологияларини жорий қилиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2017 йил 30 июнда ПК-3107 сон «Нефть-газ соҳасининг бошқарув тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорларида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида баҳарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Турли муҳитларни қувурлар орқали ташиш жараёнларини ўрганиш усулларининг шаклланиши ва ривожига масса дисбалансини тадқиқ этиш билан бевосита боғлиқ бўлган Н.Е.Жуковскийнинг дастлабки тадқиқот ишларидан бошланган. Масса дисбаланси ва масса сарфи ўзгариши туфайли ҳосил бўлган тўлқинларнинг тарқалиши масалалари Л.С.Лейбензон, И.А.Чарний, Л.В.Шухов, В.П.Юфин, А.А.Ионин, Л.Б.Кублановский, А.А.Голянов, С.Н.Борисов, П.Ф.Водяник, Т.Н.Лаптева, М.Н.Мансуров, Л.Н.Латишев, Я.С.Марчук, О.З.Калинин, Э.В.Врагов, Л.А.Скляр, Liang Sun, T.Davitashvili, W.J.Turner, N.R.Mudford, I.Brodetsky, M.Savich, V.Olunloyo, A.M.Ajofoinbo, S.J.Dugdale ва бошқалар томонидан ўрганилган.

Жумладан, ўзбек олимлари Ф.Б.Абуталиев, Э.Б.Абуталиев, Р.Садуллаев, Т.Юлдашев, И.Қ.Хўжаев, О.Ш.Бозоров ва бошқалар томонидан статик режимда ишлаб турган газ қувурларининг нурсимон тармоғининг кўп бўғинлилиги, параллел қувурлари сони ва гидравлик кўрсаткичлари ўзгаришини ҳамда марказлашган газ олиш/қўшишни ҳисобга олган холда гидравлик ҳисоблашлар учун ягона формула ишлаб чиқилган.

Бугунги кунда кўплаб омиллар ҳисобга олиниб, қувур тармоғининг стационар ва ностационар масалаларини ҳал қилиш учун турли усуллар ишлаб чиқилган. Аммо масса дисбаланси муаммосининг математик моделлари аниқлаштирувчи омилларни ҳисобга олган холда такомиллаштиришни, зичланиш ва сийракланиш тўлқинларининг тарқалишини ҳисобга олган математик моделлар, сонли-аналитик усуллар ва алгоритмлар ишлаб чиқиш етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Тошкент ахборот технологиялари университети қошидаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион марказининг илмий тадқиқот ишлари режасининг №ФА-Ф1-Ф010+Ф016 «Мураккаб тизим ва жараёнларни моделлаштириш ва бошқаришнинг фундаментал муаммолари» (2007-2011) ва №Ф4-ФА-Ф005 «Мураккаб чегарали соҳалар учун математик физиканинг кўп ўлчовли ночизик синф масалаларининг моделларини такомиллаштириш ҳамда ечишнинг алгоритмик усулларини яратиш ва тадқиқ қилиш» (2012-2016) лойиҳалар доирасида амалга оширилган.

Тадқиқотнинг мақсади қувурларда масса дисбалансининг математик моделлари ва уларга мос масалаларни ечиш усулларини ишлаб чиқиш ва қувурдан газнинг сизиб чиқиши, тормозланиши жараёнлари хусусиятларини тадқиқ этишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

қувурда ҳосил бўлган тирқиш ўлчамини ва очик муҳитга чиқаётган газ оқими тезлиги ҳақидаги Н.Е.Жуковский қонунини ҳисобга олиб газнинг сизиб чиқиши жараёни математик моделини такомиллаштириш;

горизонтал қувурнинг боши ва охирида газ сарфининг сакраб ўзгаришлари асосида ҳосил бўлган қўзғалиш тўлқинларининг тарқалиши жараёнининг математик моделини ишлаб чиқиш;

муҳит тезлигининг икки масштабини ҳисобга олган ҳолда газни қувур орқали ташиш ностационар масаласини сонли ечиш алгоритминини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида масса сарфи дисбаланси шароитларида магистрал қувурларда рўй берадиган ностационар жараёнлари олинган.

Тадқиқот предметини ташилаётган муҳитнинг ишқаланиш, гравитация кучлари ва инерция кучи локал ташкил этувчиси таъсири остида горизонтал ва оғма қувурларда босим ва оқим тезлиги қўзғалишларининг тарқалиши хусусиятлари ташкил этишди.

Тадқиқот усуллари. Диссертация ишини бажаришда математик моделлаштириш ва алгоритмлаш усулларидан, трансцендент тенгламаларни ечишнинг сонли усулларидан, шунингдек ҳисоб натижаларини визуаллаштиришнинг компьютер технологияларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

илк маротаба Н.Е.Жуковский қонуни бўйича газ сизиб чиқиши тезлиги ва газ сизиб чиқаётган тирқиш юзаси омиллари ҳисобга олиниб, магистрал газ қувуридан газ йўқотишларининг такомиллашган математик модели таклиф этилган ва унга мос масала шакллантирилиб, ечиш алгоритми ишлаб чиқилган;

зичланиш ва сийракланиш тўлқинларининг горизонтал қувурда тарқалиши ҳақидаги Н.Е.Жуковский масаласи ишлаб турган газ қувурида

бошланғич босим тарқалишини хисобга олган ҳолда ечилди ва жараёнинг ишқаланиш ҳамда инерция кучининг локал ташкил этувчиси алоҳида ва биргаликда таъсирига боғлиқ хусусиятларини аниқловчи такомиллашган математик модель яратилган;

импульслар тарқалиши жараёнида хос сонлар дискрет майдонида квазирезонанс ҳолат билан чегараланувчи параболик ва гиперболик тенгнамалар ечимларга мос частоталардаги кўзғалишлар содир бўлиши аниқловчи ягона ҳисоб алгоритми ишлаб чиқилган;

изотермик режимда қувур орқали газ узатишнинг барча куч омиллари хисобга олувчи чизиксиз тенгнамаларини ечишнинг итерацион усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

қувурдан газ сизиб чиқиши жараёнининг янги аниқланган хусусиятларидан фойдаланиб газ қувурининг газ йўқотиш жойини ва жадаллигини, тирқишнинг юзасини хисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

газ ва суюқлик ташиладиган қувурларда кўзғалишлар тарқалиши масаласининг ечими асосида газ қувурларида зўриқишлар концентрациясига олиб келиши кутиладиган босимнинг энг катта қиймати ва у рўй берадиган жой аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги оғма ва горизонтал қувурларда табиий газ ҳаракатининг квазибирчизикли математик модели ҳамда ташқи муҳитга оқиб чиқаётган газ тезлигининг чегараланганлиги ҳақидаги Н.Е.Жуковскийнинг кўп маротаба муҳокама этилган қонунидан фойдаланилганлиги, хисоблаш математикаси ва математик физика тенгнамаларининг маълум усулларидан фойдаланилганлиги, ўрганилаётган объектнинг табиатига мос, ишончли натижаларни олинганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ички ва ташқи омиллар хисобга олинган ҳолда магистрал газ қувури чизикли қисмида масса сарфи дисбаланси шароитларида кечадиган жараёнларни математик ва сонли моделлаштириш усулларининг ишлаб чиқилиши ва ривожлантирилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти газ ташиш тизимларини лойиҳалаш, фаолиятини башоратлаш ва оптимал бошқаришда оптимал босимни аниқлаш, компрессор станцияси қурилмаларидан унумли фойдаланиш учун керакли бўлган ахборот таъминотининг яратилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Масса дисбаланси шароитида қувур фаолиятини таҳлил қилишга доир ишлаб чиқилган ва такомиллаштирилган математик моделлар, аналитик ечимлар ва яратилган дастурий таъминот ёрдамида олинган илмий натижалар асосида:

магистрал газ қувури чизикли қисмидан газ сизиб чиқиши ва қувур қисмининг боши ва охирида тормозланиш сабабли пайдо бўладиган зичланиш ҳамда сийракланиш тўлқинлари тарқалиши жараёнини таҳлил

қилиш учун ишлаб чиқилган алгоритм асосида яратилган дастурий восита Ўзбекистон нефть ва газ саноати илмий-муҳандислар жамияти томонидан магистрал газ қувурлари гидравлик параметрларини аниқлашга қабул қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 04.12.2018 йилдаги 33-8/9062-сон маълумотномаси, «Ўзбекнефтегаз» АЖ 13.06.2019 йилдаги 02/12-1-120-сон маълумотномаси). Илмий ишланманинг натижаларидан фойдаланиш газ қувури чизикли қисмидаги тирқишдан газ чиқиб кетиши ва қувур охириларида газ тормозланиши туфайли ҳосил бўладиган зичланиш тўлқинларининг тарқалиши жараёнини таҳлил этишда иш ҳажмини 9,5% га қисқартириш имконини берган;

қувур чизикли қисмининг бир ёки ҳар иккала охирилари беркитилганда суюқлик босими ва масса сарфи ўзгаришларини ҳисоблаш алгоритми «Зарафшон» магистрал тизими бошқармасига татбиқ этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 04.12.2018 йилдаги 33-8/9062-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида диаметр, қаршилиқ коэффициентлари ва қиялиқдан боғлиқ равишда оқим гидравлик кўрсаткичларини тезкор аниқлаш, суюқлик узатишнинг муқобил режимини аниқлаш, куч қурилмаларини бошқариш, динамик режимда фаолият кўрсатаётган тармоқда компрессор станциялар қурилмаларини ишга тушириш ва тўхтатишга доир қарор қабул қилишда ҳисоблашлар ҳажмини 9,5% га қисқартириш имконини берган;

газ қувури параметрлари ва истеъмол учун тайёрланган пропан товар гази маҳсулотига компрессор машиналари орқали берилаётган дастлабки босим қийматига боғлиқ ҳолда кечадиган динамик ўзгаришларни акс эттирувчи ҳисоблаш алгоритми ва дастурий восита «AXMAN GOLD» МЧЖ га татбиқ этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 04.12.2018 йилдаги 33-8/9062-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида автомобилларга ёқилги қуйиш жараёнида пропан босимини тезкор аниқлаш ва турли даврларда компрессорлардан оптимал фойдаланишга доир тавсиялар ишлаб чиқишда ҳисоб ишлари ҳажмини 7-8% га қисқартириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация иши натижалари 9 та халқаро ва 7 та республика миқёсидаги конференцияларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 40 та илмий иш жумладан, ЎзР ОАКнинг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола, жумладан 5 та чет эл ва 5 та республика журналларида нашр этилган, шунингдек 3 ЭҲМ дастурий маҳсулотларни қайд этиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши 116 саҳифадан иборат бўлиб, кириш, 4 та боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан ташкил топган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Ишнинг Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мос эканлиги асосланиб, мақсад ва вазифалар шакллантирилган, тадқиқотнинг объекти ва предмети кўрсатиб берилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган ва назарий ҳамда амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижалари амалиётга жорий этилганлиги, чоп этилган ишлар ҳақида маълумотлар ва диссертациянинг тузилиши келтириб ўтилган.

Диссертациянинг биринчи «Магистрал газ қувурлари тизимларида газ масса сарфи дисбаланси соҳасида қилинган ишларнинг таҳлилий шарҳи» деб номланган боби уч параграфдан иборат.

1.1-параграф магистрал газ қувуридан газни ташқи муҳитга сизиб чиқиб йўқотилиши жараёнини математик моделлаштириш соҳасидаги тадқиқотларнинг таҳлиliga бағишланган.

Газ ҳисобида дисбалансга олиб келувчи омиллар ишда уч гуруҳга ажратилган. Биринчи гуруҳга газ ҳажмини ўлчашдаги хатолик киритилган. Иккинчи гуруҳ омиллари газ масса дисбалансини аниқ ҳисоблашнинг техник воситалари мавжуд эмаслиги билан боғлиқ. Учинчи гуруҳ омиллар тармоқдан газнинг сизиб чиқиб йўқотилиши, ҳалокатли ҳолатлар ва таъмирлаш ишлари, арматурада, жумладан ҳисоб тугунларидаги газ йўқотишлар, ўз фаолияти учун газни ортқича сарфлаш, рухсатсиз газ олиш, газнинг конденсацияси ва гидратацияси билан боғлиқ.

Бу параграфда В.А.Селезнев, В.В.Алёшин, С.Н.Прялов, С.А.Бобровский, С.Г.Шербаков, М.А.Гусейн-заде, В.Е.Костюков, Т.И.Лаптева, М.Н.Мансуров, А.А.Гольянов, С.Н.Борисов, Л.Б.Кублановский сингари олимларнинг ишлари, Web of Science платформасидаги илмий журналлар мақолалари ва ватанимиз олимларининг бир қатор ишлари таҳлил қилинган.

1.2-параграфда газ йўқотилишида унинг ҳажми, босими, таркиби ва энергиясининг ўзгаришига олиб келиши мумкинлиги ҳақида сўз боради. Бу ерда қувурдаги механик, физик, кимёвий характердаги жараёнларга боғлиқ муаммоларни ва уларни ечиш усулларини ишлаб чиқишга бағишланган А.В.Татосов, П.С.Уткин, С.Е.Савотченко, А.С.Горлов, М.А.Артемов, Л.А.Кукарский, N.Pouladi, H.Heitmann ва бошқаларнинг ишлари таҳлил қилинган.

1.3-параграфда масса дисбаланси шароитида қувурда тўлқин тарқалишини тадқиқ этишга бағишланган адабиётлар таҳлил қилинган.

Фаолиятда бўлган газ ва суюқлик узатиш қувурларида муҳит ва оқимининг бирор кўрсаткичининг ихтиёрий ўзгариши қувур тармоғи чизикли қисмлари бўйлаб бу ўзгаришнинг тарқалишига олиб келади. Н.Е.Жуковский, И.А.Чарний, В.В.Грачев, С.Г.Шербаков, Я.И.Яковлев, А.В.Татосов, П.С.Уткин, В.А.Рукавишников, О.П.Ткаченко, проф. Р.Садуллаев ва унинг

шоғирдларининг бир қатор ишлари қувурда босим қўзғалишлари тарқалишини ўрганишга бағишланган. Таъкидлаш жоизки, О.Ш. Бозоров ва М.М.Маматқуловларнинг ишларида масалалар чизиксиз кўринишда қўйилган ва ечилган.

Ушбу параграфнинг охирида қувурдан нефть ва газ оқиб чиқиб йўқотилишини ва тирқиш жойини аниқлашнинг маълум бўлган: босимни аста-секин пасайтириш усули, манфий зарба тўлқин усули, сарфларни таққослаш, радиоактив ва ультратовушли усул, визуал, лазерли газоаналитик усул, уюрмали оқим ва бошқа усуллар санаб ўтилган. Бизнинг фикримизча, босимнинг қўзғалишларини баҳолаш ва аниқлаш, бундан ташқари уларни бартараф этиш бўйича қарорлар қабул қилишда магистрал газ қузури тармоғи доимий назорат қилишнинг самарали усули ва Н.Е.Жуковскийнинг зарбли тўлқин усулини татбиқи ҳисобланади. Ушбу мулоҳазалардан ва қувур хўжаликлари энг муҳим муаммоларидан келиб чиқиб, диссертация тадқиқоти масалалари шакллантирилган.

Диссертациянинг иккинчи боби «Магистрал газ қузуридан газ йўқотилиши жойини аниқлашнинг математик модели ва ҳисоблаш алгоритмларини такомиллаштириш» урта параграфдан ташкил топган.

2.1-параграфда магистрал газ қузуридан газнинг оқиб чиқиб йўқотилишининг математик модели тавсифланган ва шакллантирилган масалани аналитик ечиш жараёни баён этилган.

Газ қузурининг l узунликдаги чизикли қисмида p гидростатик босим ва $M = \rho w F$ масса сарфининг динамик ўзгаришлари Н.Е.Жуковскийнинг квазибирчизикли қисқартирилган тенгламалари (1) билан ифодаланган:

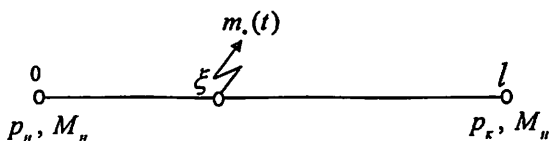
$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{2a}{F} M = 0, \quad \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{F}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

Бу ерда $2a = \lambda w / (2D)$ – Дарси-Вейсбах формуласи бўйича қаршилик кучи коэффиценти; λ – қаршилик коэффиценти; w – x кесимда ўртача тезлик; w – оқимнинг характерли тезлиги; D , $F = \pi D^2 / 4$ – қузурининг диаметри ва қўндаланг кесими юзи; c – муҳит-қувур тизимида кичик

қўзғалишларнинг тарқалиш тезлиги, $c = \left(\frac{\rho_0}{k_x} + \frac{2R_0 \rho_0}{E \delta} \right)^{-1/2}$, бу ерда ρ_0 – суюкликнинг қўзғалишларгача бўлган зичлиги; E – қувур материали эластиклик модули; R_0 – қузурининг тинч ҳолатдаги ички радиуси; δ – думалок қувур деворининг қалинлиги.

Бошланғич шартлар сифатида $M(x, 0) = M_H = \frac{F}{2a} \frac{p_H - p_K}{l} = const$,

$p(x, 0) = p_H + \frac{x}{l} (p_K - p_H)$ олинди, бу ерда p_H и $p_K - t = 0$ вақт моментида қисм боши ва охиридаги босим қийматлари. $t = 0$ вақт моментида $x = \xi$ кесимда s юзали тирқиш ҳосил бўлган (1-расм).



1-расм. l узунликдаги қисмдан газнинг сизиб чиқиб йўқотилиши

Тешиқдан газнинг чиқиш тезлиги $u.(t)$ Н.Е.Жуковский формуласи: $p(\xi,t) - p_a = c\rho.(t)u.(t)$ га асосан аниқланган, бу ерда $p(\xi,t)$, p_a – кесимда қувур ичидаги ва ташқарисидаги босимлар; $\rho.$ – кесимдаги газнинг зичлиги.

Газ йўқотиш жадаллиги ифодаси $m.(t) = s\rho.(t)u.(t) = F\rho(\xi,t)w(\xi,t)$ ва тирқиш ҳосил бўлган кесимдаги масса сарфи ўзгаришидан фойдаланиб, масса сарфининг сакраб ўзгариши аниқланди:

$$M(\xi_{-0},t) - M(\xi_{+0},t) = \frac{s}{c}(p(\xi,t) - p_a).$$

Бунда Кирхгоф қонуни аналогига кўра, тирқиш ҳосил бўлган кесимда ўнгдан ва чапдан босимлар бир хил қийматга эга бўлади: $p(\xi_{-0},t) = p(\xi_{+0},t)$.

Газ йўқотилиши бошлангандан кейин маълум вақт ичида сарф қисмининг кириш ва чиқишида аввалгидек даражада қолади:

$$M(0,t) = M(l,t) = M_n = const.$$

Кутилаётган ечим вақтнинг айнан шу оралиғига тегишли.

Масштаб катталиклари p_n , M_n , l ва $\tau = 2al^2 / c^2$ ёрдамида ўлчамсиз катталикларга ўтилди. Тенгламалар системаси параболик типдаги тенгламага келтирилди ва ўзгарувчиларни ажратиш усулида ечилди.

Нисбий-ортиқча босимни

$$\bar{p}(\bar{x}, \bar{t}) = \beta - \alpha\bar{x} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp(-\lambda_n^2 \bar{t}) X_n(\bar{x})$$

ва ҳосил бўлган тирқишгача ҳамда ундан кейинги соҳаларда масса сарфларини ҳисоблаш учун формулалар олинган:

$$\bar{M}_1(\bar{x}, \bar{t}) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n \lambda_n}{\alpha} \exp(-\lambda_n^2 \bar{t}) \frac{\sin \lambda_n \bar{x}}{\cos \lambda_n \bar{\xi}},$$

$$\bar{M}_2(\bar{x}, \bar{t}) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n \lambda_n}{\alpha} \exp(-\lambda_n^2 \bar{t}) \frac{\sin \lambda_n (1 - \bar{x})}{\cos \lambda_n (1 - \bar{\xi})}.$$

Бу ерда $a_n = (\beta - \alpha\bar{\xi})\theta / (\|X_n(\bar{x})\|^2 \lambda_n^2)$, $\alpha = (p_n - p_k) / p_n$, $\beta = (p_a - p_n) / p_n$,

$$\gamma = p_n s / (M_n c), \quad \theta = \alpha\gamma, \quad G = \alpha\bar{\xi}, \quad \|X_n(\bar{x})\|^2 = \frac{\bar{\xi}}{2 \cos^2 \lambda_n \bar{\xi}} + \frac{1 - \bar{\xi}}{2 \cos^2 \lambda_n (1 - \bar{\xi})} + \frac{\theta}{2\lambda_n^2},$$

$$\int_0^1 X_n(\bar{x})X_m(\bar{x})d\bar{x} = \begin{cases} 0, & \text{при } n \neq m, \\ \|X_n(\bar{x})\|^2 & \text{при } n = m; \end{cases}$$

$$X_n(\bar{x}) = \begin{cases} \cos \lambda_n \bar{x} / \cos \lambda_n \bar{\xi} & \text{агар } 0 \leq \bar{x} < \bar{\xi}, \\ \cos \lambda_n (1 - \bar{x}) / \cos \lambda_n (1 - \bar{\xi}) & \text{агар } \bar{\xi} < \bar{x} \leq 1. \end{cases}$$

$s = 0$ да масаланинг хос сони $\lambda_n = \pi n / l$ бўлди. 2.2-параграфда λ_n ни аниқлаш учун $s > 0$ ҳолида характеристик тенглама тузилди:

$$f(\lambda) = \cos \lambda \bar{\xi} \cos \lambda (1 - \bar{\xi}) - \frac{\lambda \sin \lambda \bar{\xi}}{\theta} = 0.$$

$$\theta = \frac{s}{c} \frac{P_H - P_K}{M_H} \text{ параметрнинг киймати учун } f(\lambda) \text{ функция нолларини}$$

топишнинг икки босқичли умумий усули, $\bar{\xi} = 0, 0.5$ ва 1.0 қийматларга мос келувчи хусусий усуллари таклиф этилди. Оралиқни тенг иккига бўлиш усулининг 30-қадамли татбиқи ечимни 10^{-10} аниқлик билан топиш имконини берди.

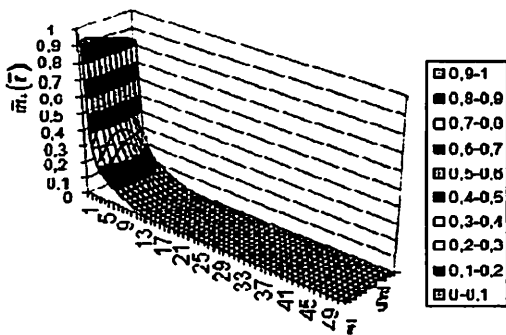
Ушбу алгоритм ёрдамида газ йўқотишлар ҳолида магистрал газ қузури қисми кўрсаткичларини ҳисоблаш учун дастурий восита яратилди.

2.3-параграфда объектнинг турли кўрсаткичлари учун газ йўқотишлари жадаллиги бўйича натижалар олинди. Жараённинг табиатидан келиб чиққан ҳолда, ҳисоблаш тажрибалари режалаштирилди ва $p_H = 4.0_{10}5, 8.0_{10}5$ Па; $p_K = 0.5 p_H, 0.9 p_H$ Па; $\alpha = (p_H - p_K) / p_H = 0.1, 0.3, 0.5$; $\beta = (p_s - p_H) / p_H = 78 / 80, 783 / 800, 786 / 800, 79 / 80$; $s / F = 1.0, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001$ қийматларда ҳисоб ишлари олиб бориш белгиланди.

2-расмда вақт 2.5τ гача бўлганда $\alpha = 0.1, \beta = 0.9875$ учун газ йўқотиш жадаллиги келтирилган. Бошланғич момент ва $\bar{\xi} = 0, \bar{\xi} = 1$ да газ йўқотишлар жадаллигининг ўлчамсиз қиймати 51.7601 ва 46.5186 ни ташкил этди. Масса йўқотишлари берилган сарфдан ~ 50 марта ортиқ бўлди. Босимнинг тушиши тирқишга яқин чегарада аҳамиятли бўлди ва бу С.А.Бобровский ва ҳаммуаллифларининг хулосаларига мос келади.

Натижалар масса йўқотилиши кесимида босим ва масса сарфи ўзгаришлари турли хусусиятларга эгаллигини: қисмда босимнинг қиймати катта бўлганда масса йўқотишлари суръати тезроқ эканлигини; тирқиш юзасининг катта қийматларида катта йўқотишлар аввал ξ нинг ўртача, кейинчалик ξ нинг кичик қийматларида кузатилишини кўрсатди.

s / F параметрнинг кичик қийматлари учун биздаги олинган ечим газ йўқотишлари бўйича муқаддам $m_i(t) = const$ ҳол учун олинган натижаларга яқин бўлди. s / F нинг катта қийматларида ечим кўрсаткичларининг ўзгариши хусусияти турлича бўлди.



2-расм. Тирқишдан оқиб чиқаётган газнинг $(\bar{x}; \bar{t})$ текисликдаги $\bar{m}_i(\bar{t})$ жадаллиги ($p_H = 8.0_{10}^6$ Па $p_K = 7.2_{10}^6$ Па, $p_a = 1.0_{10}^5$ Па, $M = 150$ кг/с, $l = 40$ км, $D = 0.992$ м, $s / F = 1$, $c = 380$ м/с, 1 – 49 йўналиш \bar{t} , $p_1 - p_{10}$ эса $\bar{\xi}$ ўққа мос келади)

Учинчи «Магистрал газ қувирида масса сарфининг оний ўзгаришларига олиб келувчи зичланиш ва сийракланиш тўлкинларининг тарқалиши» боб тўртта параграфдан иборат. Қаралаётган жараён ўта сиқилувчан газнинг ҳолат тенгламаси $p = Z\rho RT$ (бу ерда Z – газнинг ўта сиқилувчанлик коэффициенти; R – келтирилган газ доимийси) қўшилган қуйидаги тенгламалар (2) тизими орқали ёзилган:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\lambda \rho w^2}{2D} + \frac{\partial p w}{\partial t}, \quad -\frac{\partial p}{\partial t} = c^2 \frac{\partial \rho w}{\partial x}. \quad (2)$$

Тенгламалар системасида $\tau = ct$ ва $b = \lambda w_i / (2Dc)$ белгилашларни киритиб, масса сарфига нисбатан тенглама тузилди:

$$\frac{\partial^2 M}{\partial \tau^2} + b \frac{\partial M}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2}.$$

3.1-параграфда масала аввалги бобдагидан фарқи $t=0$ да кириш ва чиқишда масса сарфининг M_0 дан M_H ва M_K сакраб ўзгаришларига хос масаланинг қўйилиши ва аналитик ечими келтирилган:

$$M(x, t) = M_H + \frac{x}{l}(M_K - M_H) + \sum_{n=1}^{\infty} T_n^{(m)}(ct) \sin \frac{\pi n x}{l},$$

$$p(x, \tau) = p(0, 0) - \frac{\lambda w_i}{2DF} M_0 x - \frac{c(M_K - M_H)\tau}{Fl} - \frac{\pi c(M_K - M_0)}{Fl} \sum_{n=1}^{\infty} n \cos \frac{\pi n x}{l} \int_0^{\tau} T_n^{(m)}(\xi) d\xi.$$

$$\text{Бу ерда } f_n = \begin{cases} \sqrt{|\mathcal{D}_n|}/2, & \text{при } \mathcal{D}_n < 0, \\ 1, & \text{при } \mathcal{D}_n = 0, \\ \sqrt{\mathcal{D}_n}/2, & \text{при } \mathcal{D}_n > 0; \end{cases} \quad \mathcal{D}_n = b^2 - \frac{4\pi^2 n^2}{l^2},$$

$$b_n = \frac{2}{\pi n} [(-1)^n (M_K - M_0) - M_H + M_0], \quad a_n = \frac{b}{2f_n} b_n,$$

$$\mathcal{D}_n > 0 \text{ бўлганда: } T_n^{(1)}(\tau) = e^{-br/2} \left(a_n \operatorname{sh} \frac{\sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} \tau + b_n \operatorname{ch} \frac{\sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} \tau \right),$$

$$\int_0^r T_n^{(1)}(\xi) d\xi = \frac{a_n + b_n}{\sqrt{\mathcal{D}_n} - b} \left(e^{\frac{-b + \sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} r} - 1 \right) + \frac{a_n - b_n}{\sqrt{\mathcal{D}_n} + b} \left(e^{\frac{-b - \sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} r} - 1 \right);$$

$$\mathcal{D}_n = 0 \text{ бўлганда: } T_n^{(2)}(\tau) = e^{-br/2} (a_n \tau + b_n),$$

$$\int_0^r T_n^{(2)}(\xi) d\xi = \frac{2a_n}{b^2} (2 - (br + 2)e^{-br/2}) + \frac{2b_n}{b} (1 - e^{-br/2});$$

$$\mathcal{D}_n < 0 \text{ бўлганда: } T_n^{(3)}(\tau) = e^{-br/2} \left(a_n \sin \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} \tau + b_n \cos \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} \tau \right),$$

$$\int_0^r T_n^{(3)}(\xi) d\xi = \frac{l^2}{2\pi^2 n^2} \left((\sqrt{|\mathcal{D}_n|} b_n - a_n b) e^{-br/2} \sin \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} r + (\sqrt{|\mathcal{D}_n|} a_n - b_n b) \left(1 - e^{-br/2} \cos \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} r \right) \right).$$

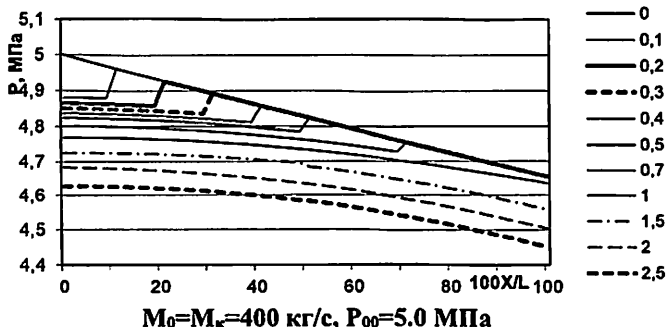
3.2-параграфда қаршилик кучи ҳисобга олинмаганда ҳосил бўлувчи гиперболик тенглама бўйича ҳисоблашлар натижалари муҳокама қилинган. Маълумотларнинг турлича берилишида газ масса сарфи ва босими графиклари олинган. Участка охирларида зичланиш ва сийракланиш тўлқинларининг қайтишида босим $p(x, t)$ нинг ечим учинчи ҳади билан аниқланувчи сакраб ўзгаришлари таҳлил қилинган. Чегаравий кесимлар беркитилишининг уч хил варианты учун олинган графиклар берилган.

3.3-параграфда импульс сакланиш тенгласида инерция ҳадларини ҳисобга олмаганда ҳосил бўлувчи параболик тенглама бўйича ҳисоблашлар натижалари муҳокама қилинган. Масса сарфининг стационар ечимга яқинлашиши аниқланган.

Агар аввалги икки параграфда яқинлашув муҳандислик ҳисобидаги «узун» ва «қисқа» газ қувурларига мос келса, мазкур 3.4-параграфда улар ўртача масофа учун умумлаштирилган, яъни қаршилик ва инерция кучининг локал ташкил этувчиси бир хил тартибдаги қийматга эга деб қаралган. Бу параграфнинг намунавий натижаси 3-расмда келтирилган.

Боб натижалари кўрсатишича, ишқаланиш кучи эвазига дастлаб юқори частотали қўзғалишлар ($\mathcal{D}_n < 0$) сўнади, кейин эса квазирезонанс частота амплитудаси ($\mathcal{D}_n = 0$) камайиб боради. Кичик частотали босим қўзғалишлари ($\mathcal{D}_n > 0$) нисбатан узоқроқ сақланади. Демак, масса сарфи дисбаланси

шароитида тўлқин тарқалиши жараёнини адекват ифодалаш учун босим кўзғалишлари спектрини тўла ҳисобга олиш лозим. Шу туфайли мазкур бобда ечимнинг дастлабки 400 ҳади ҳисобга олинди.



3-расм. Кириш кесими беркитилганида қисм узунлиги бўйича босимнинг ўзгариши

Тўртинчи боб «Реал газни қувур орқали узатиш тенгламаларини ечишнинг итерацион усули» барча куч омилларини ҳисобга олган ҳолда қувур орқали изотермик режимда газ узатиш тенгламаларини ечишнинг сонли усулини ишлаб чиқиш ва уни синашга бағишланган.

Газ қувури тармоғи қуйидагича тасвирланган: қисмнинг бошида ҳайдаш қурилмаси ўзгармас p_0 босимни таъминламоқда, участкадан чиқиш ($x=l$)да эса газ сарфи M_i ни ташкил этади. Газ (T, Z, R, ρ, p) ва қисм ($l, D, \lambda, \sin \alpha$) кўрсаткичлари берилган.

Жараёни моделлаштириш учун қуйидаги тенгламалардан фойдаланилди:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\lambda'}{2D} \rho u^2 + \rho g \sin \alpha, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

бу ерда $u - t$ вақт momentiда x кесимдаги газнинг тезлиги; λ' – қаршилиқ коэффициенти; $\sin \alpha$ – қисмда қувур оғмалик синуси.

Реал газ ҳолати тенгламаси $p = \gamma p$ ($\gamma = ZRT = c^2$) ни ҳисобга олган ҳолда ва янги номаълум $\varphi = \ln(\rho / \rho_0)$ функция киритиш орқали ($\rho -$ газнинг характерли зичлиги) тенгламалар (3) тизимини

$$\frac{\partial W}{\partial t} + A \frac{\partial W}{\partial x} = B$$

кўринишда ёзиб олинди, бу ерда $W = \begin{pmatrix} u \\ \varphi \end{pmatrix}$, $A = \begin{pmatrix} u & \gamma \\ 1 & u \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} -\frac{\lambda'}{2D} u^2 + bg \sin \alpha \\ 0 \end{pmatrix}$.

Диагонал $\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}$ матрица ($\lambda_{1,2} = u \pm c$) ва $V = \begin{pmatrix} 1 & c \\ 1 & -c \end{pmatrix}$ фундаментал

матрицани тузиб олинди, улар ёрдамида тенглама $\frac{\partial W}{\partial t} + V^{-1} \Lambda V \frac{\partial W}{\partial x} = B$ кўринишга келтирилди.

Мазкур тенгламанинг ҳар икки томонини чапдан V га кўпайтирамиз. Натижада охириги матрицали тенглама алоҳида тенгламаларга ажралади:

$$\begin{cases} \frac{\partial f_1}{\partial t} + (u+c) \frac{\partial f_1}{\partial x} = -\frac{\lambda'}{2D} u^2 + bg \sin \alpha, \\ \frac{\partial f_2}{\partial t} + (u-c) \frac{\partial f_2}{\partial x} = -\frac{\lambda'}{2D} u^2 + bg \sin \alpha. \end{cases}$$

Бу ерда янги $f_1 = u + c\varphi$ ва $f_2 = u - c\varphi$ номаълумлар киритилди. f_1 ва f_2 лар қийматлари маълум бўлса, оқим тезлиги $u = \frac{f_1 + f_2}{2}$, зичлик $\rho = \rho_0 e^{\frac{h-f_1}{2c}}$,

босим эса $p = \rho_0 e^{\frac{h-f_1}{2c}}$ формулалар асосида аниқланади.

Бобнинг иккинчи параграфида ўлчамсиз ўзгарувчиларга ўтилди ва масаланинг сонли ечиш амалга оширилди. $q = \frac{\lambda' l}{2D}$, $r = -\frac{g \sin \alpha}{c^2}$

белгилашлар киритилганида тенгламалар қуйидаги кўринишни олди:

$$\frac{\partial \bar{f}_1}{\partial t} + (\bar{u} + 1) \frac{\partial \bar{f}_1}{\partial x} = -q \bar{u}^2 + r, \quad \frac{\partial \bar{f}_2}{\partial t} + (\bar{u} - 1) \frac{\partial \bar{f}_2}{\partial x} = -q \bar{u}^2 + r.$$

Чегаравий кўзгалишларнинг йўналишларини ҳисобга олган ҳолда тенгламалар ошкор ва ошқормас шаклда аппроксимацияланди. Хусусий ҳолда, тенгламалар ошқормас аппроксимацияланганида қуйидаги рекуррент формулага келинди:

$$\begin{aligned} f_{1i}^{n+1} &= [1 + \sigma(u_i^n + 1)]^{-1} \left[f_{1i}^n + \sigma(u_i^n + 1) f_{1i-1}^{n+1} - \frac{\tau q}{2} ((u_i^n)^2 + (u_{i-1}^n)^2) + \tau r \right], \\ f_{2i}^{n+1} &= [1 - \sigma(u_i^n - 1)]^{-1} \left[f_{2i}^n - \sigma(u_i^n - 1) f_{2i+1}^{n+1} - \frac{\tau q}{2} ((u_i^n)^2 + (u_{i+1}^n)^2) + \tau r \right]. \end{aligned}$$

$f_2(0, t)$ маълум деб қараб, оқим тезлиги $u_0^n = f_{20}^n + \varphi_0^n$ кўринишда аниқланди ва ундан фойдаланиб, $f_{10}^n = 2\varphi_0^n + f_{20}^n$ топилди.

Кувур қисмидан чиқишда газ масса сарфи ўзгармаслиги шarti берилган $u\rho = \frac{M(1,t)}{f} = Q_r = const$. Киритилган алмаштиришлар асосида мазкур шарт

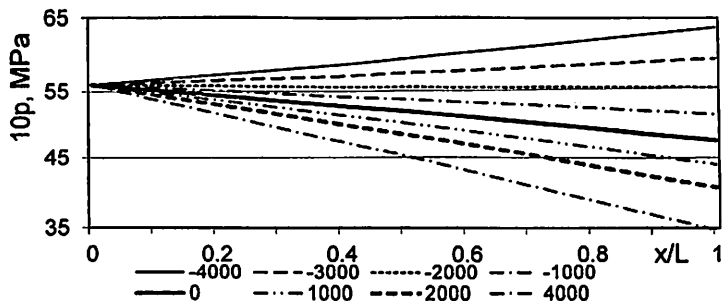
$ue^{-u} = Q_r e^{-f}$ кўринишда ифодаланди. f_1 нинг қийматини маълум деб ҳисоблаб, $F(u) = Q_r e^{-f_1} - ue^{-u} = 0$ трансцендент тенглама тузиб олинди.

Тенглама хусусиятларидан келиб чикиб ва Ньютоннинг уринмалар усулидан фойдаланиб, $u^{k+1} = u^k + \frac{Q_r e^{u^k - f_1} - u^k}{1 - u^k}$ формула бўйича кетма-кет яқинлашиш жараёни ташкил этилди. Яқинлашув жараёни $F(u^{k+1}) < 10^{-3}$ шарт бажарилгунига қадар давом эттирилди. $u(1, t)$ нинг топилган қиймати ва $f_1(1, t)$ қийматига асосан чегаравий қийматлар $f_{2N_x}^{n+1} = 2u_{N_x}^n - f_{1N_x}^n$, $\varphi_{N_x}^n = \ln(Q_r / u_{N_x}^n)$ топилди. Тавсия этилган сонли усул асосида Delphi 7 муҳитида ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилди.

Ҳар 5000 яқинлашувдан кейин тезлик, φ_i^n ва масса сарфи бўйича шартлар бажарилиши текшириб борилди. Натижаларнинг ишончлилиги икки усулда текширилди. Биринчи усулда l узунликнинг турли қийматлари учун $x=1$ км да ҳисобланган босим қиймати солиштирилди. Иккинчи усулда натижалар [Садуллаев Р. и др. Расчет магистрального газопровода с учетом рельефа местности // Газовая промышленность. – Москва. 2003. – №8. – С.58-59.] мақолада келтирилган ечим бўйича ҳисобланган қийматлар билан солиштирилди. Иккала ҳолда ҳам босимнинг дастлабки беш хона қийматлари мослиги қайд этилди.

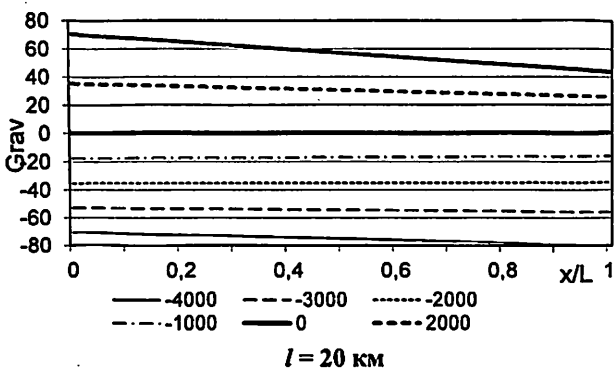
Дастлабки маълумотларнинг турли вариантлари қаралди ва босим ҳамда тезликнинг қувур узунлиги бўйича қийматлари аниқланди. 4-расмда трасса баландлигининг турли пасайишларида $l=20$ км узунликдаги қувурда босимнинг ўзгаришлари келтирилди.

Турли шартларда босим градиенти ва унинг ташкил этувчиларининг масофадан боғлиқ ўзгаришлари тадқиқ этилган. Реал газни қувур орқали узатишда ҳам довонорти режими рўй бериши аниқланди, бунда пасаявчи трассада гравитация потенциал энергиясининг бир қисми қаршилиқ кучини энгишга сарфланади (5-расмнинг юқорисидаги икки чизик), ортиқча қисми эса газ сиқилишининг потенциал энергияси тарзида жамланади, яъни оқим йўналишида босим ортиб боради.



$l = 20$ км, $p_0 = 5.6$ МПа, $M = 250$ кг/с

4-расм. H баландлик ўзгаришларининг турли қийматларида қувур қисми узунлиги бўйича босимнинг ўзгаришлари



5-расм. *H* баландликнинг турли қийматларида босим градиентининг шаклланишида гравитация кучининг улуши

ХУЛОСА

«Масса сарфи дисбаланси шароитларида магистрал газ қувири орқали газ ташиш режимини таҳлил қилишнинг модель ва алгоритмлари» мавзусидаги диссертация ишига доир ўтказилган тадқиқотлар бўйича қуйидаги асосий натижалар олинди.

1. Сиқилувчан ва сиқилмайдиган муҳитларни қувор орқали узатишга доир математик моделлаштириш, сонли усуллар ва дастурий воситалар ишлаб чиқишга доир ишларнинг таҳлили ўтказилди ва у диссертация тадқиқотининг мақсади ва масалаларини шакллантириш имконини берди.

2. Газ қувиридан газ оқиб чиқиш тезлигининг чекланганлиги ҳақидаги Н.Е.Жуковский гипотезаси асосида фаолият кўрсатаётган қувордан газ сизиб чиқишининг ишончли математик модели ишлаб чиқилди ва бунда илк маротаба гидростатик босимнинг бошланғич тақсимланишини ҳисобга олиш олиш имкониятига эришилди.

3. Кириш, чиқиш ва атмосфера босими, газ сизиб чиқиш кесими координатаси ва қисм узунлиги, тирқиш ва қувор кўндаланг кесими юзалари қатнашган тўрт ўлчовсиз комплекслар иштирокида газ сизиб чиқиш шароитида газ қувири фаолиятининг хусусиятлари аналитик ечим асосида ўтказилган сонли тажриба ёрдамида ўрганилди. Улардан газ сизиб чиқишини идентификациялашда фойдаланишга тавсия этиш мумкин.

4. Фаолиятдаги горизонтал газ қувири бир ёки иккала охирларида газ тормозланишига боғлиқ тарзда ҳосил бўлган импульс кўзғалишлари тарқалиши жараёнининг Н.Е.Жуковский модели доирасидаги янгиланган модели тақлиф этилди. Мазкур жараёнга мос келувчи масалани ечиш орқали босим кўзғалишлари алоҳида частотасининг вақтга боғлиқ ўзгариш амплитудалари тез ва секин сўнувчи модлар ва квазирезонанс ҳолатга тўғри

келувчи гиперболик, тригонометрик ва чизиқли функциялар иштироки билан ифодаланиши исботланди.

5. Импульс сакланишининг квази бир ўлчовли тенгламасида фақат газ инерция кучининг локал ташкил этувчиси ҳисобга олинаиб, тенглама гиперболик кўринишда, фақат ишқаланиш кучи ҳисобга олинаиб, тенглама параболик кўринишда ва ҳар икки куч ҳисобга олинаиб, тенглама қисқартирилган телеграф тенгламаси кўринишида бўлган ҳолларда газ босими ва сарфи кўзғалишлари тарқалишининг хусусиятлари аниқланди. Натижада тадқиқот объекти хусусиятларининг қисқа, узун ва ўртача узунликка эга газ қувурлари учун хос бўлганлари ажратилди.

6. Киришда босим ва чиқишда масса сарфи берилганда қувур орқали газ узатишнинг чизиқсиз тенгламаларини сонли ечиш усули югурувчи тўлқинлар аналогларини киритиш орқали ишлаб чиқилди. Бу эса чегаравий шартларнинг етишмайдиган ташкил этувчиларини, оқим бўйлаб босим ва тезликни аниқлаш имконини берди.

7. Киришда босим ва чиқишда масса сарфи маълум бўлганида ишқаланиш ва гравитация кучлари таъсири остида шаклландиган босим градиенти тадқиқ этилди. Трассанинг аҳамиятли манфий қияликларида оқимнинг доворти режими ҳосил бўлиши мумкинлиги аниқландики, бунда гравитация энергияси газ сиқилганлигининг потенциал энергиясига айланади, яъни оқим бўйлаб босим ортиб боради.

8. Диссертация тадқиқот иши натижаларидан Ўзбекистон нефть ва газ саноати илмий-муҳандислари жамияти, «Зарафшон» магистрал тизими бошқармаси, «AXMAN GOLD» МЧЖ фаолиятларида фойдаланилган. Натижада газ ва суюқлик узатувчи қувурларда зичланиш тўлқини тарқалишини таҳлил қилиш учун ҳисоблашлар ҳажми 9,5%; пропан босимини тезкор аниқлашда 7-8% га камайган ва суюқлик ва газни етказиб беришда оптимал режимни танлаш имконияти пайдо бўлган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННО-
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

МАМАДАЛИЕВ ХУСНИДДИН АБДИЖАЛИЛОВИЧ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ
ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ
ГАЗОПРОВОДУ В УСЛОВИЯХ ДИСБАЛАНСА МАССОВОГО
РАСХОДА**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

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

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2017.1.PhD/T60.

Диссертация выполнена в Научно-инновационном центре информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Хужаев Исмагулла Кушаевич
доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Абдурахимов Бахтиёр Файзиевич
доктор физико-математических наук,
профессор

Маликов Зафар Маматкулович
доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Самаркандский государственный университет

Защита диссертации состоится «17» сентября 2019 г. в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.27.06.2017.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Ташкентский университет информационных технологий. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 2588). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «13» сентября 2019 года.

(Реестр протокола рассылки № 14 от «17» августа 2019 года.)



Р.Х. Хамдамов

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

Ф.М. Нуралиев

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

Н. Равшанов

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

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется усовершенствованию разработки системы трубопроводов, предназначенных для транспортировки жидких сред, передачи механической и тепловой энергии, с применением математического моделирования научно-инновационных технологий. По сведениям норвежской организации «Bellona», «ежегодные выбросы природного газа в атмосферу Российской федерацией по разным оценкам 9,7, 10, 17,7, 21, 31,1, 35 миллионов тонн»¹. В этом направлении в странах мира с развитой нефтяной и газовой промышленностью, в том числе в США, Франции, Российской Федерации, Японии, Южной Кореи и других, многочисленные объекты и отрасли пользуются трубопроводными системами, которые год за годом совершенствуются, перестраиваются и расширяются. В этой связи особое значение приобретают разработка новых и усовершенствование математических моделей процессов транспортировки газа.

В мире усиливаются требования к надежности вновь возводимой сети трубопроводов на основе современных информационных технологий. Путем математического моделирования процессов трубопроводной транспортировки несжимаемых и сжимаемых сред ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку различных способов предотвращения скачкообразных изменений высокого давления и импульса. В этом направлении в связи с необходимостью изучения скачкообразных изменений давления и импульса в сети магистральных газопроводов, истечения газа из образовавшейся в трубопроводе трещины, предотвращения дисбаланса массы и скачкообразных изменений газодинамических показателей сформировалась тенденция постоянного мониторинга состояния сети, согласно которому подтверждение научно-обоснованных достижений математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий.

В нашей Республике в целях бесперебойного обеспечения потребителей природным газом в необходимом количестве ведутся обширные работы по внедрению методов математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий в газотранспортные системы. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 гг. определены такие задачи, как «... внедрение современных международных стандартов и методов корпоративного управления, ... внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления»². При реализации данных задач важным вопросом является разработка математических моделей, численных алгоритмов и программных средств, необходимых для жизненного цикла газотранспортных систем.

¹ https://vuzlii.ru/704080/problema_poteri_prirodnogo_gaza_rossii.

² Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-5099 от 30 июня 2017 года «О мерах по коренному улучшению условий для развития отрасли информационных технологий в республике», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-2158 от 3 апреля 2014 года «О мерах по дальнейшему внедрению информационно-коммуникационных технологий в реальном секторе экономики» и №ПП-3107 от 30 июня 2017 года «О мерах по совершенствованию системы управления нефтегазовой отраслью» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Настоящая работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV - «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Формирование и развитие методов изучения процессов трубопроводного транспорта различных сред непосредственно связаны с исследованиями дисбаланса массы, чему свидетельствуют первичные работы Н.Е.Жуковского. Вопросами дисбаланса массы и распространения волн возмущений, образованных с изменением расхода среды, занимались такие ученые, как Л.С.Лейбензон, И.А.Чарный, Л.В.Шухов, В.П.Юфин, А.А.Ионин, Л.Б.Кублановский, А.А.Гольянов, С.Н.Борисов, П.Ф.Водяник, Т.Н.Лаптева, М.Н.Мансуров, Л.Н.Латышев, Я.С.Марчук, О.Ж.Калинин, Э.В.Врагова, Л.А.Скляр, Liang Sun, T.Davitashvili, W.J.Turner, N.R.Mudford, I.Brodetsky, M.Savich, V.Olunloyo, A.M.Ajofoinbo, S.J.Dugdale и другие.

В частности, узбекскими учеными Ф.Б.Абуталиевым, Э.Б.Абуталиевым, Р.Садуллаевым, Т.Юлдашевым, И.К.Хужаевым, О.Ш.Бозоровым и другими разработаны единые формулы гидравлического расчета для статического режима работы газопроводов с лучевой структурой с учетом их многозвенности, количества параллельных нитей и концентрированных отборов/подкачек газа.

На сегодняшний день разработаны различные способы решения стационарных и нестационарных задач о состоянии трубопроводов с учетом многочисленных факторов. Тем не менее, математические модели по проблемам дисбаланса за счет введения уточняющих факторов не совершенны, а математические модели, численно-аналитические методы и алгоритмы, учитывающие распространения волн уплотнения и разряжения, изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках проектов: №ФА-Ф1-Ф010+Ф016 «Фундаментальные проблемы моделирова-

ния и управления сложными системами и процессами» (2007-2011), №Ф4-ФА-Ф005 «Усовершенствование моделей, разработка и исследование алгоритмических методов решения классов многомерных задач математической физики для областей сложной конфигурации» (2012-2016) Научно-инновационного центра Информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Цель исследования - разработка математических моделей дисбаланса массы в трубопроводах, методов решения соответствующих им задач и исследование особенностей процессов утечки и торможения газа.

Задачи исследования:

модифицировать математическую модель утечки газа с учетом размера просвета в трубопроводе и закона Н.Е.Жуковского об истечении газа в открытом пространстве;

разработать математическую модель процесса распространения волн возмущения в горизонтальных газопроводах, образованных скачкообразными изменениями расхода газа в начале и конце трубопровода;

разработать алгоритм численного решения нестационарной задачи трубопроводного транспорта реального газа с учетом двух масштабов скорости среды.

Объектом исследования являются нестационарные процессы, протекающие в магистральных газопроводах в условиях дисбаланса массового расхода.

Предметом исследования являются особенности распространения волн возмущения давления и скорости потока в горизонтальном и наклонном трубопроводах под воздействием сил трения, гравитации и локальной составляющей силы инерции транспортируемой среды.

Методы исследования. При выполнении диссертационного исследования использованы методы математического моделирования и алгоритмизации, численные методы решения дифференциальных и трансцендентных уравнений, а также компьютерная технология визуализации результатов расчета.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

предложена математическая модель, сформулирован и разработан алгоритм решения задачи об утечке газа из магистрального газопровода, где впервые введены факторы скорости истечения газа по Н.Е.Жуковскому и площади трещины, через которую произошла утечка;

с учетом исходного распределения давления в функционирующем газопроводе решена задача Н.Е.Жуковского о распространении волн уплотнения и разряжения в горизонтальных газопроводах и разработана усовершенствованная математическая модель процесса в зависимости от отдельных и совместных воздействий силы трения и локальной составляющей силы инерции газа;

разработан единый алгоритм расчета частот возмущений в дискретном поле собственных чисел, относящихся к решениям параболических и гиперболических уравнений, которые разделены квазиодномерным случаем;

разработан итерационный способ решения нелинейных уравнений трубопроводного транспорта газа, где учитываются все силовые факторы в изотермическом режиме.

Практические результаты исследования:

использованием выявленных особенностей процесса утечки разработан алгоритм расчета площадь отверстия, место и интенсивность утечки газа газопровода;

на основе решения задачи распространения возмущений в газопроводах определены ожидаемые значения наибольшего давления и их локализации, приводящие к концентрации усталостных напряжений в трубопроводе.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что в работе использованы известная квазиодномерная математическая модель движения реальных жидкостей в горизонтальных и наклонных трубопроводах и многократно апробированный закон Н.Е.Жуковского об ограниченности скорости истечения газа в окружающую среду. Реализация известных методов вычислительной математики и уравнений математической физики способствовала получению достоверных результатов, которые не противоречат природе изучаемых объектов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется разработкой и развитием методов математического и численного моделирования процессов, происходящих на линейном участке магистрального газопровода в условиях дисбаланса с учетом внутренних и внешних факторов.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке информационного обеспечения для проектирования, прогнозирования и оптимального управления деятельностью транспорта газа, а также эффективного использования устройств компрессорных станций.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов работ по разработке и усовершенствованию математических моделей, полученных аналитических решений и разработанных программных продуктов анализа функционирования трубопроводов в условиях дисбаланса массы:

принято Узбекским научно-инженерным обществом нефтяной и газовой промышленности в целях использования при определении гидравлических параметров магистральных газопроводов для анализа процесса утечки газа из линейного участка магистрального газопровода и распространения волн уплотнения и разряжения, образованных торможением газа в начале и конце участка трубопровода (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/9062 от 04.12.2018 г., Справка АО «Узбекнефтегаз» № 02/12-1-120 от 13.06.2019 года). Использование результатов научной разработки позволило сократить

объем работы на 9,5% в ходе анализа процессов распространения волн уплотнения, образованных при утечке газа из линейной части газопровода через отверстие и торможении газа в начале и конце газопровода;

внедрено Управлением магистральных систем «Зарафшон» в целях вычисления изменений давления и массового расхода жидкости при закрытии концов трубопровода (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/9062 от 04.12.2018 г.). Внедрение результатов работы позволило оперативно определить гидравлические показатели потока в зависимости от диаметра, коэффициента сопротивления и уклона, оптимальные режимы подвода жидкости и сократить объемы вычислений на 9,5% при принятии решения по управлению силовыми устройствами, запуску и остановки устройств компрессорных станций в динамическом режиме функционирования сети;

алгоритм вычисления и программное средство, определяющие динамические изменения параметров газопровода и товарного газа пропан в зависимости от исходного давления внедрены в ООО «AXMAN GOLD» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/9062 от 04.12.2018 г.). Внедрение результатов работы позволило сократить объем вычислений на 7-8% при оперативном определении давления пропана в процессе заправки автомобилей и при разработке рекомендаций по оптимальному использованию компрессов в разные периоды.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы обсуждены на 9 международных и 7 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 40 научных работ, из них 10 журнальных статей, в том числе 5 в иностранных и 5 в республиканских журналах, рекомендованных ВАК РУз для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, также получены 3 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит 116 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан, сформулированы цели и задачи, указаны объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений результатов

исследования в практику и сведения об опубликованных работах и о структуре диссертации.

Первая глава диссертации «Аналитический обзор работ в области дисбаланса массового расхода газа в системах магистральных газопроводов» состоит из трех параграфов.

Параграф 1.1 посвящён анализу исследований в сфере математического моделирования процессов утечки газа из магистрального газопровода.

Факторы, приводящие к дисбалансу в учете газа, в работе разделены на три группы. В первую группу входят погрешности в измерениях объема газа. Вторая группа факторов дисбаланса массы в учете газа связана с отсутствием технических средств достоверного учета. Третья группа факторов связана с потерей газа из-за утечки газа в сети, аварий и ремонтных работ, утечки из арматур, в том числе узлов учета, перерасходом газа на собственные нужды, несанкционированным отбором, конденсацией и гидратацией газа.

В этом параграфе проанализированы работы В.А.Селезнева, В.В.Алёшина, С.Н.Прялова, С.А.Бобровского, С.Г.Щербакова, М.А.Гусейнзаде, В.Е.Костюкова, Т.И.Лаптевой, М.Н.Мансурова, А.А.Гольянова, С.Н.Борисова, Л.Б.Кублановского, а также ряд работ из журналов серии Web of Science и отечественных ученых.

Потеря газа может сопровождаться существенными изменениями объема, давления, состава и энергии газовой смеси, о чем идет речь в параграфе 1.2. Здесь проанализированы работы А.В.Татосова, П.С.Уткина, С.Е.Савотченко, А.С.Горлова, М.А.Артемова, Л.А.Кукарского, N.Pouladi, H.Heitmann и других ученых, касающиеся вопросов протекающих в трубопроводах явлений механического, физического и химического характера и разработки методов решения их.

В параграфе 1.3 проанализированы литературные источники, посвященные изучению распространения волн возмущений в условиях дисбаланса массы.

Всякое изменение какого-либо показателя потока и среды в функционирующем газо- и трубопроводе приводит к распространению этого возмущения по линейным участкам сети. Работы Н.Е.Жуковского, И.А.Чарного, В.В.Грачева, С.Г.Щербакова, Я.И.Яковлева, А.В.Татосова, П.С.Уткина, В.А.Рукавишникова, О.П.Ткаченко, ряд работ проф. Р.Садуллаева и учеников посвящены изучению распространения возмущений в трубах. Особо следует отметить работы О.Ш.Бозорова и М.М.Маматкулова, где задачи рассматриваются и решаются в нелинейной постановке.

В конце данного параграфа перечислены известные способы идентификации врезок и утечек нефти и газа из трубопроводов: методы постепенного понижения давления и отрицательных ударных волн, сравнения расходов, радиоактивный и ультразвуковой методы, визуальный и лазерный газоналитический методы, метод вихревых токов и др. По нашему мнению, перспективными являются методы постоянного контроля работы

сети магистральных трубопроводов и применение метода ударных волн Н.Е. Жуковского для оценки и распознавания возмущений, а также принятия решений по их устранению. Исходя из данного суждения и насущных проблем трубопроводного хозяйства, сформулированы задачи диссертационного исследования.

Вторая глава диссертации «Усовершенствование математических моделей и алгоритмов расчёта определения места утечки газа из магистрального газопровода» состоит из трех параграфов.

В параграфе 2.1 приведено описание математической модели утечки газа из магистрального газопровода и изучается процесс аналитического решения сформулированной задачи.

Динамические изменения гидростатического давления p и массового расхода $M = \rho w F$ на элементарном участке газопровода с длиной l описываются урезанными квазиодномерными (1) уравнениями Н.Е.Жуковского:

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{2a}{F} M = 0, \quad \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{F}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} = 0; \quad (1)$$

здесь $2a = \lambda w / (2D)$ – коэффициент силы сопротивления по формуле Дарси-Вейсбаха; λ – коэффициент сопротивления; w – средняя скорость в сечении x ; w_* – характерная скорость потока; D , $F = \pi D^2 / 4$ – диаметр и площадь поперечного сечения трубопровода; c – скорость малых возмущений давления в системе среда-труба, $c = \left(\frac{\rho_0}{k_x} + \frac{2R_0 \rho_0}{E \delta} \right)^{-1/2}$, где ρ_0 – плотность невозмущенной жидкости; E – модуль упругости материала трубы; R_0 – внутренний радиус трубы в невозмущенном состоянии; δ – толщина стенки круглой трубы.

Начальными условиями служат $M(x, 0) = M_H = \frac{F}{2a} \frac{p_H - p_K}{l} = const$,

$p(x, 0) = p_H + \frac{x}{l} (p_K - p_H)$, где p_H и p_K – значения давления в начале и конце участка при $t = 0$. В момент $t = 0$ в сечении $x = \xi$ открылось отверстие с площадью s (рис. 1).

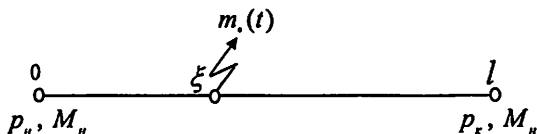


Рис. 1. Утечка газа из участка с длиной l

Скорость истечения газа $u_*(t)$ из отверстия определяется согласно формуле Н.Е.Жуковского: $p(\xi, t) - p_a = c\rho_*(t)u_*(t)$, где $p(\xi, t)$, p_a – давление внутри трубы и вне ее; ρ_* – плотность газа в сечении утечки.

Из равенства интенсивности утечки из газопровода и изменения массового расхода в сечении с утечкой $m_*(t) = s\rho_*(t)u_*(t) = F\rho(\xi, t)w(\xi, t)$ определяется величина скачка массового расхода:

$$M(\xi_{-0}, t) - M(\xi_{+0}, t) = \frac{s}{c}(p(\xi, t) - p_a).$$

При этом, согласно аналогу закона Кирхгофа, слева и справа от сечения утечки давление имеет одинаковое значение: $p(\xi_{-0}, t) = p(\xi_{+0}, t)$.

После начала утечки в течение определенного времени расход газа на входе и выходе участка остается на прежнем уровне:

$$M(0, t) = M(l, t) = M_H = const.$$

Ожидаемое решение относится именно к этому отрезку времени.

С помощью масштабных величин p_H , M_H , l и $\tau = 2al^2/c^2$ переходим к безразмерным переменным. Система уравнений приводится к уравнениям параболического типа, которые решаются методом разделения переменных.

Получены формулы для расчета относительно-избыточного давления

$$\bar{p}(\bar{x}, \bar{t}) = \beta - \alpha\bar{x} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp(-\lambda_n^2 \bar{t}) X_n(\bar{x})$$

и массового расхода в зонах до и после сечения утечки:

$$\bar{M}_1(\bar{x}, \bar{t}) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n \lambda_n}{\alpha} \exp(-\lambda_n^2 \bar{t}) \frac{\sin \lambda_n \bar{x}}{\cos \lambda_n \bar{\xi}},$$

$$\bar{M}_2(\bar{x}, \bar{t}) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n \lambda_n}{\alpha} \exp(-\lambda_n^2 \bar{t}) \frac{\sin \lambda_n (1 - \bar{x})}{\cos \lambda_n (1 - \bar{\xi})}.$$

Здесь $a_n = (\beta - \alpha\bar{\xi})\theta / (\|X_n(\bar{x})\|^2 \lambda_n^2)$, $\alpha = (p_H - p_a) / p_H$, $\beta = (p_a - p_H) / p_H$,

$\gamma = p_H s / (M_H c)$, $\theta = \alpha\gamma$, $G = \alpha\bar{\xi}$, $\|X_n(\bar{x})\|^2 = \frac{\bar{\xi}}{2 \cos^2 \lambda_n \bar{\xi}} + \frac{1 - \bar{\xi}}{2 \cos^2 \lambda_n (1 - \bar{\xi})} + \frac{\theta}{2 \lambda_n^2}$,

$$\int_0^1 X_n(\bar{x}) X_m(\bar{x}) d\bar{x} = \begin{cases} 0, & \text{при } n \neq m, \\ \|X_n(\bar{x})\|^2 & \text{при } n = m; \end{cases}$$

$$X_n(\bar{x}) = \begin{cases} \cos \lambda_n \bar{x} / \cos \lambda_n \bar{\xi} & \text{при } 0 \leq \bar{x} < \bar{\xi}, \\ \cos \lambda_n (1 - \bar{x}) / \cos \lambda_n (1 - \bar{\xi}) & \text{при } \bar{\xi} < \bar{x} \leq 1. \end{cases}$$

При $s = 0$ собственные числа задачи равны $\lambda_n = \pi n / l$. Для определения значения λ_n при $s > 0$ в параграфе 2.2 составлено вековое уравнение

$$f(\lambda) = \cos \lambda \bar{\xi} \cos \lambda (1 - \bar{\xi}) - \frac{\lambda \sin \lambda \bar{\xi}}{\theta} = 0.$$

В зависимости от значения параметра $\theta = \frac{s p_H - p_K}{c M_H}$ предлагаются общий двухэтапный метод нахождения нулей функции $f(\lambda)$, а также частные методы, соответствующие $\bar{\xi} = 0, 0.5$ и 1.0 . 30-и шаговое применение метода деления отрезка пополам позволило обеспечить точность 10^{-10} решения.

С учетом данного алгоритма разработано программное средство для расчета показателей участка магистрального газопровода при утечке.

В параграфе 2.3 представлены результаты расчета по интенсивности утечки при различных заданных показателях объекта. Исходя из физики процесса, спланирован вычислительный эксперимент и определены $p_H = 4.0_{10}5, 8.0_{10}5$ Па; $p_K = 0.5 p_H, 0.9 p_H$; $\alpha = (p_H - p_K) / p_H = 0.1, 0.3, 0.5$; $\beta = (p_a - p_H) / p_H = 78/80, 783/800, 786/800, 79/80$; $s/F = 1.0, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001$, при которых проводились расчеты.

На рис. 2 показана интенсивность утечки для $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.9875$ до времени 2.5τ . В начальный момент безразмерная интенсивность утечки составляет 51.7601 и 46.5186 при $\bar{\xi} = 0$ и $\bar{\xi} = 1$ соответственно. То есть интенсивность потери массы в ~ 50 раз превышает исходный массовый расход. Существенный перепад давления имеет та граница, которая близка к месту утечки, что совпадает с мнением С.А. Бобровского и соавторов.

Результаты показали различный характер изменения давления и расхода в сечении с утечкой: при больших значениях среднего избыточного давления на участке наблюдается более интенсивная потеря массы; при больших площадях s отверстия большие потери сначала наблюдаются в средних значениях ξ , а в последующем – при малых значениях ξ .

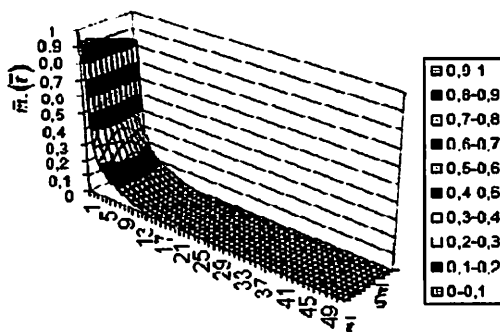


Рис. 2. Изменение интенсивности утечки $\bar{m}(\bar{t})$ в плоскости $(\bar{s}; \bar{\xi})$ ($p_H = 8.0_{10}6$ Па $p_K = 7.2_{10}6$ Па, $p_a = 1.0_{10}5$ Па, $M = 150$ кг/с, $l = 40$ км, $D = 0.992$ м, $s/F = 1$, $c = 380$ м/с, направление 1 – 49 соответствует оси \bar{t} , а $p_1 - p_{10}$ – оси $\bar{\xi}$)

Известные решения по утечке газа, найденные при $m_1(t) = const$, дают близкую нашим решениям картину, полученную при малых значениях параметра s/F . При больших значениях s/F эти решения приводят к различным результатам по характеру изменения показателей.

Третья глава «Распространение волны уплотнения и разряжения в горизонтальном магистральном газопроводе, вызванные мгновенным изменением массового расхода газа» состоит из четырех параграфов.

Рассматриваемый процесс описывается (2) уравнениями

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\lambda \rho w^2}{2D} + \frac{\partial \rho w}{\partial t}, \quad -\frac{\partial p}{\partial t} = c^2 \frac{\partial \rho w}{\partial x}, \quad (2)$$

куда включено уравнение состояния сверхсжимаемого газа $p = Z \rho R T$, где Z – коэффициент сверхсжимаемости газа; R – приведенная газовая постоянная газа.

Из системы уравнений, с введением замены $\tau = ct$ и обозначения $b = \lambda w_0 / (2Dc)$, образовано уравнение относительно массового расхода:

$$\frac{\partial^2 M}{\partial \tau^2} + b \frac{\partial M}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2}.$$

В параграфе 3.1 приведены постановка и аналитическое решение задачи, в которой на входе и выходе участка при $t = 0$ происходят скачкообразные изменения массового расхода от M_0 к M_H и M_K соответственно:

$$M(x, t) = M_H + \frac{x}{l} (M_K - M_H) + \sum_{n=1}^{\infty} T_n^{(m)}(ct) \sin \frac{\pi n x}{l},$$

$$p(x, \tau) = p(0, 0) - \frac{\lambda w_0}{2DF} M_0 x - \frac{c(M_K - M_H)\tau}{Fl} - \\ - \frac{\pi c(M_0 - M_0)}{Fl} \sum_{n=1}^{\infty} n \cos \frac{\pi n x}{l} \int_0^{\tau} T_n^{(m)}(\xi) d\xi.$$

$$\text{Здесь } f_n = \begin{cases} \sqrt{|\mathcal{D}_n|}/2 & \text{при } \mathcal{D}_n < 0, \\ 1 & \text{при } \mathcal{D}_n = 0, \\ \sqrt{\mathcal{D}_n}/2 & \text{при } \mathcal{D}_n > 0; \end{cases} \quad \mathcal{D}_n = b^2 - \frac{4\pi^2 n^2}{l^2},$$

$$b_n = \frac{2}{\pi n} [(-1)^n (M_K - M_0) - M_H + M_0], \quad a_n = \frac{b}{2f_n} b_n,$$

$$\text{При } \mathcal{D}_n > 0: \quad T_n^{(1)}(\tau) = e^{-b\tau/2} \left(a_n \operatorname{sh} \frac{\sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} \tau + b_n \operatorname{ch} \frac{\sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} \tau \right),$$

$$\int_0^{\tau} T_n^{(1)}(\xi) d\xi = \frac{a_n + b_n}{\sqrt{\mathcal{D}_n} - b} \left(e^{\frac{-b + \sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} \tau} - 1 \right) + \frac{a_n - b_n}{\sqrt{\mathcal{D}_n} + b} \left(e^{\frac{-b - \sqrt{\mathcal{D}_n}}{2} \tau} - 1 \right);$$

$$\text{при } \mathcal{D}_n = 0: \quad T_n^{(2)}(\tau) = e^{-b\tau/2} (a_n \tau + b_n),$$

$$\int_0^{\tau} T_n^{(2)}(\xi) d\xi = \frac{2a_n}{b^2} (2 - (b\tau + 2)e^{-b\tau/2}) + \frac{2b_n}{b} (1 - e^{-b\tau/2});$$

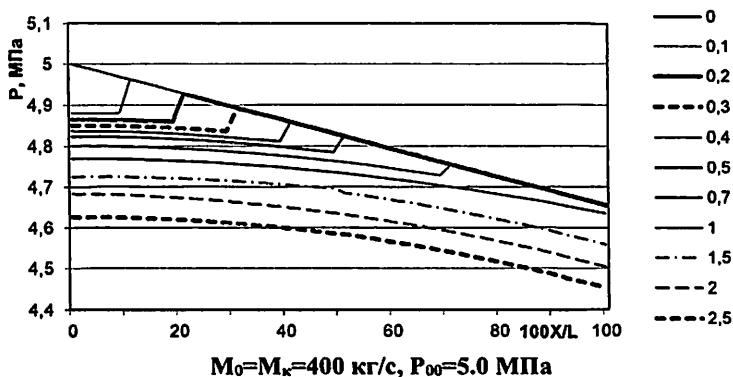
$$\text{при } \mathcal{D}_n < 0: T_n^{(3)}(\tau) = e^{-b\tau/2} \left(a_n \sin \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} \tau + b_n \cos \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} \tau \right),$$

$$\int_0^{\tau} T_n^{(3)}(\xi) d\xi = \frac{I^2}{2\pi^2 n^2} \left((\sqrt{|\mathcal{D}_n|} b_n - a_n b) e^{-b\tau/2} \sin \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} \tau + (\sqrt{|\mathcal{D}_n|} a_n - b_n b) \left(1 - e^{-b\tau/2} \cos \frac{\sqrt{|\mathcal{D}_n|}}{2} \tau \right) \right).$$

В параграфе 3.2 обсуждаются результаты расчетов по гиперболическому уравнению, которое образуется при игнорировании силы сопротивления трения. Получены кривые массового расхода и давления газа для различных исходных данных. Проанализированы скачкообразные изменения давления при отражении волн уплотнения и разряжения на концах участка, величина изменений которых определяется третьим членом в решении $p(x, t)$. Приведены графики, полученные для трех вариантов закрытия граничных сечений.

В параграфе 3.3 обсуждаются результаты расчетов по параболическому уравнению, которое получается при игнорировании инерционного члена в уравнении сохранения импульса. Выявлено, что наблюдается целенаправленное стремление массового расхода к стационарному решению.

Если результаты двух предыдущих параграфов относятся к приближениям «длинного» и «короткого» газопроводов в практике инженерного расчета, то результаты параграфа 3.4 обобщают их для средних расстояний, так как в этом случае доли силы сопротивления и локальной составляющей силы инерции соизмеримы. Примерные результаты этого параграфа представлены на рис. 3.



$M_0 = M_k = 400$ кг/с, $P_{00} = 5.0$ МПа
Рис. 3. Изменение давления газа по длине участка при закрытии входного сечения

Результаты главы демонстрируют, что сначала за счет силы трения гасятся высокочастотные возмущения ($\mathcal{D}_n < 0$), а потом убывает амплитуда квазирезонансной частоты ($\mathcal{D}_n = 0$). Низкочастотные возмущения ($\mathcal{D}_n > 0$) хранятся дольше. Соответственно для адекватного описания процесса распространения волн в условиях дисбаланса массы необходимо учитывать весь спектр возмущений. В связи с этим при расчетах по решениям данной главы учитываются первые 400 членов ряда в решениях.

Четвертая глава «Итерационный метод решения уравнений трубопроводного транспорта реального газа» посвящена разработке и апробации численного метода решения уравнений трубопроводного транспорта газа в изотермическом режиме с учетом всех силовых факторов.

Сеть газопровода схематически представлена так: в начале участка нагнетатель обеспечивает постоянное давление p_0 , а из конца участка ($x = l$) газ отбирается с расходом M_l . Параметры газа (T, Z, R, ρ_0, p_0) и участка ($l, D, \lambda, \sin \alpha$) заданы.

При моделировании процесса использованы следующие уравнения:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\lambda'}{2D} \rho u^2 + \rho g \sin \alpha, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

где u – скорость газа в сечении x в момент времени t ; λ' – коэффициент сопротивления; $\sin \alpha$ – синус уклона трассы на участке.

С учетом уравнения состояния реального газа $p = \gamma p_0$ ($\gamma = ZRT = c^2$) и введением новой искомой функции $\varphi = \ln(\rho / \rho_0)$ (ρ_0 – характерная плотность газа) система уравнений (3) принимает вид

$$\frac{\partial W}{\partial t} + A \frac{\partial W}{\partial x} = B,$$

$$\text{где } W = \begin{pmatrix} u \\ \varphi \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} u & \gamma \\ 1 & u \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} -\frac{\lambda'}{2D} u^2 + bg \sin \alpha \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Составлены диагональная $\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}$ ($\lambda_{1,2} = u \pm c$) и фундаментальная

$V = \begin{pmatrix} 1 & c \\ 1 & -c \end{pmatrix}$ матрицы, с применением которых уравнение записывается в виде

$$\frac{\partial W}{\partial t} + V^{-1} \Lambda V \frac{\partial W}{\partial x} = B.$$

Умножаем обе стороны данного уравнения на V слева. В результате последнее матричное уравнение распадается на отдельные уравнения:

$$\begin{cases} \frac{\partial f_1}{\partial t} + (u+c) \frac{\partial f_1}{\partial x} = -\frac{\lambda'}{2D} u^2 + bg \sin \alpha, \\ \frac{\partial f_2}{\partial t} + (u-c) \frac{\partial f_2}{\partial x} = -\frac{\lambda'}{2D} u^2 + bg \sin \alpha, \end{cases}$$

где введены новые искомые $f_1 = u + c\varphi$ и $f_2 = u - c\varphi$. При известных значениях искомых f_1 и f_2 скорость потока определяется по формуле

$$u = \frac{f_1 + f_2}{2}, \text{ плотность - по формуле } \rho = \rho_0 e^{\frac{f_1 - f_2}{2c}}, \text{ а давление - по формуле}$$

$$p = \rho_0 e^{\frac{f_1 - f_2}{2c}}.$$

Во втором параграфе главы переходим к безразмерным переменным и приводим численный метод решения задачи.

При обозначениях $q = \frac{\lambda l}{2D}$, $r = -\frac{gl \sin \alpha}{c^2}$ уравнения приобретают вид

$$\frac{\partial \bar{f}_1}{\partial \bar{t}} + (\bar{u} + 1) \frac{\partial \bar{f}_1}{\partial \bar{x}} = -q \bar{u}^2 + r, \quad \frac{\partial \bar{f}_2}{\partial \bar{t}} + (\bar{u} - 1) \frac{\partial \bar{f}_2}{\partial \bar{x}} = -q \bar{u}^2 + r.$$

С учетом направлений распространения граничных возмущений уравнения аппроксимированы в явной и неявной формах. В частности, при неявной аппроксимации уравнений составлены рекуррентные формулы:

$$\begin{aligned} f_{1i}^{n+1} &= [1 + \sigma(u_i^n + 1)]^{-1} \left[f_{1i}^n + \sigma(u_i^n + 1) f_{1i-1}^{n+1} - \frac{\tau q}{2} ((u_i^n)^2 + (u_{i-1}^n)^2) + \tau r \right], \\ f_{2i}^{n+1} &= [1 - \sigma(u_i^n - 1)]^{-1} \left[f_{2i}^n - \sigma(u_i^n - 1) f_{2i+1}^{n+1} - \frac{\tau q}{2} ((u_i^n)^2 + (u_{i+1}^n)^2) + \tau r \right]. \end{aligned}$$

При известном значении $f_2(0, t)$ на входе скорость потока определяется в виде $u_0^n = f_{20}^n + \varphi_0^n$ и с привлечением u_0^n находятся $f_{10}^n = 2\varphi_0^n + f_{20}^n$.

На выходе из участка задано условие постоянства массового расхода $u\rho = \frac{M(1, t)}{f} = Q_r = \text{const}$. Согласно введенным заменам, данное условие

представлено в виде $ue^{-u} = Q_r e^{-f_1}$. Полагая известным значение f_1 , составили трансцендентное уравнение $F(u) = Q_r e^{-f_1} - ue^{-u} = 0$.

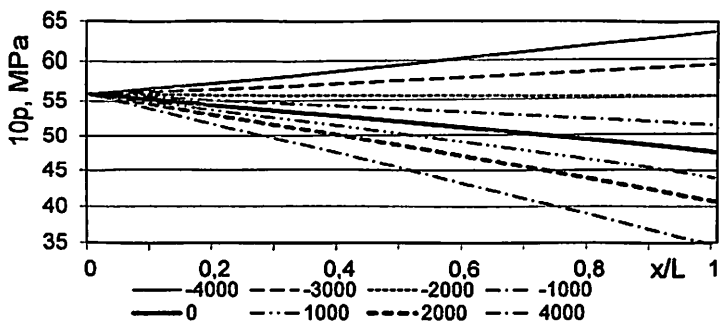
Исходя из особенностей данного уравнения и с использованием метода касательных Ньютона организован процесс последовательного приближения по формуле $u^{k+1} = u^k + \frac{Q_r e^{u^k - f_1} - u^k}{1 - u^k}$. Процесс приближения продолжается до

выполнения условия $F(u^{k+1}) < 10^{-8}$. Согласно найденному значению $u(1, t)$ и известному значению $f_1(1, t)$ определены граничные значения

$$f_{2N_x}^{n+1} = 2u_{N_x}^n - f_{1N_x}^n, \quad \varphi_{N_x}^n = \ln(Q_r / u_{N_x}^n).$$

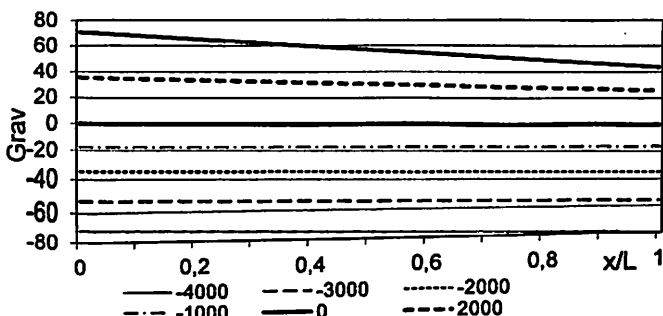
По представленному численному методу составлена программа расчета в среде Delphi 7.

Через каждые 5000 приближений проверяется выполнение условий по скорости, φ_i^n и массовому расходу. Достоверность результатов расчета проверяли двумя способами. В первом способе сравнивали вычисленные значения давления $x=1$ км для различных значений длины участка l . Во втором способе результаты расчета давления сравнивали с результатами, рассчитанными по значениям из статьи [Садуллаев Р. и др. Расчет магистрального газопровода с учетом рельефа местности // Газовая промышленность. – Москва, 2003. – № 8. – С. 58-59.]. В обоих случаях фиксировали совпадение первых пяти значащих разрядов давления.



$l = 20$ км, $p_0 = 5.6$ МПа, $M = 250$ кг/с

Рис. 4. Изменение давления по длине участка при различных значениях изменения высоты H



$l = 20$ км

Рис. 5. Доля силы гравитации при формировании градиента давления при различных перепадах высоты H

Рассмотрены различные варианты исходных данных и определены значения давления и скорости по длине участка. На рис. 4 приведены изменения давления на участке с $l = 20$ км при различных перепадах высоты трассы.

Исследованы путевые изменения градиента давления и его составляющих при различных условиях. Выявлено, что при трубопроводном транспорте реального газа также образуется постперевальный режим течения, когда по спускающейся вниз трассе сила трения компенсируется частью потенциальной энергии гравитации (верхние две кривые на рис. 5), лишняя часть которой накапливается в виде потенциальной энергии сжатия газа, т.е. вниз по потоку давление возрастает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертационной работе на тему «Модели и алгоритмы анализа режимов транспортировки газа по магистральному газопроводу в условиях дисбаланса массового расхода» получены следующие основные результаты.

1. Проведен краткий аналитический обзор работ по математическому моделированию и разработке численных методов и программных продуктов трубопроводной транспортировки сжимаемых и несжимаемых сред, который позволил сформулировать цель и задачи диссертационного исследования.

2. На основе гипотезы Н.Е.Жуковского об ограниченности скорости истечения газа из газопровода разработана адекватная математическая модель утечки газа из действующего газопровода, где впервые удалось учесть начальное распределение гидростатического давления.

3. Вычислительный эксперимент по аналитическому решению позволил выявить особенности функционирования газопровода в условиях утечки газа в зависимости от четырех безразмерных комплексов процесса с участием входного, выходного и атмосферного давлений, координаты сечения утечки и длины участка, а также просвета утечки и полного поперечного сечения трубопровода. Их рекомендуется использовать при идентификации утечки газа.

4. В рамках модели Н.Е.Жуковского предложена модификация модели процесса распространения возмущений импульса, связанная с торможением газа на одном и обоих концах горизонтального функционирующего газопровода. Решением соответствующей задачи доказано, что временные изменения амплитуды отдельных частот возмущений выражаются с участием гиперболических, тригонометрических и линейных функций, которые соответствуют гасящимся, проникающим модам и квазирезонансному случаю.

5. Выявлены особенности распространения возмущений давления и расхода газа для случаев учета только локальной составляющей силы инерции газа в квазиодномерном уравнении сохранения импульса, когда

уравнение имеет гиперболический вид, только при учете силы трения, когда уравнение имеет параболический вид и при учете обеих сил, когда уравнение имеет вид урезанного телеграфного уравнения. В результате удалось выделить особенности объекта исследования, свойственные коротким и длинным газопроводам и газопроводам со средней длиной.

6. Введением аналогов бегущих волн разработан численный метод решения нелинейных уравнений трубопроводного транспорта газа при задании входного давления и выходного массового расхода. Это позволило определить недостающие составляющие граничных условий и распределения давления и скорости потока вниз по потоку.

7. При известных входном давлении и выходном массовом расходе газа изучен градиент давления, который формируется под воздействием силы трения и гравитации. Выявлено, что при значительных отрицательных уклонах трассы возможен вариант образования постперевального режима течения, когда энергия гравитации преобразуется в потенциальную энергию сжатия газа, т.е. давление увеличивается вниз по потоку.

8. Результаты диссертационного исследования использованы Узбекским научно-инженерным обществом нефтяной и газовой промышленности РУз, Управлением магистральных систем «Зарафшан», а также ООО «АХМАН GOLD». В результате объем вычислений для анализа распространения волн уплотнения в газопроводах и трубопроводах сокращается на 7-9,5%; при оперативном определении давления пропана – на 7-8%; при этом появляется возможность определения оптимальных режимов подвода жидкости и газа.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

**SCIENTIFIC AND INNOVATION CENTER OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES AT THE TASHKENT
UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

MAMADALIEV KHUSNIDDIN ABDIJALILOVICH

**MODELS AND ALGORITHMS FOR ANALYZING THE MODES OF GAS
TRANSPORTATION THROUGH THE MAIN GAS PIPELINE IN
CONDITIONS OF MASS FLOW IMBALANCE**

05.01.07 – Mathematical modeling. Numerical methods and software complexes

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

Tashkent – 2019

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD/T60.

The dissertation has been prepared at Scientific and Innovation Center of Information and Communication Technologies at the Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational portal www.ziyounet.uz.

Scientific adviser:

Khujaev Ismatulla Kushaevich
Doctor of Technical Sciences,
Senior Fellow

Official opponents:

Abdurakhimov Bakhtiyor Fayzievich
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor

Malikov Zafar Mamatqulovich
Doctor of Technical Sciences,
Senior Fellow

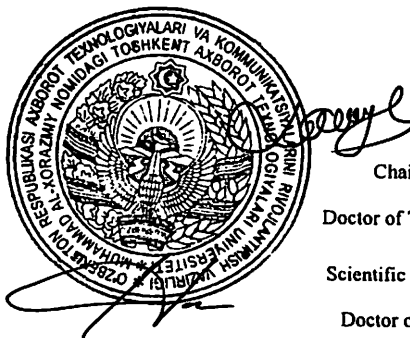
Leading organization:

Samarkand state university

The defense will take place "27" september 2019 at 14⁰⁰ the meeting of Scientific council No. DSc.27.06.2017.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 2598). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on "13" september 2019 y.
(mailing report No. 14 on "22" august 2019 y.).



R. Kh. Khamdamov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

F.M. Nuraliev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent

N. Ravshanov
Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific
Degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to develop mathematical models and methods for solving the problems of mass imbalance in pipelines and to investigate the features of gas leakage and stagnation processes.

The object of the research work are non-stationary processes occurring in trunk pipelines during states of mass flow imbalance.

The scientific novelty of the research work is as follows:

the mathematical model of the problem of gas leakage from trunk pipeline was developed, the problem was formulated and analytically solved, for the first time there were introduced such factors as gas outflow rate according to N.E.Zhukovsky and the crack area through which gas leakage occurred;

the problem of N.E.Zhukovsky on the propagation of waves of compaction and discharge in horizontal gas pipelines was solved taking into account the initial pressure distribution in a functioning gas pipeline, there was developed the improved mathematical model of the process depending on the individual and joint effects of gas friction force and the local component of gas inertia force;

the common algorithm was developed for calculating perturbation frequencies in a discrete field of eigenvalues related to solutions of parabolic and hyperbolic equations, which are separated by the quasi-one-dimensional case;

the iterative method was developed for solving nonlinear equations of the pipeline gas transport, where all power factors are taken into account in the isothermal mode.

Implementation of the research results. Based on the results of work on the development and improvement of mathematical models, obtained analytical solutions and developed software for analyzing the functioning of pipelines in conditions of mass imbalance:

adopted by the Uzbek Scientific-Engineering Society of the oil and gas industry in order to determine the hydraulic parameters of gas pipelines to analyze the process of gas leakage from the linear section of the gas pipeline and to analyze the propagation of compaction and vacuum waves formed by gas braking at the beginning and end of the pipeline section. (Certificate No. 33-8 / 9062 of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated 04.12.2018; Certificate of «Uzbekneftgaz» JSC No. 02 / 12-1-120 dated 13.06.2019). Using the results of scientific development has reduced the work by 9.5% during the analysis of the processes of propagation of compaction waves formed when gas leaks from the linear part of the pipeline through the hole and gas braking at the beginning and end of the pipeline;

introduced by the «Zarafshon» Main Systems Department to calculate changes in pressure and mass flow rate at closing of the pipeline ends (Certificate No. 33-8 / 9062 of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated 04.12.2018). The implementation of the results allowed to determine the hydraulic flow indicators depending on the diameter, coefficient of resistance and slope, determine the optimal fluid supply conditions and reduce the volume of calculations by 9.5%

when making decisions on controlling power devices, starting and stopping devices of compressor stations in dynamic mode network operation;

the computation algorithm and software determining the dynamic changes in the parameters of the gas pipeline and propane gas, depending on the initial pressure, were introduced in AXMAN GOLD LLC (Certificate No. 33-8 / 9062 of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated 04.12.2018). The implementation of the results of the research work reduced the amount of calculations by 7-8% in the operational determination of the pressure of propane in the process of refueling cars and in developing recommendations on the optimal use of compresses in different periods.

The outline of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendixes. The dissertation volume is 116 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Об отборе газа из действующего газопровода // Узб. журнал «Проблемы информатики и энергетики». - Ташкент, 2012. – № 4-5. – С. 17-20 (05.00.00; № 5).
2. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. О динамическом состоянии элементарного участка магистрального газопровода при мгновенном начале концентрированного отбора газа с постоянной интенсивностью // Вестник ТашГТУ. - Ташкент, 2011. - № 3-4. – С. 9-12 (05.00.00; № 16).
3. Mamadaliyev X.A., Khujaev I.Q. Mathematical model of the pipeline connected to the ends of an area with dampers of pressure // American Journal of Mathematical and Computational Sciences. – Wilmington (USA): AASCIT. – 2016. - vol.1, № 1. - pp. 43-49 (05.00.00; № 1).
4. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А., Ходжаев Ш.Т. Особенности распространения волн возмущений скорости потока в горизонтальном газопроводе, образованных мгновенным изменением массового расхода // Информационные технологии моделирования и управления. – Воронеж, 2017. - № 5 (107). – С. 357-367 (05.00.00; № 43).
5. Mamadaliyev X.A., Khujaev I.Q. Распространение волны уплотнения, вызванной торможением жидкости в наклонном трубопроводе // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. Issue: 5. – vol. 37. Published: 30.05.2016 Section 2. Applied mathematics. Mathematical modeling. – pp. 105-114.
6. Khujaev I.Q., Mamadaliyev H.A., Boltibaev Sh.K. Distribution of wave spread wave perturbances in horizontal gas pipeline under the influence of friction and inertia facilities // International Scientific Journal: Theoretical & Applied Science, Philadelphia, USA. – 2017. – vol. 53. – Issue 9. – pp. 155-163.
7. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Аналитическое решение задачи о распространении волны уплотнения в наклонном трубопроводе, вызванное торможением жидкости // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2015. – № 2. – С. 65-79.
8. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Квазидномерная модель и аналитическое решение задачи о распространении волн в трубопроводе с демпфером возмущений давления // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2016. – № 1. – С. 46-59.
9. Хамидов А.А., Закиров А.Х., Мамадалиев Х.А. Об образовании пограничного слоя газа на поверхности лопасти нагнетателя // Узб. журнал нефти и газа. - Ташкент, 2010. – № 2. – С. 32-34.
10. Mamadaliyev Kh., Khujaev I., Boltibaev Sh. Modelling the propagation of mass consumption waves in the pipeline with damper of pressure disturbances. J. Ponte. – Florence (Italy). – vol. 74, Issue 8, Aug 2018. - pp. 163-170.

11. Sadullaev R., Hujjev I.K., Aliev F.A., Mamadaliev H.A. Mathematical modelling of the problem about gas outflow from the short gas pipeline in the pumping-in check stage // Abstracts of the third congress of the world mathematical society of Turkic countries. Almaty, June 30 – July 4, 2009. – vol. 2. – pp. 180-181.

12. Садуллаев Р., Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А., Махкамов М.К. Изменение показателей линейного участка магистрального газопровода при мгновенном начале утечки // Материалы Международной конференции по распространению упругих и упругопластических волн, посвященной 100-летию со дня рождения академика, героя Социалистического Труда Халила Ахмедовича Рахматулина. - Бишкек, 2009. – С. 356-358.

13. Садуллаев Р., Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Моделирование утечки газа из магистрального газопровода // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы X международной научно-методической конференции. 11-12 февраля 2010. - Воронеж, 2010. – Т. 2. – С. 176-181.

14. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А., Алиев Ф.А. Аналитическое решение прямой задачи утечки жидкости и газа из действующего трубопровода // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы IX Международной конференции. - Москва (Россия) – Котону (Бенин). - 13-19 сентября 2010. – С. 473-476.

15. Khuzhaev I.Q., Sadullaev R., Mamadaliev Kh.A. Model of outflow of gas from a main gas pipeline // Journal of Mathematics and Technology, ISSN: 2078-0257. April, 2010. – Vaku, 2010. - № 2. – P. 87-91.

16. Мамадалиев Х.А. Задача опрессовки элементарного участка горизонтального трубопровода // Матеріали та програма науково-технічної конференції. 20-25 квітня 2015 року. – Суми: Сумський державний університет, 2015. – 235 с.

17. Мамадалиев Х.А. Динамика нагнетания жидкости/газа в элементарный участок горизонтального трубопровода // Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції. У чотирьох частинах. - Харків, 2015. - Ч. IV. – С. 228.

18. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Распространение волны уплотнения в трубопроводе с ресивером // Компьютерное моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях: Материалы XVI Международной научно-методической конференции. 11-12 февраля 2016. - Воронеж, 2016. – С. 273-278.

19. Садуллаев Р., Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Параметрическая идентификация процессов утечки газа из магистрального газопровода // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Сборник научных статей.– М.: Центр информационных технологий в природопользовании, 2009. – Вып. 14. - С. 133-138.

20. Садуллаев Р., Ахмедов Д.Д., Мамадалиев Х.А. Постановка задачи и пути реализации решения единой технологической системы «Пласт-

скважина» // Совместный выпуск Узбекского журнала «Проблемы информатики и энергетики» и сборника научных трудов «Вопросы вычислительной и прикладной математики» по материалам Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и пути развития информационных технологий». 23-25 сентября 2008. - Ташкент, 2008. - С. 177-181.

21. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Решение задачи об утечке жидкости и газа из трубопровода в рамках теории Н.Е. Жуковского // Современные проблемы механики: Материалы Международной научно-технической конференции. 23-24 сентября 2009. - Ташкент, 2009. - С. 203-207.

22. Хужаев И.К., Куканова М.А., Мамадалиев Х.А. Исследование движения газа в магистральных газопроводах при кусочно-постоянном изменении расхода на концах участка с учетом силы трения // Совместный выпуск Узбекского журнала «Проблемы информатики и энергетики» и сборника научных трудов «Вопросы вычислительной и прикладной математики» по материалам Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и пути развития информационных технологий». 23-26 сентября 2009. - Ташкент, 2009. - С. 119-123.

23. Мамадалиев Х.А. Магистрал газ кувуридан газ оқиб йўқотилиши жараёнининг характеристик масаласини сонли ечиш усули // Ёш математикларнинг янги теоремалари - 2009: Республика илмий анжумани материаллари. 6-7 ноябрь 2009. - Наманган, 2009. - Б. 163-164.

24. Алиев Ф.А., Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Математическая модель утечки газа из действующего газопровода с учетом интенсивности потери массы // Мамлакатимизни модернизация қилиш ва қучли фуқаролик жамияти барпо этишда илм, фан-технологиянинг ўрни: Республика илмий-техник анжумани материаллари. 29-30 апрель 2011. - Андижон: АндМИИ, 2011. - Б. 47-49.

25. Мамадалиев Х.А., Ахмедов Д.Д. Аналитическое решение задачи о несанкционированном отборе газа в элементарном участке магистрального газопровода // Современное состояние и перспективы развития информационных технологий: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. 5-6 сентября 2011. - Ташкент, 2011. - Т. II. - С. 133-138.

26. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Решение задачи о несанкционированном отборе газа из элементарного участка магистрального газопровода // Инновация-2011: Материалы Международной научной конференции. 25-27 октября 2011. - Ташкент, 2011. - С. 269-270.

27. Мамадалиев Х.А. Махкамов М.К. Модель отбора газа из газопровода // Современные материалы, техника и технологии в машиностроении: Материалы Международной научно-практической конференции. 19-20 апреля 2012. - Андижан, 2012. - С. 335-338.

28. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Математическая модель для изучения особенностей динамических показателей магистрального

газопровода при утечке газа // Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития: Материалы Международной научно-технической конференции. 14-16 мая 2013. - Навои, 2013. – С. 524-525.

29. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. О распространении волны уплотнения по наклонному трубопроводу // Перспективы эффективного развития информационных технологий и телекоммуникационных систем: Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции. 13-14 марта 2014. - Ташкент, 2014. - Ч. 1. - С. 170-172.

30. Mamadaliyev X.A. Dynamic changes of parameters of fluid backflow in the inclined pipeline with consumption disabled // Transactions of the international scientific conference: Perspectives for the development of information technologies ITPA-2014. – Tashkent, 2014. – pp. 180-183.

31. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Аналитическое решение задачи о первой стадии опрессовки элементарного участка газопровода с учетом характеристики нагнетателя // Фан, таълим ва ишлаб чикариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологияларини қўллашнинг хозирги замон масалалари: Республика илмий-техник анжуманининг маърузалари тўплами. - Нукус, 2015. - 3-қисм. – Б. 434-438.

32. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Задачи прекращения отбора и закачки газа в наклонные газопроводы при частичном учете силы инерции // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. 7-8 сентября 2015. - Ташкент, 2015. – С. 260-266.

33. Mamadaliyev X.A., Khujayev I.Q. The problem of compression wave distribution to the pipeline section // Современные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хорезми 2016: Материалы V Международной конференции. 9-10 ноября 2016. – Бухара: Бухарский Государственный университет, 2016. – С. 76-78.

34. Алиев Ф.А., Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Распространение возмущений давления и скорости на участке с воздушным колпаком, образованных полным или частичным прекращением отбора жидкости // Машинасозликда замонавий материаллар, техника ва технологиялар: Халқаро илмий-техникавий анжуман мақолалари тўплами. - Андижон: Андижон машинасозлик институти, 2016. – Б. 63-67.

35. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Распространение волны уплотнения на участке трубопровода, снабженном демпферами давления на обоих концах // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. - Джизак, 5-6 сентября 2016. - Ташкент, 2016. – С. 165-169.

36. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. О численном решении одного трансцендентного уравнения для задач трубопроводной транспортировки жидкости // Инновация-2016: Материалы XXI Международной научно-

практической конференции. 26-27 октября 2016. – Ташкент, 2016. – С. 245-246.

37. Мамадалиев Х.А. Распространение волны возмущения массового расхода газа на элементарном участке газопровода с ресивером, вызванной торможением газа в конце участка // Прочность конструкций, сейсродинамика зданий и сооружений: Материалы Международной научно-технической конференции. 12-14 сентября 2016. - Ташкент, 2016. – С. 285-287.

38. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Программное средство «Утечка газа в магистральном газопроводе» // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 02572. 24.08.2012 г.

39. Хужаев И.К., Мамадалиев Х.А. Расчет процесса распространения волны уплотнения малосжимаемой жидкости в наклонном трубопроводе // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 02942. 30.12.2014 г.

40. Хужаев И.К., Болтибаев Ш.К., Мамадалиев Х.А. Расчет распространения волны возмущения на элементарном участке газопровода с ресивером, вызванной торможением газа в конце участка // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 04754. 29.09.2017 г.

Автореферат “Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими 60x84¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 88.

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