

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

САДИКОВ РУСТАМЖОН ТОХИРОВИЧ

БЎЛАКЛИ БИР ЖИНСЛИ БЎЛМАГАН ҒОВАК МУҲИТДА
СУЮҚЛИКЛАР ФИЛЬТРАЦИЯ ЖАРАЁНЛАРИНИ МАТЕМАТИК
МОДЕЛЛАШТИРИШ

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва
дастурлар мажмуи

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

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

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

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

Садиков Рустамжон Тохирович

«Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак мухитда суюқликлар фильтрация
жараёнларини математик моделлаштириш». 3

Садиков Рустамжон Тохирович

«Математическое моделирование процессов фильтрации жидкостей в
кусочно-неоднородной пористой среде» 21

Sadikov Rustamjon Toxirovich

«Mathematical modeling of filtration processes of liquids in a piecewise
inhomogeneous porous medium» 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 43

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

САДИКОВ РУСТАМЖОН ТОХИРОВИЧ

БЎЛАКЛИ БИР ЖИНСЛИ БЎЛМАГАН ҒОВАК МУҲИТДА
СУЮҚЛИКЛАР ФИЛЬТРАЦИЯ ЖАРАЁНЛАРИНИ МАТЕМАТИК
МОДЕЛЛАШТИРИШ

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва
дастурлар мажмуи

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/Г2089 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар: Назирова Элмира Шодмоновна
техника фанлари доктори, доцент

Расмий оппонентлар: Равшанов Нормухмад
техника фанлари доктори, профессор
Жабборов Насриддин Мирзоодилович
физика-математика фанлари доктори, профессор


Етакчи ташкилот: Тошкент давлат транспорт университети


Диссертация ҳимояси Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «17» 12 соат 16⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).


Диссертация билан Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (231 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44.

Диссертация автореферати 2021 йил «9» декабр кuni тарқатилди. (2021 йил «01» декабр даги 40 рақамли реестр баённомаси.)




Р.Х. Хамдамов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор


Ф.М. Нуралиев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари доктори, доцент


Ш.А. Садуллаева
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
физика-математика фанлари доктори, доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда нефть ва газ саноатини ривожлантиришда олиб борилаётган илмий, илмий-амалий тадқиқотлар куннинг долзараб масалаларидан ҳисобланиб келмоқда. Бу соҳада нефть ва газ конларининг янгиларини излаб топиш ва мавжуд конларнинг имкониятларидан тўлақонли фойдаланиш, қазиб олинаётган нефть ва газ маҳсулотлари ҳажмини ошириш бўйича олиб борилаётган илмий тадқиқот ишлари, математик моделлар ва самарали сонли алгоритмлар ҳамда дастурий таъминотларни ишлаб чиқишга катта эътибор берилмоқда. Бундай масалаларнинг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш муаммосига АҚШ, Канада, Франция, Хитой, БАА, Эрон, Россия Федерацияси, Украина, Қозоғистон, Озарбайжон ва бошқа шу каби ривожланган мамлакатларда ҳам катта эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда нефть ва газ конлари ишлаши ҳамда уларни қазиб олиш жараёнида бир жинсли бўлмаган қатламларда нефть ва газларнинг мураккаб филтрланиш жараёнини тадқиқ қилишда келиб чиқадиган масалаларни ечишни математик моделлари, самарали сонли алгоритмлари ҳамда дастурий таъминотларини ишлаб чиқишга катта эътибор берилмоқда. Ҳозирги кунда ҳам нефть ва газларнинг ғовак муҳитда фильтрация масаласи учун кўплаб математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотлар яратишга эътибор катта бўлиб қолмоқда. Бу эса шуни кўрсатадики, кўп қатламли нефть ва газ конларининг ғовак муҳитларида бўладиган мураккаб жараёнларини тадқиқ қилиш ва башорат қилиш имконини берувчи математик моделлар, сонли натижаларни таҳлил қилиш ҳамда визуал икки ва уч ўлчамли график ва анимация формаларида тақдим этувчи компьютерли моделлар яратиш ҳисоблаш алгоритмларини такомиллаштириш куннинг асосий вазифалардан бири ҳисобланади. Шу билан бирга, ўзаро динамик алоқага эга кўп қатламли муҳитларда суюқликлар ностационар жараёнларининг такомиллаштирилган математик моделларини, самарали сонли ҳисоблаш алгоритмларини ва дастурий мажмуаларини ишлаб чиқиш мақсадли илмий тадқиқотлардан ҳисобланади.

Республикамизда ҳам нефть ва газ саноатини ривожлантиришда янги конларни излаб топиш, нефть ва газ конларида мониторинг тизимини жорий этиш, мавжуд конларнинг имкониятларидан тўлақонли фойдаланиш, қазиб олинаётган нефть ва газ маҳсулотлари ҳажмини ошириш бўйича олиб борилаётган илмий тадқиқот ишлари учун математик моделлар, самарали сонли алгоритмлар ҳамда дастурий таъминотларни яратиш бўйича тадқиқот ишларини олиб боришга катта эътибор қаратилмоқда. 2017 — 2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича ҳаракатлар стратегиясини «...иқтисодиётнинг муҳим тармоқлари, жумладан, нефть ва газ саноати ҳам ашё захирасини кўпайтириш, ... , нефть ва газ конларидан фойдаланишнинг геодинамик жараёнларга таъсирини аниқлаш, нефть ва газ конларидан фойдаланиш билан боғлиқ прогнозлаш

имкониятини яратиш»¹ вазифалари белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда замонавий ахборот технологиялар асосида тадқиқ қилинаётган жараёнга таъсир қилувчи турли хил омилларни ҳисобга олган ҳолда математик моделлаштириш, ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишнинг самарали алгоритми ва дастурий мажмуаларини яратиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясига мувофиқ, нефть-газ саноати соҳасида ҳам қатор ўзгаришлар амалга оширилди. Жумладан, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2020-йил 25-ноябрдаги 746-сон қарори «Нефть ва газ конларини ўзлаштиришнинг сейсмогеодинамик жараёнларга таъсирини мониторинг қилиш тизимини такомиллаштириш тўғрисида» қарорларида ва мазкур соҳага тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Суюқлик ва газлар фильтрацияси жараёнларининг математик моделларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш, шунингдек уларнинг яқинлашувчи-аналитик ечимларини куриш ва сонли усулларда ечишга бағишланган тадқиқот ишлари бир қанча чет эл олимлари Х.Азиз, Э.Сеттари, N.B.Lopuh, A.Monteiro, S.Banerjee, G.I.Barenblatt, M.Chraibi, V.F.Piven, F.Boyer, C.Lapuerta, S.Minjeaud, A.X.Мирзаджанзаде, М.М.Хасанов, Б.Б.Лапук, К.С.Басниев, С.Н.Закиров, Д.Ж.Ахмед-Заки, А.В.Ахметзянов, А.Никифоров, А.В.Цепаев ва бошқа хорижий олимларнинг илмий ишларида тадқиқ қилинган.

Ўзбекистон Республикасида ғовак муҳитларда суюқлик ва газлар фильтрацияси жараёнларининг математик моделлари, ҳисоблаш усуллари ва шу каби тадқиқотларга В.Қ.Қобулов, Ф.Б.Абуталиев, Ж.Ф.Файзуллаев Н.М.Муҳидинов, Р.Садуллаев, А.Бегматов, Б.Х.Хўжаёров, М.Арипов, Н.Равшанов, У.С.Назаров, Ш.Каюмов, Я.Ярбеков, А.Мирзаев, А.Неъматов, Э.Ш.Назирова ва бошқа олимлар ўзларининг катта хиссаларини қўшганлар.

Бу соҳадаги тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, ғовак муҳитда кучли ўзгарувчан коэффицентли суюқликларнинг фильтрация чегаравий масалалари, сустр ўтказувчан қатламга эга бир – бири билан ўзаро боғланган бир жинсли бўлмаган кўп қатламли нефть конларининг ностационар ҳаракатланиш жараёнлари ҳозирги кунда етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот

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

технологиялари университети ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион маркази ва Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг № А5-019 сонли «Ғовак муҳитлардаги сақлаш ва қуритиш жараёнларида иссиқлик ва масса алмашинуви масалаларининг ахборот ва дастурий таъминотини ишлаб чиқиш» (2015-2017), БВ-Атех-2018 (399+487) «Гидрогеологик жараёнларни уч ўлчовли моделларини тузиш ва икки компонентли муҳитда диффузион жараёнларни сонли моделлаштириш учун амалий дастурлар пакетини яратиш» (2018-2020) ҳамда ФЗ-202009261 «Ғовак муҳитларда суюқлик ва газларни аномаль филтрлаш жараёнини тадқиқ этиш учун гидродинамик моделлар ва самарали сонли алгоритмлар яратиш» (2020-2022) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади. Суюқликларнинг бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламларда ҳамда ўзаро динамик алоқага эга кўп қатламли нефть конларида ностационар филтрация жараёнларининг математик моделлари, уларнинг сонли усуллари ва самарали ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш, шу билан бирга ҳисоблаш тажрибалари сонли натижаларини визуал формада икки (2D) ва уч ўлчамли (3D) графикларда тақдим этишнинг дастурий мажмуасини яратиш.

Тадқиқотнинг вазифалари:

суст ўтказувчан қатламларга эга ўзаро динамик алоқали бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда суюқликлар ностационар филтрация жараёнлари математик моделларини қуришда фойдаланиладиган ахборот моделларини шакллантириш;

суст ўтказувчан қатламларга эга ўзаро динамик алоқадаги ғовак муҳитли тизимда нефтнинг ностационар филтрация жараёни математик моделини ишлаб чиқиш;

динамик алоқадаги уч қатламли ғовак муҳитда нефтнинг ностационар филтрация чегаравий масаласини қўйиш, сонли моделлаштириш ва ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламда икки ўлчовли нефть филтрация чегаравий масаласини қўйиш, сонли моделлаштириш ва ечишнинг ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

ҳисоблаш жараёнини бошқариш учун бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитларда қатлам ўтказувчанлик коэффициенти ва нефть филтрация соҳасининг ахборот таъминотини ишлаб чиқиш;

нефть конлари ишлаши асосий кўрсаткичлари бўйича тадқиқот ва таҳлил қилиш учун ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш;

филтрация соҳаси бир жинсли бўлмаган нефть конлари ишлашининг асосий кўрсаткичлари бўйича ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишда сонли натижаларни визуал формада тақдим этиш асосида мониторинг ва башорат қилиш дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти сифатида бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламда нефтнинг филтрация жараёни қаралган.

Тадқиқот предметини бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламда суюқликлар фильтрация жараёни математик моделлари, ечиш алгоритмлари ва дастурий мажмуаси ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида математик моделлаштириш ва ҳисоблаш математикасининг сонли усуллари, дискрет соҳанинг ахборот массивини қуриш ҳамда дастурлаш технологиялари услубларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

суст ўтказувчан қатламларга эга ўзаро динамик алоқадаги нефть конлари тизими учун фильтрация жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган;

динамик алоқадаги уч қатламли ғовак муҳитда нефть ностационар фильтрация чегаравий масаласини ечишнинг сонли усуллари ва алгоритмлари ишлаб чиқилган;

бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламда нефть фильтрация масаласи икки ўлчамли математик модели учун сонли модель ишлаб чиқилган;

бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда нефть фильтрация чегаравий масаласини ечишнинг ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

суст ўтказувчан қатламларга эга ўзаро динамик алоқадаги кўп қатламли нефть конлари ишлаши асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритми асосида дастурий мажмуа ишлаб чиқилди ва компьютерда ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди;

фильтрация соҳаси бўлакли бир жинсли бўлмаган нефть конлари ишлаши асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритмлари асосида дастурий мажмуа ишлаб чиқилди ва компьютерда ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди;

ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишда сонли натижаларни визуал формада тақдим этишнинг мониторинг ва башорат қилиш дастурий мажмуаси ишлаб чиқилди.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Масса ва импульснинг сақланиш қонунлари, суюқликлар механикаси қонунлари, Дарси қонуни, ҳисоблаш математикасининг тасдиқланган усуллари, шунингдек олинган натижаларни сифат ва миқдорий баҳоланганлиги билан асосланади, кўриб чиқиладиган жараёнлар учун ишлаб чиқилган математик мажмуанинг адекватлиги ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишда моддий баланс тенгламаси ёрдамида текширилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Натижаларнинг илмий аҳамияти ғовак муҳитларда кучли ўзгарувчан коэффициентли суюқликларнинг фильтрация чегаравий масалалари, суст ўтказувчан қатламга эга бир – бири билан ўзаро боғланган бир жинсли бўлмаган кўп қатламли нефть конлари ностационар фильтрация жараёнларининг математик моделлари, бир ва икки ўлчовли фильтрация масалаларини ечишнинг аниқ ва самарали алгоритмларини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган математик моделлар ва алгоритмлар ҳамда дастурий маъжмуа Ўзбекнефтгаз саноатида қўлланилиши мумкин, шунингдек суюқлик ва газ фильтрацияси мураккаб ностационар жараёнларининг математик моделларини, икки ва уч ўлчовли фильтрация масалаларини ечишнинг самарали ҳисоблаш алгоритмларини амалиётга тадбиқи билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Диссертация доирасида олиб борилган тадқиқотлар натижасида ишлаб чиқилган алгоритмлар ва яратилган дастурий мажмуа асосида:

ғовак муҳитда суюқликларнинг икки ўлчамли филтрланиш жараёнини сонли моделлаштириш натижасида ишлаб чиқилган «Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда суюқликлар фильтрацияси жараёнини компьютерли моделлаштириш» дастурий мажмуа Сардоба темир йўл агросаноат унитар корхонасига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 3 ноябрь 33-8/7764-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида ҳисоблашга кетган вақтни 8-10 бароварга қисқартириш ва ишлаб чиқариш самарадорлигини эса 15% га ошириш имконини берган;

бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда суюқликлар фильтрацияси жараёнини компьютерли моделлаштириш асосида ишлаб чиқилган дастурий мажмуа Фарғона вилояти ҳокимлиги ҳузуридаги «Рақамли технологиялар маркази» унитар корхонасига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 3 ноябрь 33-8/7764-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида дастурий мажмуанинг синов тариқасида тадбиғи ҳисоблаш натижаларидаги аниқликни 5-7 % гача ошириш ва ҳисоблашга кетган вақтни эса 80-85% гача қисқартириш имконини берган;

бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда суюқликлар фильтрацияси жараёнини компьютерли моделлаштириш асосида ишлаб чиқилган дастурий мажмуа «Газли нефть газ қазиб чиқариш бошқармаси» объектларига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 3 ноябрь 33-8/7764-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида нефть–газ конларининг ишлаш самарадорлигини 7-10 % га оширишга эришиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 7 та халқаро ва 8 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 5 та мақола, 2 та хорижий ва 3 та республика журналларида нашр қилинган, шунингдек ЭҲМ учун дастурий маҳсулот қайд этилганлиги ҳақида 4 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, тўртта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат бўлиб ҳажми 115 бет, 50 та расм ва 2 та жадвални ҳам ўз ичига олган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «**Ғовак муҳитда суюқликлар ҳаракатини математик моделлаштириш муаммолари ва масалалари**» деб номланган биринчи бобнинг биринчи параграфида ғовак муҳитларда суюқликларнинг ҳаракати жараёнини математик моделини қуриш масаласи келтирилган. Иккинчи параграфда бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламларда суюқликларнинг фильтрация жараёнларини тадқиқ қилишда математик моделлаштириш ҳолати ва роли ўрганиб чиқилган. Учинчи параграфида бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламда суюқликлар фильтрация масалалари келтирилган.

Диссертациянинг «**Кўп қатламли ғовак муҳитларда нефтнинг ностационар фильтрация жараёнини математик моделлаштириш**» номли иккинчи бобида уч қатламли ғовак муҳитларда суюқликлар фильтрацияси жараёнининг математик моделини тузиш, чегаравий масалани ечишнинг сонли усули ва ечиш алгоритмларини ишлаб чиқиш қаралган.

Суст ўтказувчан оралиқ қатламларга эга бўлган бир жинсли бўлмаган уч қатламли ғовак муҳитда нефтнинг фильтрация жараёни, математик модели учта параболик типдаги дифференциал тенгламалардан иборат қуйидаги тенгламалар тизимидан ташкил топади.

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[K_1(x)h_1(x) \frac{\partial P_1}{\partial x} \right] = \mu\beta h_1(x) \frac{\partial P_1}{\partial t} - \frac{K_{п1}(x)}{h_{п1}(x)}(P_2 - P_1) \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_2(x)h_2(x) \frac{\partial P_2}{\partial x} \right] = \mu\beta h_2(x) \frac{\partial P_2}{\partial t} + \frac{K_{п1}(x)}{h_{п1}(x)}(P_2 - P_1) - \frac{K_{п2}(x)}{h_{п2}(x)}(P_3 - P_2) + Q(t) \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_3(x)h_3(x) \frac{\partial P_3}{\partial x} \right] = \mu\beta h_3(x) \frac{\partial P_3}{\partial t} + \frac{K_{п2}(x)}{h_{п2}(x)}(P_3 - P_2), \quad 0 < x < L; t > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Масаланинг бошланғич ва чегаравий шартлари қуйидагича:

$$P_1(x, t_0) = P_{1H}(x), \quad P_2(x, t_0) = P_{2H}(x), \quad P_3(x, t_0) = P_{3H}(x); \quad (2)$$

$$-K_1h_1 \frac{\partial P_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha(P_A - P_1); \quad -K_2h_2 \frac{\partial P_2}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha(P_A - P_2); \quad -K_3h_3 \frac{\partial P_3}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha(P_A - P_3); \quad (3)$$

$$K_1 h_1 \frac{\partial P_1}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha (P_A - P_1); \quad K_2 h_2 \frac{\partial P_2}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha (P_A - P_2); \quad K_3 h_3 \frac{\partial P_3}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha (P_A - P_3); \quad (4)$$

$$Q(t) = \sum_{i_q=1}^{N_q} q_{i_q}(t) \delta(x - x_{i_q}); \quad i_q = 1, \dots, N_q \quad (5)$$

Бу ерда δ – Дирак дельта функцияси; P_1, P_2, P_3 – қатламлардаги босим; P_A – чегарадаги босим; P_{1H}, P_{2H}, P_{3H} – қатламлар бошланғич босими; μ – нефть қовушқоқлиги; K_1, K_2, K_3 – қатламлар ўтказувчанлик коэффициентлари; k_{n1}, k_{n2} – суфт ўтказувчанлик қатлам коэффициентлари; h_1, h_2, h_3 – қатламлар қуввати; β – эластиклик коэффициенти $\beta = (\beta_c + m\beta_n)$; β_H – нефтнинг сиқилиш коэффициенти; β_c – қатламнинг сиқилиш коэффициенти; m – қатламлар ғовақлик коэффициенти; $q_{i_q} - i_q$ – чи қудук дебити; L – қатлам узунлиги; N_q – қудуклар сони.

Кўйилган (1)-(5) чегаравий масалани ечиш учун унинг сонли моделини ишлаб чиқамиз, бунда чекли айирмалар усулини қўллаيمиз. Бунинг учун x ўқида $0 \leq x \leq 1$ ва вақт $0 < t < T$ қуйидаги тўрни қурамиз

$$\omega_{x\tau} = \{x_i = i\Delta x; i = \overline{1, n}; \tau_l = l\Delta\tau; l = \overline{0, 1, 2, \dots, N_\tau}; \Delta\tau = \frac{T}{N_\tau}\}.$$

Дискрет соҳада тенгламалар тизимини чекли айирмалар тенгламалар тизимига келтирамиз.

$$\begin{cases} a_i P_{1i-1} - b_i P_{1i} + c_i P_{1i+1} + d_i P_{2i} + e_i P_{3i} = -f_i; \\ a_i' P_{2i-1} - b_i' P_{2i} + c_i' P_{2i+1} + d_i' P_{1i} + e_i' P_{3i} = -f_i'; \\ a_i'' P_{3i-1} - b_i'' P_{3i} + c_i'' P_{3i+1} + d_i'' P_{2i} + e_i'' P_{1i} = -f_i''; \end{cases} \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (6)$$

Чекли айирмалар тизимини ечиш учун ҳайдаш усулини қўллаимиз. Ҳайдаш усули қондасига кўра ечимларни қуйидагича ёзиш мумкин:

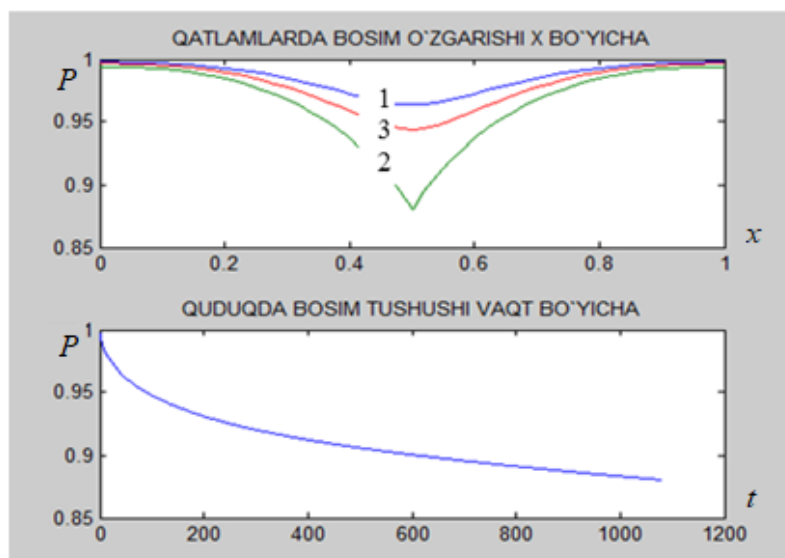
$$\begin{cases} P_{1i} = A_i P_{1i+1} + B_i P_{2i+1} + C_i P_{3i+1} + D_i; \\ P_{2i} = A_i' P_{2i+1} + B_i' P_{1i+1} + C_i' P_{3i+1} + D_i'; \\ P_{3i} = A_i'' P_{3i+1} + B_i'' P_{2i+1} + C_i'' P_{1i+1} + D_i''; \end{cases} \quad i = \overline{n-1, 0}. \quad (7)$$

Ҳайдаш усули коэффициентларини аниқлаш учун (6)-(7)дан фойдаланиб қуйидаги тенгламалар тизимини ёзамиз.

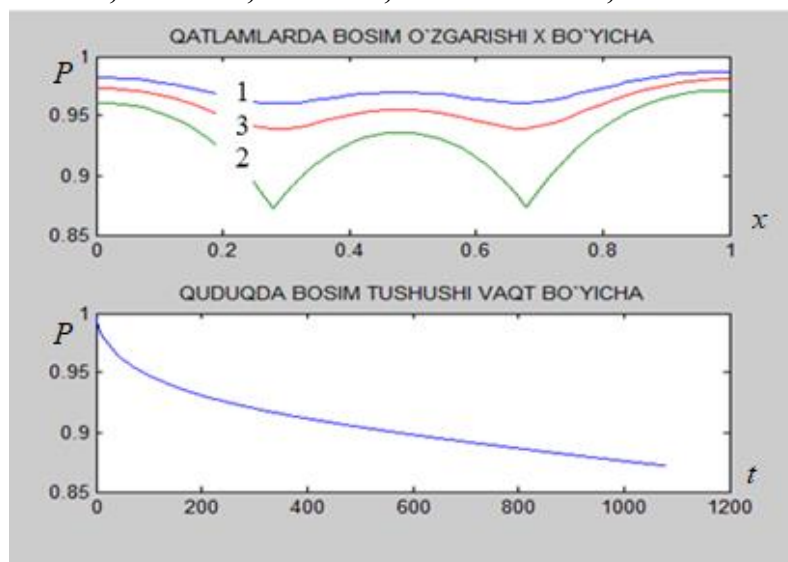
$$\begin{cases} a_i P_{1i-1} - b_i P_{1i} + c_i P_{1i+1} + d_i P_{2i} + e_i P_{3i} = -f_i \\ P_{1i-1} = A_{i-1} P_{1i} + B_{i-1} P_{2i} + C_{i-1} P_{3i} + D_{i-1}, \\ a_i' P_{2i-1} - b_i' P_{2i} + c_i' P_{2i+1} + d_i' P_{1i} + e_i' P_{3i} = -f_i', \\ P_{2i-1} = A_{i-1}' P_{2i} + B_{i-1}' P_{1i} + C_{i-1}' P_{3i} + D_{i-1}', \\ a_i'' P_{3i-1} - b_i'' P_{3i} + c_i'' P_{3i+1} + d_i'' P_{2i} + e_i'' P_{1i} = -f_i'', \\ P_{3i-1} = A_{i-1}'' P_{3i} + B_{i-1}'' P_{2i} + C_{i-1}'' P_{1i} + D_{i-1}''. \end{cases} \quad (8)$$

Бу тенгламалар тизимидан A_i, B_i, C_i, D_i ; A'_i, B'_i, C'_i, D'_i ; $A''_i, B''_i, C''_i, D''_i$ ҳайдаш коэффициентлари топилади. Ҳайдаш усули коэффициентлари бошланғич қийматлари чегаравий шартлардан аниқланади.

Иккинчи бобнинг 2.3, 2.4 параграфларида чегаравий масаланинг ечишининг ошкор ва ошқормас схемалари учун алгоритмлар ва ҳисоблаш тажрибалари келтирилган. Ҳисоблаш тажрибалари 1, 2 ва 3 та марказда жойлашган қудуқларнинг ва қатлам ўтказувчанлик коэффициентлари ҳамда суғ ўтказувчанлик қатламлар коэффициентларининг турли қийматларида ўтказилган.



1-расм. Иккинчи қатлам марказида битта қудуқ бўлганда барча қатламларда босим тарқалиши ва қудуқда босим тушуши. ($K_1=0.1$; $K_2=0.3$; $K_3=0.1$; $K_{П1}=0.0001$; $K_{П2}=0.0002$)



2-расм. Иккинчи қатламда иккита симметрик қудуқлар бўлганда барча қатламларда босим тарқалиши ва қудуқда босим тушуши. ($K_1=0.1$; $K_2=0.3$; $K_3=0.1$; $K_{П1}=0.0001$; $K_{П2}=0.0002$)

Ўтказилган барча ҳисоблаш тажрибалари қудуқларининг ишлаш зонаси яқинида нефть оқими қатлам ўтказувчанлик коэффициентининг юқори

қийматларида силлиқ содир бўлишини кўрсатади, шунингдек суст ўтказувчан қатламлар қийматлари ошиши юқори ва пастки қатламларда босимнинг қудук зоналарида анча пасайиши кузатилади. Барча графиклардан кўриниб турибдики суст ўтказувчанлик қиймати ошиши босимнинг юқори ва пастки қатламларда тезроқ тушушига олиб келади.

Диссертациянинг учинчи «**Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли нефть қатламида фильтрация жараёнини математик моделлаштириш**» бобида бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда суюқликлар фильтрация жараёнининг икки ўлчамли математик модели, масалани ечишда дифференциал-айирмали усули асосида сонли моделлаштириш ва ечиш алгоритми қаралган.

Бўлакли бир жинсли бўлмаган қатламда нефть фильтрация жараёни математик модели хусусий ҳосилалари параболик типдаги дифференциал тенглама кўринишида бўлади:

$$\beta \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial y} \right) - Q, \quad (x, y) \in G \quad (9)$$

бошланғич ва чегаравий шартлар куйдагича:

$$P(x, y, t) = P_H(x, y), \quad t = 0, \quad (10)$$

$$\frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial n} = \alpha(P - P_A), \quad (x, y) \in \Gamma, \quad (11)$$

$$\oint_{s_{i_q}} \frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial n_1} ds = -q_{i_q}(t), \quad (x, y) \in s_{i_q}, \quad i_q = \overline{1, N_q}. \quad (12)$$

$$Q = \sum_{i,j=1}^{N_q} \delta_{i,j} q_{i,j}, \quad \beta = m\beta_H + \beta_c, \quad k(x, y) = \begin{cases} k_1, & (x, y) \in G_1, \\ k_2, & (x, y) \in G_2, \\ \dots & \dots \dots \\ k_n, & (x, y) \in G_n. \end{cases}$$

Чегаравий масаладаги математик моделнинг бизга аниқ бўлган мавжуд математик моделлардан фарқли томони шундаки, бу ерда ўтказувчанлик коэффициенти k бўлакли бир жинсли қатлам учун тушунилади. Бунда ўтказувчанлик коэффициентини бўлакли бир жинсли бўлмаган функция деб караш мумкин.

Кўйилган чегаравий масалани сонли моделлаштириш учун (9)-(12) дифференциал айирмали усулдан фойдаланамиз. Бунинг учун кўйилган чегаравий масалани математик модель ва чегаравий шартларда ўлчамсиз ўзгарувчилар киритиб ўлчамсиз масалага келтирилади.

Ғовак муҳитда фильтрация жараёни чегаравий масаласини дифференциал - айирмалар кўринишга келтириш учун кўндаланг кесим схемасининг алгоритмик ғоясини дифференциал ҳайдаш усули учун ишлатамиз. Бу эса дифференциал ҳайдаш усулини ҳар бир координата ўқи йўналиши бўйича қўллашга имкон беради.

Тенгламининг дифференциал операторларини унга мос икки қатламли уч нуқтали чекли айирмали операторга мос қилиб алмаштирамиз

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{ij} \frac{\partial P_j^{(l+0.5)}(x)}{\partial x} \right) - \frac{1}{0.5 \Delta \tau} P_j^{(l+0.5)}(x) = - \frac{P_j^{(l)}(x)}{0.5 \Delta \tau} - \Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l)}], \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{ij} \frac{\partial P_i^{(l+1)}(y)}{\partial y} \right) - \frac{R}{0.5 \Delta \tau} P_i^{(l+1)}(y) = - \frac{P_i^{(l+0.5)}(y)}{0.5 \Delta \tau} - \Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l+0.5)}]. \end{cases} \quad (13)$$

Бу ерда:

$$\Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l)}] = \frac{k_{i-0.5,j} P_{i-1,j}^{(l)} - (k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j}) P_{ij}^{(l)} + k_{i+0.5,j} P_{i+1,j}^{(l)}}{\Delta h^2},$$

$$\Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l+0.5)}] = \frac{k_{i,j-0.5} P_{i,j-1}^{(l+0.5)} - (k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5}) P_{ij}^{(l+0.5)} + k_{i,j+0.5} P_{i,j+1}^{(l+0.5)}}{\Delta h^2},$$

$$k_{ij} = \frac{k_{ij}}{\mu}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$P_{i,j}^{(l)} - l$ ва $P_{i,j}^{(l+0.5)} - l + 0.5$ -вақт қатламидаги босим функциялари.

Бу (13) чекли айирмали дифференциал тенгламалар тизими ҳар бир x_i ўзгарувчи йўналишида дифференциал ҳайдаш усулини қўллаган ҳолда бошланғич шартлар билан ечим $l+0.5$ вақт қатлами учун ечилади ва худди шундай $l+1$ қатламида ҳар бир y_j ўзгарувчи йўналишида ечилади. Бунда бошланғич шарт сифатида $l+0.5$ қатламида топилган ечим олинади.

Дифференциал ҳайдаш усули ғоясига асосланиб дифференциал айирмали масаланинг биринчи тенгламаси учун чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда умумий ечимини қуйидагича ёзиш мумкин

$$P_j(x) = \frac{\gamma_j(x) u_j(x) - \alpha_j(x) w_j(x)}{\alpha_j(x) v_j(x) - \beta_j(x) u_j(x)};$$

$$\frac{dP_j}{dx} = \frac{1}{k_j(x)} \cdot \frac{\gamma_j(x) v_j(x) - \beta_j(x) w_j(x)}{\alpha_j(x) v_j(x) - \beta_j(x) u_j(x)}, \quad j = 0, \dots, n. \quad (14)$$

Бу ерда $u(x)$, $v(x)$, $w(x)$ ва $\alpha(x)$, $\beta(x)$, $\gamma(x)$ дифференциал ҳайдаш усули ўнг ва чап коэффициентлари бўлиб, улар қуйидаги Коши масаласининг ечими сифатида топилади.

$$\begin{cases} k_j \frac{du_j}{dx} = v_j, & u_0 = k_1, \\ \frac{dv_j}{dx} = Q_{1j} u_j, & v_0 = \alpha, \\ \frac{dw_j}{dx} = R_{1j} u_j, & w_0 = \alpha P_A. \end{cases} \quad \begin{cases} k_j \frac{d\alpha_j}{dx} = \beta_j, & \alpha_n = k_n, \\ \frac{d\beta_j}{dx} = Q_{1j} \alpha_j, & \beta_n = \alpha, \\ \frac{d\gamma_j}{dx} = R_{1j} \alpha_j, & \gamma_n = \alpha P_A. \end{cases}$$

$$j = 1, 2, \dots, n. \quad j = n-1, n-2, \dots, 0.$$

$$Q_{1j} = -\frac{P_{i,j}^{(l)}(x)}{0.5\Delta\tau} - \Lambda [k_{i,j}P_{i,j}^{(l)}], \quad R_{1j} = \frac{1}{0.5\Delta\tau}.$$

Худди шундай, дифференциал ҳайдаш усули ғоясига асосланиб (13) дифференциал айирмали масаланинг иккинчи тенгламаси учун чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда умумий ечимини юқоридаги каби ёзиш мумкин.

Бу олинган дискрет моделни компьютерда амалга ошириш унча қийинчилик туғдирмайди. Уни қуйидаги икки бочқичли кетма-кетликда амалга ошириш мумкин:

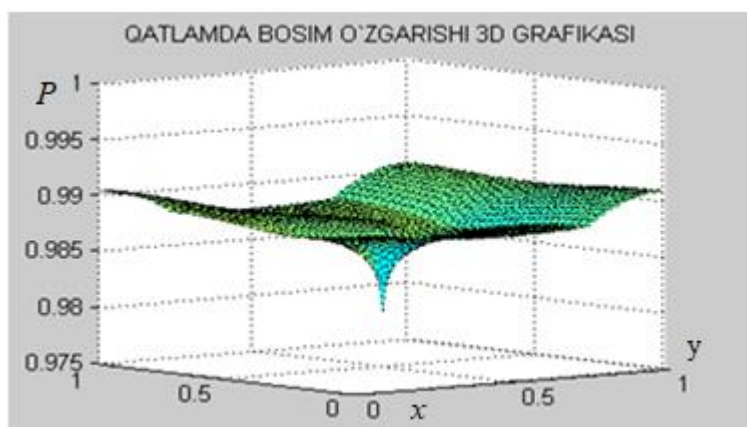
Биринчи босқич. Коши масаласи учун бошланғич шартлар масаланинг чегаравий шартларидан аниқланади; Коши масаласи бошланғич шарт билан Рунге Кутта ёки Кутта Мерсон процедураси ёрдамида x ўқининг барча йўналишларидаги нуқталарда чапдан ўнгга қараб ечилади; Коши масаласи бошланғич шарт билан Рунге Кутта ёки Кутта Мерсон процедураси ёрдамида x ўқининг барча йўналишларидаги нуқталарда ўнгдан чапга қараб ечилади; (14) формула ёрдамида ечим ноъмалум x нинг барча йўналишлари бўйича, u ўзгарувчининг барча нуқталарида босим $P_i(x)$ функцияси қийматлари ва унинг биринчи тартибли дифференциали қийматлари аниқланади, шундай қилиб, босим функциясининг вақт бўйича ярим қадамдаги нефть қатлами соҳасининг барча нуқталарида қийматлари топилади.

Иккинчи босқич. Вақт бўйича ярим қадам силжиймиз ва кейинги $l+1$ қадам учун босим функцияси қийматларини нефть соҳасининг барча нуқталарида топамиз. Бу босқич биринчи босқич каби амалга оширилади.

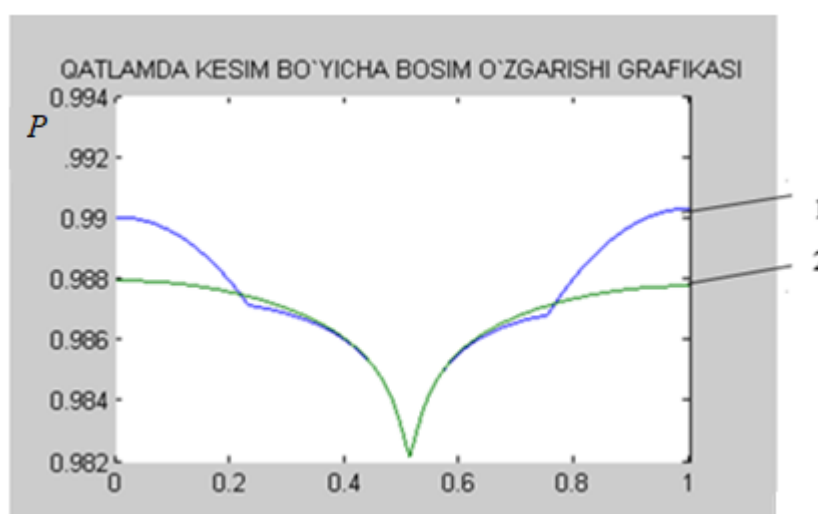
Коши масаласини Рунге-Кутта усулида ечиш жараёни ҳайдаш коэффициентлари ва шу усул коэффициентларига ҳар қадамда нормаллаш процедурасини қўллаш билан амалга оширилади.

Ҳар бир қадамда чап томон учун Коши масаласидаги берилган U_{i+1} векторини ҳисоблашда ўнг тамондаги U_i вектори ўрнига нормаллаштирилган \overline{U}_i ($U=(u,v,w)$) вектори қўйилади. Худди шундай чап томондан ўнг томонга қараб Коши масаласини ечишда A_{i-1} векторни ҳисоблашда ўнг томонидаги A_i вектори ўрнига нормаллаштирилган \overline{A}_i ($A=(\alpha,\beta,\gamma)$) вектори қўйилади. Дифференциал ҳайдаш усулини қўллаш фазалар орасидаги оқимларнинг узлуксизлиги ва босимнинг узилишга эга эмаслик шартларини ҳисоблаш жараёнида автоматик тарзда ҳисобга олиш имконини беради.

3 – 4 – расмларда ўтказувчанлик коэффициенти қийматлари катта фарк билан берилганда, яъни катта фарк билан ҳар хил қийматдаги нефть қатламида босимнинг тарқалиш ҳолати келтирилган. Олинган ҳисоблаш натижалари шуни кўрсатадики ўтказувчанлик коэффициенти қиймати катта бўлган зоналарда қатламдаги босимнинг тарқалиш тезлиги ошади. Бу расмларда кудук атрофида ўтказувчанлик коэффициенти кичик бўлгани сабаб, кудук атрофида босимнинг тушуши кузатилмоқда.



3-расм. Қатламда босим ўзгаришининг 3D графиги (пастки-ён тарафдан кўриниш)



4-расм. Қатлам ва қудуқда босим ўзгаришининг кесимлардаги графиги (1080 сутка, 1-х бўйича, 2-у бўйича)

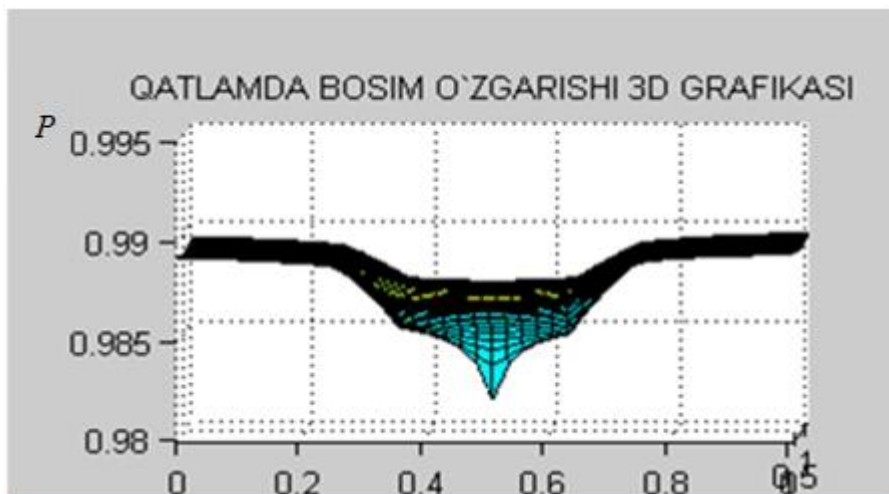
Натижаларда ўтказувчанлик коэффиценти қуйидагича олинган:

$$k(x) = \begin{cases} 0.05 & 0 \leq x \leq 0.3 \\ 0.5 & 0.3 < x < 0.7 \\ 0.05 & 0.7 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

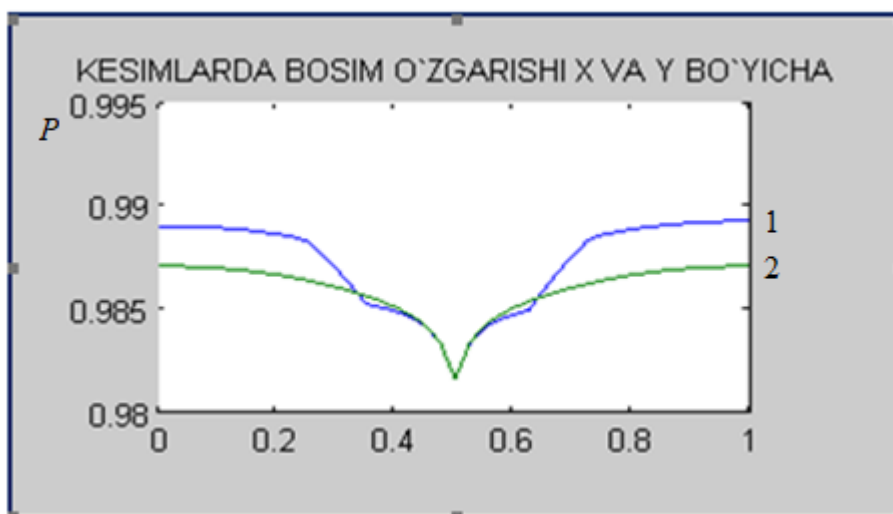
Марказда қудуқ жойлашган ҳисобига ва қатлам ўтказувчанлик коэффиценти қийматлари соҳа x ўқи бўйича бўлакли бир жинсли бўлмаган ҳолат учун қаралган бўлиб, кўришиб турибдики x ўқининг 0.3 ва 0.7 нуқталарида графикларда синиш кузатилмоқда. Бу шуни кўрсатадики, бу нуқталарда тенгламанинг $k(x)$ коэффиценти ўз қийматини катта фарқ билан ўзгартиради.

5 – 6 расмларда ҳисоблаш тажрибалари ўтказувчанлик коэффиценти горизонтал йўналиш бўйича 5 та турли қийматлардаги бешта зона бўлган ҳол учун бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда босим ўзгариши турли график кўринишларда келтирилган. Бу ҳисоблаш тажрибалари натижаларини симметрик ҳолда тасвирлаш учун зоналарда ўтказувчанлик коэффиценти қийматлари қуйидагича олинган:

$$k(x) = \begin{cases} 0.3 & 0 \leq x \leq 0.25 \\ 0.07 & 0.25 < x \leq 0.36 \\ 0.7 & 0.36 \leq x \leq 0.64 \\ 0.07 & 0.64 < x \leq 0.75 \\ 0.3 & 0.75 < x \leq 1.0 \end{cases}$$



5-расм. Горизонтал бўйича бўлакли бир жинсли бўлмаган филътрация соҳасида босим ўзгаришининг ён томондан кўриниши (1080 сутка)



6-расм. Қатламда босим ўзгаришининг кесимлардаги графиги (1080 сутка, 1-х бўйича, 2-у бўйича)

Бу ўтказилган ҳисоблаш тажрибалари расмларда визуал формада тасвирланганки, қатлам ўтказувчанлик коэффициенти қийматлари x ўқи бўйича бўлакли бир жинсли бўлмаган ҳолат учун мос нуқталарда, яъни x ўқининг 0.25, 0.36, 0.5 ва мос равишда 0.64, 0.75 нуқталарда графикларда синиш кузатилмоқда. Бу шуни кўрсатмоқдаки, бу нуқталарда математик моделдаги $k(x)$ ўтказувчанлик коэффициенти қийматлари катта фарқ қилади.

Диссертациянинг «Ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишда олинган натижаларни визуал формада тақдим этишнинг дастурий мажмуаси»

номли тўртинчи бобида филтрацион жараёни тадқиқ қилиш бўйича ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш учун дастурий мажмуани яратиш масалалари қаралган.



7-расм. Дастурий мажмуа функционал схемаси

Ғовак муҳитли қатлам ўтказувчанлик коэффиценти бўйича бўлакли бир жинсли бўлмаган филтрация соҳаси ахборот моделини умумий ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин $I = \{ \inf_{ij} \}$. Бунда ахборот массиви элементлари қуйидагича тавсифланади $\inf_{ij} = "r_1 r_2"$.

Бу ерда разряд элементлари: r_1 -филтрация соҳаси конфигурациясини аниқлайди; r_2 -бўлакли бир жинсли бўлмаган зоналарни аниқлайди.

Ҳисоблаш тажрибалари зоналар бўйича қуйидаги ўтказувчанлик коэффицентлари қийматларида ҳам қаралган:

$$G = \begin{cases} G_1 : k = 0.05; \\ G_2 : k = 0.5; \\ G_3 : k = 0.005; \\ G_4 : k = 0.4; \\ G_5 : k = 0.05. \end{cases}$$

Худди шундай мураккаб конфигурацияли филтрация соҳаси учун ҳам ахборот массивни ташкил этиш мумкин.

Бўлакли бир жинсли бўлмаган оддий ва мураккаб формага эга бўлган нефть конлари филтрация соҳаси конфигурацияси учун ҳисоблаш жараёни сонли натижаларини 3D график, ҳамда кесимларда босим тарқалиши ва қудуқларда босим тушишини визуаллаштириб беради.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 25 |

8-расм. Ўтказувчанлик коэффиценти бўйича бўлакли бир жинсли бўлмаган фильтрация соҳаси ахборот массиви

Ҳисоблаш тажрибаларининг сонли натижаларини визуал формада тақдим этиш ўз навбатида фильтрацион жараёни тасаввур этиш, нефть конлари қатламларида уларни қазиб олиш жараёнининг гидродинамик ҳолатини ўрганишда, айниқса нефть конларини лойиҳалашда, таҳлил ва башорат қилишда катта рол ўйнайди.

ХУЛОСА

Диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги асосий натижаларга эришилди:

1. Ғовак муҳитда бўлакли бир жинсли бўлмаган суств ўтказувчан қатламларга эга ўзаро динамик алоқадаги уч қатламли нефть қатламларининг тузилишини ҳисобга оладиган ностационар фильтрация жараёнларининг математик моделларини куришда фойдаланиладиган ахборот моделлари шакллантирилди. Ушбу моделлар ностационар фильтрация жараёнларининг математик моделларини куришга хизмат қилди.
2. Суств ўтказувчан қатламларга эга ўзаро динамик алоқадаги нефть конлари тизимида нефтнинг ностационар фильтрация жараёни масаласининг математик модели ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган математик модел қатламларнинг ўзаро таъсир хусусиятларини самарали ўрганишга имкон беради;

3. Динамик алоқадаги уч қатламли ғовак муҳитда нефтнинг ностационар фильтрация чегаравий масаласини сонли ечиш усуллари қўлланилди ва солиштирма таҳлил амалга оширилди. Бундан олинган натижалар асосида таклиф этилаётган усулларнинг самаралилиги текширилди;
4. Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламда нефтнинг фильтрация масаласи икки ўлчамли математик модели асосида сонли модель ишлаб чиқилди. Бу модель кучли ўзгарувчан параметрларга эга қатламларни тадқиқ қилиш учун хизмат қилади;
5. Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак қатламда нефтнинг фильтрация жараёнини сонли моделлаштиришда дефференциал айирмали усулдан фойдаланишнинг самаралилиги асосланди;
6. Ғовак муҳитда нефть фильтрация чегаравий масаласини ечишнинг ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган алгоритмлар классик ва мураккаб конфигурацияли қатламлар учун дастурий маҳсулот ишлаб чиқишга хизмат қилади;
7. Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда нефтнинг фильтрация чегаравий масалаларини ечишнинг «Нефть конлари ишлашининг асосий кўрсаткичлари бўйича ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишнинг компьютерда визуаллаштиришни моделлаштириш» дастурий мажмуаси ишлаб чиқилди. Натижада олинган натижаларни 2D ва 3D графикларди визуаллаштириш имконига эга бўлинди. Ишлаб чиқилган дастурий мажмуа нефть конлари соҳалари: тўртбурчак, айлана, эллиптик ва мураккаб конфигурацияли учун; қатлам параметрларининг ўзгармас ва ўзгарувчан ҳоли учун; кудуқлар ва дебитларининг турли қийматлари учун ҳисоб ишлари олиб бориш имконини берди.
8. Диссертация тадқиқоти доирасида ишлаб чиқилган математик моделлар, сонли усуллар, алгоритмлар ва дастурий маҳсулотлар ҳамда сонли натижалар “ГАЗЛИ” нефть-газ қазиб чиқариш бошқармасига, «Сардоба» корхонасига, Фарғона вилояти “Рақамли технологиялар маркази” унитар корхонасига жорий қилинган. Натижада конлар ишлашининг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш вақти 8-10 марта камайтирилди ва ҳисоблаш натижаларидаги аниқлик 5-7 % гача ошди ҳамда ишлаб чиқариш самарадорлиги эса 15% га ошишига эришиш имконини берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

САДИКОВ РУСТАМЖОН ТОХИРОВИЧ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ В КУСОЧНО-НЕОДНОРОДНОЙ
ПОРИСТОЙ СРЕДЕ**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

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

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2021.1.PhD/T2089.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммад-ал Хоразми.

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

Научный руководитель: Назирова Элмира Шодмоновна
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Равшанов Нормакмад
доктор технических наук, профессор

Жабборов Насриддин Мирзоодилович
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: Ташкентский государственный транспортный университет

Защита диссертации состоится « 17 » декабря 2021 г. в 16⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммад ал-Хоразми. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. 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 имени Мухаммад ал-Хоразми (регистрационный номер № 231). Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44.

Автореферат диссертации разослан « 9 » декабря 2021 г.
(протокол рассылки № 40 « 02 » декабря 2021 г.).



Р.Х. Хамдамов
Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Ф.М. Нуралиев
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, доцент

Ш.А. Садуллаева
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
доктор физико-математических наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Научно-практические исследования развития нефтегазовой отрасли считаются одними из самых актуальных проблем современности. Большое внимание в этой области уделяется поиску новых месторождений нефти и газа и полноценному использованию существующих месторождений, научным исследованиям по увеличению объемов добываемых нефтегазовых продуктов, математическим моделям и разработке эффективных численных алгоритмов и программного обеспечения. Кроме того, проблемам разработки математических моделей, вычислительных алгоритмов и пакетов программного обеспечения для подобных задач большое внимание уделяется в США, Канаде, Франции, Китае, ОАЭ, Иране, Российской Федерации, Украине, Казахстане, Азербайджане и в других развитых странах.

Особую популярность обретают вопросы разработки математических моделей, эффективных численных алгоритмов и программного обеспечения для решения вопросов исследования сложной фильтрации нефти и газа в неоднородных пластах в процессе разработки и добычи нефтегазовых месторождений. В настоящее время большое внимание уделяется созданию множества математических моделей, вычислительных алгоритмов и программного обеспечения для фильтрации нефти и газа в пористой среде. Это свидетельствует о том, что на сегодняшний день актуальными задачами являются анализ численных результатов, математических моделей, позволяющих исследовать и спрогнозировать сложные процессы в пористых средах многопластовых месторождений нефти и газа, а также совершенствование вычислительных алгоритмов создания компьютерных моделей, представляющих процессы визуально в двухмерной и трехмерной графике и формах анимации. Вместе с тем, целесообразными представляются научные исследования по разработке усовершенствованных моделей нестационарных процессов жидкостей в многопластовых средах с динамической взаимосвязью.

В нашей Республике уделяется большое внимание ведению научных исследований, посвященных внедрению системы поиска новых месторождений, мониторинга нефтегазовых месторождений, полноценного использования возможностей существующих месторождений, а также повышения объема добычи нефти и газа в нефтегазовой отрасли. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены такие задачи как «... увеличение сырьевых запасов нефтегазовой отрасли, определение воздействия использования нефтегазовых месторождений на геодинамические процессы, создание возможностей прогнозирования использования нефтегазовых месторождений»². При осуществлении этих задач важное значение имеют

² Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии дальнейшего развития Республики Узбекистан».

вопросы создания эффективных алгоритмов и программных комплексов математического моделирования, проведения вычислительных экспериментов с учетом различных факторов, воздействующих на рассматриваемый процесс, на основе современных информационных технологий.

В соответствии со Стратегией действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в сфере нефтегазовой индустрии осуществлены также ряд изменений. В частности, данное диссертационное исследование в определенной мере служит реализации задач, предусмотренных Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 25 ноября 2020 года №746 «О совершенствовании системы мониторинга влияния добычи нефти и газа на сейсмогеодинамические процессы» и другими нормативно-правовыми документами, касающимися данной сферы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития и технологий республики IV «Развитие информатизации и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Вопросы разработки и совершенствования математических моделей процессов фильтрации жидкостей и газов, а также построения приближенно-аналитических решений и решений численными методами нашли отражение в работах таких зарубежных ученых как Х.Азиз, Э.Сеттари, N.B. Lopuh, A. Monteiro, S.Banerjee, G.I.Barenblatt, M.Chraibi, F.Boyer, C.Lapueta, S.Minjeaud, A.X.Мирзаджанзаде, М.М.Хасанов, Б.Б.Лапук, К.С.Басниев, С.Н.Закиров, Д.Ж.Ахмед-Заки, А.В.Ахметзянов, А.Никифоров, А.В.Цепаев и др.

В Республике Узбекистан в исследование математических моделей, вычислительных методов процессов фильтрации жидкостей и газов в пористых средах большой вклад внесли такие отечественные ученые как В.К.Кабулов, Ф.Б.Абуталиев, Ж.Ф.Файзуллаев Н.М.Мухидинов, Р.Садуллаев, А.Бегматов, Б.Х.Хужаёров, М.Арипов, Н.Равшанов, У.С.Назаров, Ш.Каюмов, Я.Ярбеков, А.Мирзаев, А.Неъматов, Э.Ш.Назирова и др.

Анализ научных исследований в этой сфере показал, что предельные задачи фильтрации жидкостей с переменными коэффициентами в пористой среде, процессы нестационарного функционирования нефтяных скважин со слабо проводимыми, взаимодействующими неоднородными пластами, не изучены в достаточной мере.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий при Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий и Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках проектов: №А5-019 «Разработка

информационного и программного обеспечения вопросов тепломассообмена в процессах сохранения и сушки в пористых средах» (2015-2017), БВ-Атех-2018 (399+487) «Разработка пакета прикладных программ для численного трехмерного моделирования процессов диффузии в двухкомпонентной среде и составления трехмерных моделей гидрогеологических процессов» (2018-2020) и Ф3-202009261 «Разработка гидродинамических моделей и эффективных численных алгоритмов для исследования процессов аномальной фильтрации жидкостей и газов в пористых средах» (2020-2022).

Целью исследования является разработка математических моделей процессов нестационарной фильтрации жидкостей в пластах с кусочно-неоднородной средой и многопластовых нефтяных месторождений с динамическим взаимодействием, а также их численных методов и эффективных вычислительных алгоритмов, разработка программного комплекса визуального представления численных результатов вычислительных экспериментов в двух- (2D) и трехмерной (3D) графике.

Задачи исследования:

формирование информационных моделей, используемых при построении математических моделей процессов нестационарной фильтрации жидкостей в неоднородной пористой среде со слабопроницаемой перемычкой при наличии динамической связи между пластами;

разработка математической модели процесса нестационарной фильтрации нефти в системе с пористой средой, обладающей слабопроницаемыми пластами при наличии динамических взаимодействий;

постановка краевой задачи нестационарной фильтрации нефти в трехслойных пористых средах с динамической связью между пластами, численного моделирования и разработка вычислительных алгоритмов;

постановка краевой задачи двумерной фильтрации нефти в кусочно-неоднородной пористой среде, численного моделирования и разработка вычислительного алгоритма решения;

разработка информационного обеспечения по конфигурации области фильтрации нефти и коэффициента проницаемости пласта в кусочно-неоднородных пористых средах для управления вычисленным процессом;

проведение вычислительных расчетных экспериментов для исследования и анализа основных показателей разработки нефтяных месторождений;

разработка программного комплекса мониторинга и прогнозирования по основным показателям разработки нефтяных месторождений на основе вычислительных экспериментов для визуального представления численных результатов.

Объектом исследования является процесс фильтрации нефти в кусочно-неоднородном пористых средах.

Предмет исследования - математические модели, алгоритмы решения и программный комплекс фильтрации жидкостей в пласте с неоднородной пористой средой.

Методы исследования. В ходе диссертационного исследования использованы методы математического моделирования, численные методы

вычислительной математики, построения информационного массива дискретной области и технологии программирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель процесса фильтрации в нефтяных месторождениях в системе с пористой средой, обладающей слабопроницаемыми пластами при наличии динамических взаимодействий;

разработаны численные методы и алгоритмы решения краевых задач нестационарной фильтрации нефти в трехслойных пористых средах с динамической связью между пластами;

разработана численная модель для двумерной математической модели фильтрации нефти в кусочно-неоднородной пористой среде;

разработан вычислительный алгоритм решения краевых задач фильтрации нефти в кусочно-неоднородной пористой среде.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан программное обеспечение на основе алгоритма вычисления основных показателей разработки многопластовых нефтяных месторождений со слабопроницаемой перемычкой при наличии динамической связи между пластами, а также проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ;

разработан программное обеспечение на основе численных алгоритмов вычисления основных показателей разработки нефтяных месторождений, а также проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ;

разработан программный комплекс мониторинга и прогнозирования визуального представления численных результатов при проведении вычислительных экспериментов на основе программного обеспечения.

Достоверность результатов исследования обоснована законами сохранения массы и импульса, законом Дарси, подтвержденными методами вычислительной математики, качественной и количественной оценкой полученных результатов, подтверждением адекватности математического комплекса, разработанного для рассматриваемых процессов, посредством уравнения материального баланса при проведении соответствующих вычислительных экспериментов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обоснована разработкой точных и эффективных алгоритмов решения краевых задач фильтрации жидкостей с переменными высокими коэффициентами в пористых средах, математических моделей процессов нестационарной фильтрации неоднородных многопластовых нефтяных месторождений со слабой проницаемостью пласта.

Практическая значимость результатов исследования обоснована возможностью применения разработанных математических моделей, алгоритмов и программного комплекса в нефтегазовой отрасли Узбекистана, а также внедрением в практику эффективных вычислительных алгоритмов решения вопросов двумерной и трехмерной фильтрации, математических моделей сложных нестационарных процессов фильтрации жидкостей и газов.

Внедрение результатов исследования. На основе алгоритмов и программного комплекса, разработанных в результате исследования в рамках диссертации, внедрены:

программный комплекс «Компьютерное моделирование процесса фильтрации жидкостей в кусочно-неоднородной пористой среде», разработанное в результате численного моделирования процесса двухмерной фильтрации жидкостей в пористой среде, внедрено в деятельность унитарного предприятия «Агропромышленный комплекс железной дороги Сардоба» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 3 ноября 2021 года №33-8/7764). Результаты научного исследования позволили сократить в 8-10 раз время вычисления, а также повысить на 15% эффективность производства;

программный комплекс, разработанный на основе компьютерного моделирования процессов фильтрации жидкостей в кусочно-неоднородной пористой среде, внедрен в деятельность унитарного предприятия «Центр цифровых технологий» при хокимияте Ферганской области (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 3 ноября 2021 года №33-8/7764). Пробное внедрение программного комплекса позволило повысить на 5-7% точность результатов вычисления и сократить время вычисления до 80-85%;

программный комплекс, разработанный на основе компьютерного моделирования процессов фильтрации жидкостей в кусочно-неоднородной пористой среде, внедрен на объектах «Департамент добычи нефти и газа газли» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 3 ноября 2021 года №33-8/7764). В результате на 7-10% повысилась эффективность производства нефтяных и газовых скважин.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 7 международных и 8 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 24 научные работы, в том числе, 5 научных статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций (2 в зарубежных и 3 в республиканских журналах), а также получены 4 свидетельства об официальной регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Включает 50 рисунков и 2 таблицы. Объем диссертации составляет 115 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования,

приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены внедрение результатов исследования, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

В первом параграфе первой главы диссертации «**Проблемы и вопросы математического моделирования движения жидкостей в пористой среде**» описываются вопросы построения математической модели процесса движения жидкостей в пористых средах. Во втором параграфе изучены роль и место математического моделирования при исследовании процессов фильтрации жидкостей в неоднородных пористых средах. В третьем параграфе рассмотрены вопросы фильтрации жидкостей в пластах с кусочно-неоднородной средой.

Вторая глава диссертации «**Математическое моделирование процесса нестационарной фильтрации нефти в многопластовых пористых средах**» посвящена вопросам разработки математической модели процесса фильтрации жидкостей в трехпластовых пористых средах, разработки алгоритмов решения и численных методов решения краевых задач.

Математическая модель процесса фильтрации нефти в неоднородной трехпластовой пористой среде со слабой проводимостью состоит из системы следующих уравнений, включающей три дифференциальных уравнения параболического типа.

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[K_1(x)h_1(x) \frac{\partial P_1}{\partial x} \right] = \mu\beta h_1(x) \frac{\partial P_1}{\partial t} - \frac{K_{\Pi 1}(x)}{h_{\Pi 1}(x)} (P_2 - P_1) \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_2(x)h_2(x) \frac{\partial P_2}{\partial x} \right] = \mu\beta h_2(x) \frac{\partial P_2}{\partial t} + \frac{K_{\Pi 1}(x)}{h_{\Pi 1}(x)} (P_2 - P_1) - \frac{K_{\Pi 2}(x)}{h_{\Pi 2}(x)} (P_3 - P_2) + Q(t) \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_3(x)h_3(x) \frac{\partial P_3}{\partial x} \right] = \mu\beta h_3(x) \frac{\partial P_3}{\partial t} + \frac{K_{\Pi 2}(x)}{h_{\Pi 2}(x)} (P_3 - P_2), \quad 0 < x < L; t > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Начальные и граничные условия задачи следующие:

$$P_1(x, t_0) = P_{1H}(x), \quad P_2(x, t_0) = P_{2H}(x), \quad P_3(x, t_0) = P_{3H}(x); \quad (2)$$

$$-K_1 h_1 \frac{\partial P_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha (P_A - P_1); \quad -K_2 h_2 \frac{\partial P_2}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha (P_A - P_2); \quad -K_3 h_3 \frac{\partial P_3}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha (P_A - P_3); \quad (3)$$

$$K_1 h_1 \frac{\partial P_1}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha (P_A - P_1); \quad K_2 h_2 \frac{\partial P_2}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha (P_A - P_2); \quad K_3 h_3 \frac{\partial P_3}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha (P_A - P_3); \quad (4)$$

$$Q(t) = \sum_{i_q=1}^{N_q} q_{i_q}(t) \delta(x - x_{i_q}); \quad i_q = 1, \dots, N_q \quad (5)$$

Здесь δ – дельта-функция Дирака; P_1, P_2, P_3 – давление в пластах; P_A – чегарадаги босим; P_{1H}, P_{2H}, P_{3H} – первоначальное давление в пластах; μ – вязкость нефти; K_1, K_2, K_3 – коэффициенты проницаемости пластов; $K_{\pi 1}, K_{\pi 2}$ – коэффициенты слабой проницаемости пластов; h_1, h_2, h_3 – мощности пластов; β – коэффициент эластичности $\beta = (\beta_c + m\beta_n)$; β_H – коэффициент сжатия нефти; β_c – коэффициент сжатия пласта; m – коэффициент пористости пластов; q_{i_q} – дебит i_q – скважины; L – длина пласта; N_q – количество скважины.

Для решения поставленной (1)-(5) краевой задачи вычислим численную модель с применением метода конечных разностей. Для этого построим на оси x при $0 \leq x \leq 1$ и времени $0 < t < T$ следующую сетки:

$$\omega_{x\tau} = \{x_i = i\Delta x; i = \overline{1, n}; \tau_l = l\Delta \tau; l = \overline{0, 1, 2, \dots, N_\tau}; \Delta \tau = \frac{T}{N_\tau}\}.$$

Система уравнений в дискретной области приводится в систему конечных разностных уравнений.

$$\begin{cases} a_i P_{1i-1} - b_i P_{1i} + c_i P_{1i+1} + d_i P_{2i} + e_i P_{3i} = -f_i; \\ a'_i P_{2i-1} - b'_i P_{2i} + c'_i P_{2i+1} + d'_i P_{1i} + e'_i P_{3i} = -f'_i; \\ a''_i P_{3i-1} - b''_i P_{3i} + c''_i P_{3i+1} + d''_i P_{2i} + e''_i P_{1i} = -f''_i; \end{cases} \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (6)$$

Для решения системы конечных разностей применяется метод прогонки. В соответствии с правилами метода прогонки решение можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} P_{1i} = A_i P_{1i+1} + B_i P_{2i+1} + C_i P_{3i+1} + D_i; \\ P_{2i} = A'_i P_{2i+1} + B'_i P_{1i+1} + C'_i P_{3i+1} + D'_i; \\ P_{3i} = A''_i P_{3i+1} + B''_i P_{2i+1} + C''_i P_{1i+1} + D''_i; \end{cases} \quad i = \overline{n-1, 0}. \quad (7)$$

Для определения поргоночных коэффициентов запишем следующую систему уравнений, используя (6)-(7).

$$\begin{cases} a_i P_{1i-1} - b_i P_{1i} + c_i P_{1i+1} + d_i P_{2i} + e_i P_{3i} = -f_i \\ P_{1i-1} = A_{i-1} P_{1i} + B_{i-1} P_{2i} + C_{i-1} P_{3i} + D_{i-1}, \\ a'_i P_{2i-1} - b'_i P_{2i} + c'_i P_{2i+1} + d'_i P_{1i} + e'_i P_{3i} = -f'_i, \\ P_{2i-1} = A'_{i-1} P_{2i} + B'_{i-1} P_{1i} + C'_{i-1} P_{3i} + D'_{i-1}, \\ a''_i P_{3i-1} - b''_i P_{3i} + c''_i P_{3i+1} + d''_i P_{2i} + e''_i P_{1i} = -f''_i, \\ P_{3i-1} = A''_{i-1} P_{3i} + B''_{i-1} P_{2i} + C''_{i-1} P_{1i} + D''_{i-1}. \end{cases} \quad (8)$$

Из этой системы уравнений определяется прогоночные коэффициенты A_i, B_i, C_i, D_i ; A'_i, B'_i, C'_i, D'_i ; $A''_i, B''_i, C''_i, D''_i$. Начальные значение этих коэффициентов определяются из граничных условий.

В параграфах 2.3, 2.4 данной главы приводятся алгоритмы и вычислительные эксперименты. Вычислительные эксперименты проведены в различных значениях коэффициентов проницаемости пластов и скважин расположенных в 1, 2 и 3 центрах, а также коэффициентов проницаемости пластов со слабопроницаемой перемычкой при наличии динамической связи между пластами.

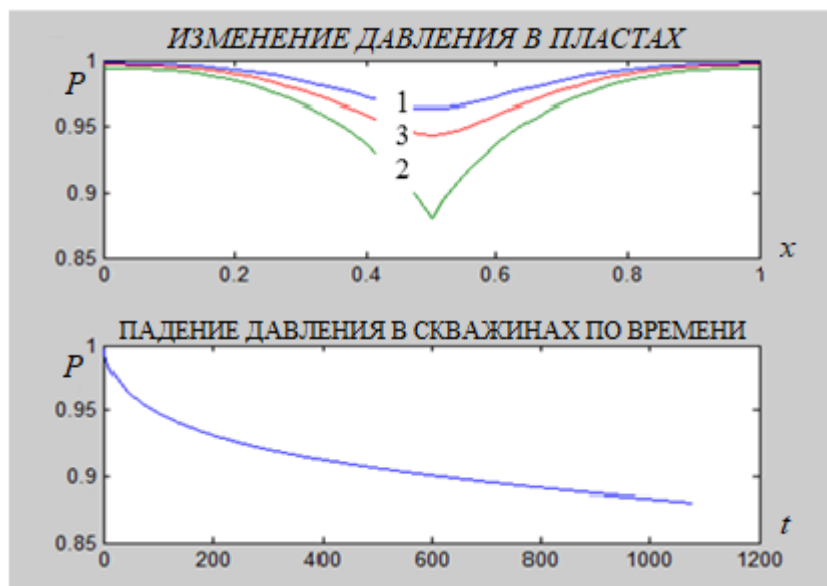


Рис. 1. Распределение давления в пластах и падение давления в скважине ($K_1=0.1$; $K_2=0.3$; $K_3=0.1$; $K_{П1}=0.0001$; $K_{П2}=0.0002$)

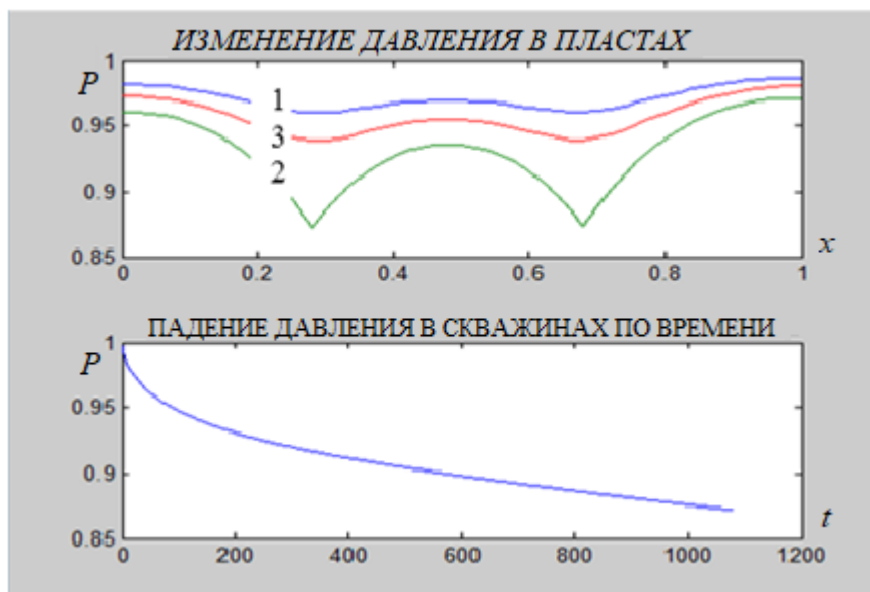


Рис. 2. Распределение давления в пласте и падение давления в скважине ($K_1=0.1$; $K_2=0.3$; $K_3=0.1$; $K_{П1}=0.0001$; $K_{П2}=0.0002$)

Все проведенные вычислительные эксперименты показывают, что поток нефти в зоне, близкой к скважинам, происходит плавный при больших значениях коэффициента проницаемости пласта. Кроме того, при повышении значений пластов со слабой проводимостью наблюдается значительное снижение давления в верхних и нижних пластах. В соответствии со всеми представленными графиками увеличение значения слабой проницаемости приводит к быстрому падению давления в верхних и нижних пластах.

В третьей главе диссертации «**Математическое моделирование процессов фильтрации в пласте нефти с кусочно-неоднородной пористой средой**» рассматриваются двухмерная математическая модель процесса фильтрации жидкостей в кусочно-неоднородной пористой среде, а также алгоритм численного моделирования и решения данной задачи на основе дифференциально-разностного метода.

Математическая модель процесса фильтрации нефти в кусочно-неоднородной среде представлена в виде дифференциального уравнения параболического типа:

$$\beta \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial y} \right) - Q, \quad (x, y) \in G \quad (9)$$

начальные и граничные условия следующие:

$$P(x, y, t) = P_H(x, y), \quad t = 0, \quad (10)$$

$$\frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial n} = \alpha(P - P_A), \quad (x, y) \in \Gamma, \quad (11)$$

$$\oint_{s_{i_q}} \frac{k(x, y)}{\mu} \frac{\partial P}{\partial n_1} ds = -q_{i_q}(t), \quad (x, y) \in s_{i_q}, \quad i_q = \overline{1, N_q}. \quad (12)$$

$$Q = \sum_{i,j=1}^{N_q} \delta_{i,j} q_{i,j}, \quad \beta = m\beta_H + \beta_c, \quad k(x, y) = \begin{cases} k_1, & (x, y) \in G_1, \\ k_2, & (x, y) \in G_2, \\ \dots & \dots \dots \\ k_n, & (x, y) \in G_n. \end{cases}$$

Отличие математической модели в краевой задаче от существующих математических моделей заключается в том, что здесь коэффициент проницаемости k понимается для кусочно-однородного пласта. При этом коэффициент проницаемости можно рассматривать как кусочно-неоднородную функцию.

Для численного моделирования краевой задачи (9)-(12) применяется дифференциально-разностный метод. Для этого вносятся математическая модель в поставленную краевую задачу и безразмерные переменные в краевые условия, приводятся в задачу с безразмерными.

Для приведения краевой задачи процесса фильтрации в пористой среде в дифференциально-разностный вид используется алгоритмическая идея

продольно-поперечная схемы и метода дифференциальной прогонки. Это позволяет применять метод дифференциальной прогонки по каждому направлению оси координат.

Дифференциальные операторы уравнения заменяются соответствующим конечно-разностным оператором с тремя точками и двумя слоями

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{ij} \frac{\partial P_j^{(l+0.5)}(x)}{\partial x} \right) - \frac{1}{0.5 \Delta \tau} P_j^{(l+0.5)}(x) = - \frac{P_j^{(l)}(x)}{0.5 \Delta \tau} - \Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l)}], \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{ij} \frac{\partial P_i^{(l+1)}(y)}{\partial y} \right) - \frac{R}{0.5 \Delta \tau} P_i^{(l+1)}(y) = - \frac{P_i^{(l+0.5)}(y)}{0.5 \Delta \tau} - \Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l+0.5)}]. \end{array} \right. \quad (13)$$

Здесь:

$$\Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l)}] = \frac{k_{i-0.5,j} P_{i-1,j}^{(l)} - (k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j}) P_{ij}^{(l)} + k_{i+0.5,j} P_{i+1,j}^{(l)}}{\Delta h^2},$$

$$\Lambda [k_{ij} P_{ij}^{(l+0.5)}] = \frac{k_{i,j-0.5} P_{i,j-1}^{(l+0.5)} - (k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5}) P_{ij}^{(l+0.5)} + k_{i,j+0.5} P_{i,j+1}^{(l+0.5)}}{\Delta h^2},$$

$$k_{ij} = \frac{k_{ij}}{\mu}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$P_{i,j}^{(l)} - r$ и $P_{i,j}^{(l+0.5)}$ - функции давления на $l+0.5$ временном слое.

Данная система (13) дифференциально разностных уравнений решается на $l+0.5$ временном слое с использованием метода дифференциальной прогонки по направлению x_i и в каждом $l+1$ временном слое по направлению каждой переменной y_j . При этом в качестве начального условия берется решение, полученное в слое $l+0.5$.

Общее решение с учетом краевых условий для первого уравнения дифференциально-разностной задачи на основе идея метода дифференциальной прогонки можно записать следующим образом:

$$P_j(x) = \frac{\gamma_j(x) u_j(x) - \alpha_j(x) w_j(x)}{\alpha_j(x) v_j(x) - \beta_j(x) u_j(x)};$$

$$\frac{dP_j}{dx} = \frac{1}{k_j(x)} \cdot \frac{\gamma_j(x) v_j(x) - \beta_j(x) w_j(x)}{\alpha_j(x) v_j(x) - \beta_j(x) u_j(x)}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (14)$$

Здесь $u(x)$, $v(x)$, $w(x)$ ва $\alpha(x)$, $\beta(x)$, $\gamma(x)$ являются правыми и левыми коэффициентами метода дифференциальной прогонки, которые находятся как следующее решение задачи Коши.

$$\left\{ \begin{array}{l} k_j \frac{du_j}{dx} = v_j, \quad u_0 = k_1, \\ \frac{dv_j}{dx} = Q_{1j} u_j, \quad v_0 = \alpha, \\ \frac{dw_j}{dx} = R_{1j} u_j, \quad w_0 = \alpha P_A. \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} k_j \frac{d\alpha_j}{dx} = \beta_j, \quad \alpha_n = k_n, \\ \frac{d\beta_j}{dx} = Q_{1j} \alpha_j, \quad \beta_n = \alpha, \\ \frac{d\gamma_j}{dx} = R_{1j} \alpha_j, \quad \gamma_n = \alpha P_A. \end{array} \right.$$

$$j = 1, 2, \dots, n. \quad j = n - 1, n - 2, \dots, 0.$$

$$Q_{1j} = -\frac{P_{i,j}^{(l)}(x)}{0.5 \Delta \tau} - \Lambda \left[k_{i,j} P_{i,j}^{(l)} \right], \quad R_{1j} = \frac{1}{0.5 \Delta \tau}.$$

Точно также можно записать, как приведено выше, общее решение для второго уравнения дифференциально-разностной задачи с учетом краевых условий на основе идея метода дифференциальной прогонки (13).

Выполнение на компьютере данной полученной дискретной модели не вызывает затруднений. Это осуществляется в следующей двухэтапной последовательности:

Первый этап. Начальные условия для задачи Коши определяются из краевых условий задачи; задача Коши решается на начальных условиях слева направо в точках всех направлений оси x с помощью процедуры Рунге-Кутты; задача Коши решается на начальных условиях справа налево в точках всех направлений оси x с помощью процедуры Рунге-Кутты; определяются значения функции давления $P_i(x)$ во всех точках переменной y по всем направлениям неизвестной x , а также дифференциальные значения первого порядка данной функции, т.е. таким образом, определяются значения функции давления по времени на всех точках пласта нефти на полшага.

Второй этап. Осуществляется движение на полшага по времени и находятся значения функции давления для следующего шага $k+1$ на всех точках пласта нефти. Данный этап осуществляется как и первый этап.

Процесс решения задачи Коши методом Рунге-Кутты реализуется посредством применения процедуры нормализации коэффициентов прогонки и коэффициентов данного метода на каждом шаге.

На каждом шаге для левой стороны при решении заданного вектора U_{i+1} в задаче Коши на правой стороне вместо вектора U_i ставится нормализованный вектор \overline{U}_i ($U=(u,v,w)$). Точно также при решении задачи Коши слева направо вместо вектора A_i на правой стороне используется нормализованный вектор \overline{A}_i ($A=(\alpha,\beta,\gamma)$). Применение метода

дифференциальной прогонки позволяет автоматически учитывать условия непрерывности потоков и неразрывности давления между фазами.

На рисунках 3-4 приводятся распределения давления в пластах нефти при большой разнице значений коэффициентов проницаемости. Полученные в ходе вычисления результаты показывают, что в зонах с высоким коэффициентом проницаемости скорость распределения давления в пласте значительно повышается. Представленные рисунки позволяют наблюдать снижения давления в зоне, близкой к скважину, из-за низкого значение коэффициента проницаемости в этой зоне.

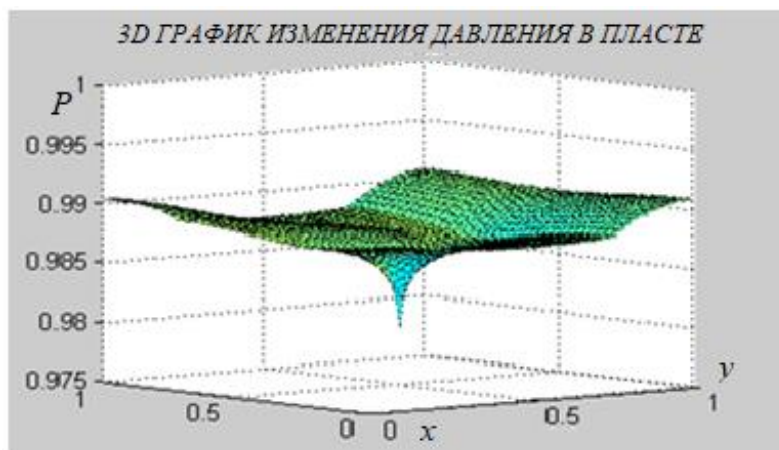


Рис. 3. 3D график изменений давления в пласте (вид снизу и с боку)

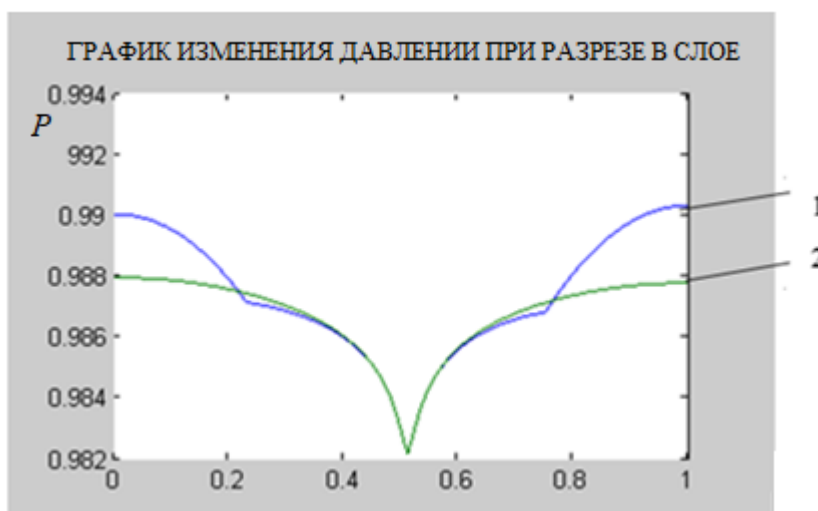


Рис. 4. График изменений в пластах и скважинах в разрезах (1080 суток, по 1-х, по 2-у)

Коэффициент проницаемости в результатах получен следующим образом:

$$k(x) = \begin{cases} 0.05 & 0 \leq x \leq 0.3 \\ 0.5 & 0.3 < x < 0.7 \\ 0.05 & 0.7 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

Поскольку, учитывая расположение скважины в центре и значения коэффициента проницаемости пласта по оси x для кусочно-неоднородной среды, в точках 0.3 и 0.7 оси x графика наблюдается преломление. Это свидетельствует о том, что значения коэффициента $k(x)$ уравнения в данных точках имеют большие различия.

На рисунках 5-6 приводится различное графическое отображение изменения давления в кусочно-неоднородной пористой среде для пяти зон в 5 различных точках по горизонтали коэффициента проницаемости вычислительных экспериментов. Для симметричного изображения данных вычислительных экспериментов следующим образом получены значения коэффициентов проницаемости в зонах:

$$k(x) = \begin{cases} 0.3 & 0 \leq x \leq 0.25 \\ 0.07 & 0.25 < x \leq 0.36 \\ 0.7 & 0.36 \leq x \leq 0.64 \\ 0.07 & 0.64 < x \leq 0.75 \\ 0.3 & 0.75 < x \leq 1.0 \end{cases}$$

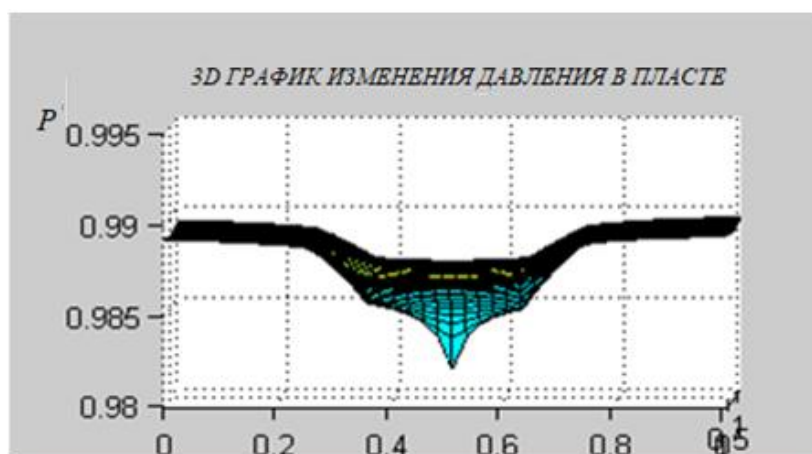


Рис. 5. Вид сбоку изменений давления в области кусочно-неоднородной зоне по горизонтали (1080 суток)

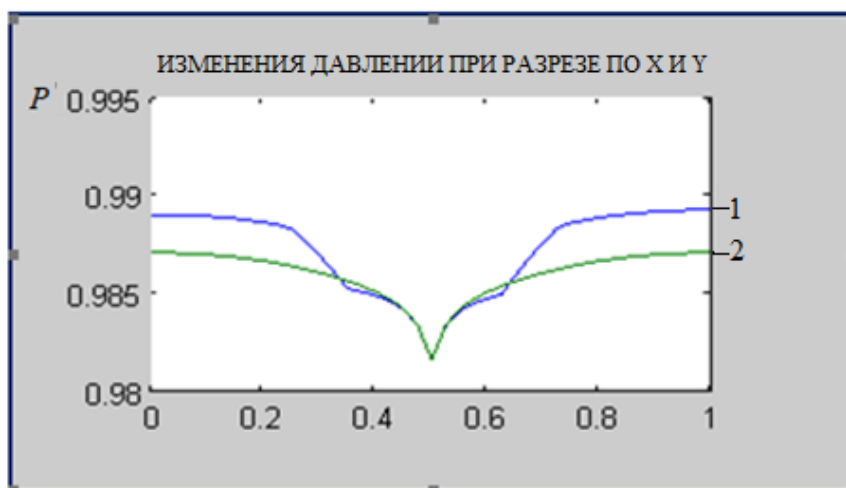


Рис. 6. График изменений давления в разрезе (1080 суток, по 1-х, по 2-у)

Проведенные вычислительные эксперименты представлены визуально на рисунках таким образом, что значения коэффициента проницаемости пласта в соответствующей кусочно-неоднородной среде по оси x , т.е. в точках 0.25, 0.36, 0.5 и 0.64, 0.75, соответственно, оси x в графиках наблюдается преломление. Это свидетельствует о том, что значения коэффициентов проницаемости $k(x)$ в математической модели в приведенных точках значительно различаются.

В четвертой главе диссертации «Программный комплекс визуального представления результатов, полученных при проведении вычислительных экспериментов» рассматриваются вопросы разработки программного комплекса для проведения вычислительных экспериментов по исследованию процессов фильтрации.



Рис. 7. Функциональная схема программного комплекса

Общий вид информационной модели кусочно-неоднородной фильтрационной области по коэффициенту проницаемости пласта с пористой средой можно записать как $I = \{ \inf_{ij} \}$. При этом элементы информационного массива описывается в виде $\inf_{ij} = "r_1 r_2"$.

Здесь элементы разряда: r_1 - определяет конфигурацию области фильтрации; r_2 - определяет кусочно-неоднородные зоны.

Рассмотрены также вычислительные эксперименты по зонам по следующим значениям коэффициентов проницаемости:

$$G = \begin{cases} G_1 : k = 0.05; \\ G_2 : k = 0.5; \\ G_3 : k = 0.005; \\ G_4 : k = 0.4; \\ G_5 : k = 0.05. \end{cases}$$

Для такой же области фильтрации со сложной конфигурацией может быть информационный массив.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 41 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 25 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 25 |

Рис. 8. Информационный массив для кусочно-неоднородной области фильтрации

3D-график и разрез численных результатов процесса вычисления для конфигурации области фильтрации нефтяных скважин с кусочно-неоднородной простой и сложной форм визуализируют снижение давления в скважинах и распределения давления в них. Визуальное представление численных результатов вычислительных экспериментов, в свою очередь, имеют значение при проектировании, анализе и прогнозирования при презентации фильтрационных процессов, изучении гидродинамическое состояние процесса добычи нефти в скважинах, в особенности при проектировании нефтяных скважин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие научные и практические результаты:

1. Сформированы информационные модели, используемые при построении математических моделей процессов нестационарной фильтрации с учетом структуры трехпластовых слоев нефти со слабой проводимостью и динамическим взаимодействием неоднородных слоев в пористой среде. Данные модели послужили построению математических моделей процессов нестационарной фильтрации.

2. Разработана математическая модель процесса нестационарной фильтрации нефти в системе нефтяных скважин со слабопроводимыми пластами с динамическим взаимодействием. Разработанная математическая модель позволяет эффективно изучать особенности взаимодействия пластов.
3. Применены методы численного решения краевых задач нестационарной фильтрации нефти в трехпластовой пористой среде с динамическим взаимодействием и осуществлен сравнительный анализ. Проверена эффективность методов, предложенных на основе полученных результатов.
4. Разработана численная модель фильтрации нефти в кусочно-неоднородной среде на основе двумерной математической модели. Данная модель служит исследованию данных с сильными переменными параметрами.
5. Обоснована эффективность использования метода конечных разностей при численном моделировании процесса фильтрации нефти в кусочно-неоднородной пористой среде.
6. Разработаны алгоритмы расчета краевой задачи по фильтрации нефти в пористой среде. Разработанные алгоритмы послужили созданию программного продукта для пластов с классической и сложной конфигурацией.
7. Разработан программный комплекс «Моделирование визуализации на компьютере проведения вычислительных экспериментов по основным показателям разработка нефтяных месторождений» для решения краевых задач в кусочно-неоднородной пористой среде. Вследствие этого появилась возможность визуализации полученных результатов в 2D- и 3D-графике. Разработанный программный комплекс позволил вести учет различных значений в разных областях нефтедобычи: с прямоугольной, круговой, эллиптической и сложной конфигурацией; для переменных и постоянных параметров пласта; скважин и их дебитов.
8. Математические модели, численные методы, алгоритмы и программные продукты, разработанные в рамках диссертационного исследования, а также численные результаты, внедрены в деятельность управления добычи нефти и газа «ГАЗЛИ», железнодорожного агропромышленного унитарного предприятия «Сардоба», унитарного предприятия «Ракамли технологиялар маркази» при хокимияте Ферганской области. В результате в 8-10 раз сократилось время вычисления основных показателей функционирования скважин, на 5-7% точность в результатах вычисления, на 15% повысилась эффективность производства.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

SADIKOV RUSTAMJON YOXIROVICH

**MATHEMATICAL MODELING OF FILTRATION PROCESSES OF
LIQUIDS IN A PIECEWISE INHOMOGENEOUS POROUS MEDIUM**

05.01.07 - Mathematical modeling. Numerical methods and program complexes

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

Tashkent – 2021

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 B2021.1.PhD/T2089.

The dissertation has been prepared at Tashkent university of information technologies named after Mukhammad al-Kharizmi.

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.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Nazirova Elmira Shodmonovna**
Doctor of Technical Sciences, Docent

Official opponents: **Ravshanov Normahmad**
doctor of technical sciences, professor.
Jabborov Nasriddin Mirzoodilovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Leading organization: **Tashkent State Transport University**

The defense will take place « 17 » december 2021 at 16:00 on the meeting of Scientific Council No DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies named after Mekhammad al-Kharizmi (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 Tashkent University of Information Technologies named after Mekhammad al-Kharizmi (is registered under No 231). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur Street, 108. Tel.: (99871) 238-65-44; fax: (99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on « 9 » december 2021 y.
(mailing report No 40 on « 02 » december 2021 y.).



R.X. Xamdamov
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

Sh.A. Sadullaeva
Chairman of the academic seminar under the scientific
council awarding scientific degrees,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Docent

INTRODUCTION (abstract to PhD dissertation)

The aim of the research work mathematical models of the processes of unsteady filtration of fluids in reservoirs with piecewise heterogeneous media and multilayer oil fields with dynamic interaction, as well as their numerical methods and effective computational algorithms, development of a software package for the visual presentation of numerical results of computational experiments in two- (2D) and three-dimensional (3D) graphics.

The objects of the research work is the process of oil filtration in piecewise heterogeneous porous media.

The scientific novelty of the research work:

a mathematical model of the filtration process in oil fields in a system with a porous medium with poorly permeable reservoirs in the presence of dynamic interactions has been developed;

numerical methods and algorithms have been developed for solving boundary value problems of unsteady oil filtration in three-layer porous media with dynamic coupling between layers;

a boundary value problem for a two-dimensional mathematical model of oil filtration in a piecewise-inhomogeneous porous medium, as well as its numerical model, has been constructed;

a computational algorithm for solving boundary value problems of oil filtration in a piecewise inhomogeneous porous medium has been developed and the process has been studied using computational experiments.

Implementation of the research results: On the basis of algorithms and a software package developed as a result of research within the framework of the dissertation, the following have been introduced:

the software package "Computer modeling of the process of filtration of liquids in a piecewise inhomogeneous porous medium", developed as a result of numerical modeling of the process of two-dimensional filtration of liquids in a porous medium, was introduced into the activities of the unitary enterprise «Agro-industrial complex of the Sardoba railway» (reference of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications from November 3, 2021 year 33-8 / 7764). The results of scientific research made it possible to reduce the computation time by 8-10 times, as well as to increase the production efficiency by 15%;

a software package developed on the basis of computer modeling of liquid filtration processes in a piecewise heterogeneous porous medium was introduced into the activities of the unitary enterprise «Center for digital technologies» under the khokimiyat of the Fergana region (reference of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications dated November 3, 2021, No. 33-8 / 7764). Trial implementation of the software package made it possible to increase the accuracy of calculation results by 5-7% and reduce the computation time to 80-85%;

a software package developed on the basis of computer modeling of liquid filtration processes in a piecewise inhomogeneous porous medium was introduced

at the facilities of «Department of oil and gas production gazli» As a result, the production efficiency of oil and gas wells increased by 7-10%.

Structure and volume of the dissertation: The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of used literature. Includes 50 figures and 2 tables. The volume of the thesis is 115 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Назирова Э.Ш., Неъматов А., Садиқов Р.Т. Бир жинсли бўлмаган бўлакли ғовак муҳитда суюқликлар филтрация жараёнини математик моделлаштириш. // “ТАТУ хабарлари” журнали. 2020, №1 (53). – Б. 40-54. (05.00.00; №31).

2. Неъматов А., Садиқов Р.Т., Исмаилов Ш. Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитли қатламда суюқликлар стационар филтрация масаласини сонли моделлаштириш // “Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари” журнали. №4(14)/2020. – Б. 11-15. (05.00.00; №10).

3. A Nematov, E Sh Nazirova and R T Sadikov On numerical method for modeling oil filtration problems in piecewise-inhomogeneous porous medium // CIEES 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1032 (2020) 012018. Bulgaria Volume 1032 (012018), – P. 1-7. (Scopus; IF=0.7)

4. Elmira Nazirova, Abdug’ani Nematov, Rustamjon Sadikov and Inomjon Nabiyev One-Dimensional Mathematical Model and a Numerical Solution Accounting Sedimentation of Clay Particles in Process of Oil Filtering in Porous Medium // Springer Nature Switzerland AG 2021 M. Singh et al. (Eds.): IHCI 2020. Intelligent Human Computer Interaction. 12th International Conference, IHCI 2020 Daegu, South Korea, November 24-26, 2020 Proceeding, LNCS 12615, Part I. – P. 353–360. (Scopus; IF=0.6).

5. Садиқов Р.Т. Программное обеспечение мониторинга и прогноза основных показателей разработки нефтяных месторождений // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2021. – №5(35). – С. 109-119. (05.00.00; № 23)

II бўлим (II часть; II part)

1. Назирова Э.Ш., Садиқов Р.Т. Построение математических зависимостей для некоторых параметров пластовой среды. // “Амалий математика ва информацион технологияларнинг долзарб муаммолари-Ал-Хоразмий 2014” Конференция мақолалари, тўплам №1, Самарқанд – 2014. –С. 132-133.

2. Nematov A., Nazirova E.Sh., Sadikov R.T. Explicit/implicit scheme of numerical solution marginal problems non-stationary three-phase filtration. // “Perspectives for the development of information technologies ИТРА 2014”, Tashkent – 2014. – P. 200-203.

3. Нематов А., Назирова Э.Ш., Садиқов Р.Т. Ғовак муҳитда нефтнинг филтрланиш жараёнининг чегаравий масаласини сонли моделлаштириш. // “Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va

kelajak rivoji” Xalqaro ilmiy-texnik konferensiya maqolalar to'plami I-TOM, Toshkent – 2015. –Б. 8-11.

4. Неъматов А. Назирова Э.Ш., Садилов Р.Т. Хусусий хосилали дифференциал тенгламаларни Mathcad математик тизимида ечиш. // “Amaliy matematika va informatsion texnologiyalarning dolzarb muammolari - al-Xorazmiy 2016”, V-Xalqaro konferensiya maqolalari, to'plam №2. Buxoro – 2016. – Б. 105-106.

5. Неъматов А., Садилов Р.Т., Бахриддинов А.Қ. Икки ўлчовли параболик тенгламаларни сонли ечишда натижаларни matlab тизимида визуаллаштириш дастурини яратиш. “Иқтисодиётнинг реал тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг ахамияти” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, 1-қисм. Тошкент – 2017. – Б. 332-334.

6. Назирова Э.Ш., Садилов Р.Т., Исмаилов Ш. Гидродинамик алоқадаги икки қатламли ғовак муҳитда нефтнинг филтрланиш жараёнининг бир ўлчамли масаласини ошкор чекли айирмалли схемада сонли моделлаштириш. // “Математик моделлаштириш, алгоритмлаш ва дастурлашнинг долзарб муаммолари” Республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. Тошкент – 2018. – Б. 182-186.

7. Назирова Э.Ш., Садилов Р.Т., Алиқулов Ш. Ғовак муҳитларда газ филтрацияси жараёнларини сонли моделлаштириш. // “Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион ғоялар” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, 1-қисм. Самарқанд – 2019. – Б. 115-118.

8. Неъматов А., Садилов Р.Т., Набиев Ш., Ғовак муҳитда нефтнинг филтрланиш жараёнида майда гел зарраларининг чўкиб қолишини ҳисобга олувчи бир ўлчамли математик модели ва сонли ечиш алгоритми. // Сборник материалов I Международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях”, 1-том. Фергана – 2019. – С. 387-390.

9. Назирова Э.Ш., Садилов Р.Т., Набиев И.Ш. Эффективный вычислительный алгоритм для решения задач фильтрации газа в пористой среде. // “Амалий математика ва информация технологияларнинг долзарб муаммолари” халқаро анжуман тезислари тўплами. Тошкент – 2019. – С. 91-92.

10. Неъматов А., Садилов Р.Т., Набиев Ш. Ғовак муҳитда нефтнинг филтрация жараёнини математик ва компьютер моделлаштириш. // “Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологияларини қўллашнинг ҳозирги замон масалалари” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. Нукус – 2019. – Б. 31-34.

11. Неъматов А., Садилов Р.Т., Тангиров А.Э. Mathcad компьютер математика тизимида чизиксиз интегро–дифференциал тенгламаларни. // “Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация

технологияларини қўллашнинг ҳозирги замон масалалари” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. Нукус – 2019. – Б. 38-40.

12. Назирова Э.Ш., Садиқов Р.Т. Олий таълим муассасасида очик онлайн таълим ресурсларидан фойдаланишнинг назарий-услубий асослари // “Юқори малакали мутахассис-кадрларни тайёрлашда ўқитишнинг кредит тизимини қўллаш масалалари” Республика илмий-услубий конференцияси маърузалар тўплами. Тошкент – 2020. – Б. 137-139

13. Назирова Э.Ш., Садиқов Р.Т., Исмоилов Ш.Р. Бўлакли бир жинсли бўлмаган соҳа учун Пуассон тенгламасига қўйилган чегаравий масалани ечишда итерацион усул. // «Инновацион ғоялар, ишланмалар амалиётга: муаммолар ва ечимлар» Халқаро илмий-амалий онлайн анжуман. Андижон – 2020. – Б. 117-121.

14. Nazirova E.Sh., Nematov A., Sadikov R.T. Iterative method in solving the boundary problem in the poisson equation for a single area // “Математик моделлаштириш, ҳисоблаш математикаси ва дастурий таъминот инженериясининг долзарб муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани маърузалар тўплами. Қарши – 2020. – Б. 187-191.

15. Неъматов А., Назирова Э.Ш., Садиқов Р.Т. Кўп қатламли динамик алоқадаги ғовак муҳитли тизимда нефтнинг ностационар фильтрация масаласи математик модели ва ечиш сонли усули // «Axborot kommunikatsiya texnologiyalari va dasturiy ta'minot yaratishda innovatsion g'oyalar» Respublika ilmiy-texnik anjumani materiallari to'plami I-tom. Samarqand – 2021. – В. 45-48.

16. Назирова Э.Ш., Нематов А., Акбарова Н.Р., Садиқов Р.Т., “Газ конларини ишлаб чиқишнинг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш”. // Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигидан гувоҳнома DGU 04285, 10.03.2017 й.

17. Назирова Э.Ш., Неъматов А., Садиқов Р.Т., Исмаилов Ш. Бўлакли бир жинсли бўлмаган ғовак муҳитда суюқликлар фильтрацияси жараёнини компьютерли моделлаштириш // Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигидан гувоҳнома DGU 07948, 26.03.2020 й.

18. Назирова Э.Ш., Неъматов А., Садиқов Р.Т. Нефт конларида фильтрация жараёнларининг икки ўлчовли чегаравий масалалари устида сонли тажрибалар ўтказиш учун дастур // Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигидан гувоҳнома DGU 12240, 24.08.2021 й.

19. Nazirova E.Sh., Ne'matov A., Sadikov R.T., Mahmudova M.M. O'zaro dinamik aloqadagi uch qatlamli neft konlarida filtratsiya jarayonini kompyuter modellashtirish // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligidan guvohnoma DGU 12579, 07.10.2021y.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

