

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

---

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

**ҚУРБОНОВ НОЗИМ МУХАММАДРАШИТОВИЧ**

**НЕФТЬ, ГАЗ ВА СУВЛИ ҚАТЛАМЛАРДАГИ ФИЛЬТРАЦИЯ**  
**ЖАРАЁНЛАРИНИНГ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАРИ ВА САМАРАЛИ**  
**СОҢЛИ АЛГОРИТМЛАРИ**

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Соғли усуллар ва дастурлар мажмуи

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.PhD/T59 рақам билан рўйхатга олинган.

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

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

**Илмий раҳбар:** Равшанов Нормакмад  
техника фанлари доктори

**Расмий оппонентлар:** Усманов Ришат Ниязбекович  
техника фанлари доктори, профессор  
Ҳабибуллаев Иброҳим Ҳабибуллаевич  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:** Самарқанд давлат университети

Диссертация химояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.07.01 Илмий кенгашнинг 2017 йил «23» декабр соат 10<sup>00</sup> 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 Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин 2019 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2017 йил «16» декабр кuni тарқатилди.  
(2017 йил «14» декабр даги 11 рақамли реестр баённомаси)



*[Signature]*  
Р.Х.Ҳамдамов  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

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

*[Signature]*  
З.Х.Юлдашев  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар  
раиси, ф.-м.ф.д., профессор

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

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда илмий-инновацион ва замонавий ахборот технологиялари асосида нефть ва газ ишлаб чиқаришни автоматлаштириш етакчи ўринни эгалламоқда. «АҚШ Energy Information Administration агентлиги ва Россия Иқтисодий ривожлантириш вазирлиги маълумотларида келтирилишича, жаҳонда сўнгги йилларда нефть ва газни ишлаб чиқиш ва истеъмол қилишнинг нисбий баланси доимий равишда ўсиши натижасида, жумладан 2030 йилга бориб, нефть ва газни қазиб олиш ҳажми тахминан 17 %га, истеъмол ҳажми эса 18% га ошиши кузатилмоқда»<sup>1,2</sup>. Шу жиҳатдан нефть ва газни қазиб олишда қатламли тизимлардаги мураккаб ўзгарувчан фильтрация жараёнларининг математик ва компьютер моделларини яратиш ҳамда мавжудларини такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этади.

Жаҳонда замонавий компьютер технологиялари ёрдамида янги нефть ва газ конларини излаб топиш, лойиҳалаштириш ва улардан унумли фойдаланиш ҳамда башоратлаш мақсадида ушбу жараёнларни ифодаловчи математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотларни ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан конларнинг ишлаш самарадорлигини ошириш мақсадида қудуқларни оптимал жойлаштириш, дебит миқдорини тўғри танлаш ва қатламли тизимлардаги босим ва тўйинганлик майдонларининг ўзгаришини аниқлашга ёрдам берувчи компьютер моделларини ишлаб чиқиш, катта ўлчамли нефть ва газ фильтрацияси масалаларини ечиш учун параллел ва тақсимланган ҳисоблаш алгоритмларини яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамиз мустақилликка эришгандан буён иссиқлик-энергетика комплексини ривожлантиришни жадаллаштириш ва энергия ресурслари истеъмолининг ошиб бораётган ҳажмини қоплаш учун соҳага илмий инновацион ҳамда замонавий ахборот-коммуникация технологияларини татбиқ этишга алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада янги нефть ва газ конларини ишга тушириш ва мавжуд конларнинг имкониятларидан тўла фойдаланиш ҳисобига қазиб олинаётган маҳсулот ҳажмини оширишда сезиларли натижаларга эришилди. Шу билан бирга 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... иқтисодиёт, бошқариш тизимига инфокоммуникацион-коммуникацион технологияларни жорий этиш, ... ёқилғи-энергия ресурслари билан таъминлашни яхшилаш»<sup>3</sup> вазифалари белгиланган. Ушбу вазифаларни бажаришда соҳага замонавий ахборот-коммуникация технологиялари ва жараёни тадқиқ этишга қўмаклашувчи компьютер моделларини қўллаган

<sup>1</sup> [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144190/32450cf2fc93511aa87c594aee8aad062df16509/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/32450cf2fc93511aa87c594aee8aad062df16509/)

<sup>2</sup> [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144190/e143bf00445ec45f2880476d151ceb9d9aa89ec5/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/e143bf00445ec45f2880476d151ceb9d9aa89ec5/)

<sup>3</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикаси янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги” Фармони

ҳолда конлардан самарали фойдаланиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2013 йил 27 июндаги ПҚ-1989-сон «Ўзбекистон Республикаси Миллий ахборот-коммуникация тизимини янада ривожлантириш тўғрисида»ги Қарори, Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 1 февралдаги 24-сонли «Жойларда компьютерлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини янада ривожлантириш учун шарт-шароитлар яратиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазибаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Кейинги йилларда нефть, газ ва сувли қатламлардаги мураккаб ўзгарувчан филтрация жараёнларини ифодаловчи математик моделлар ва уларни сонли ҳисоблаш усулларини яратиш ҳамда такомиллаштириш бир қатор олимлар: С.Аtkinson, S.Banerjee, G.I.Barenblatt, T.W.Patzek, D.B.Silin, F.Boyer, C.Lapuerta, S.Minjeaud, А.Дарси, Л.С.Лейбензон, А.Х.Мирзаджанзаде, М.М.Хасанов, Б.Б.Лагук, И.А.Чарный, Х.Азиз, Э.Сеттари, С.Н.Закиров, К.С.Басниев, Д.Ж.Ахмед-Заки, А.В.Ахметзянов, А.В.Цепаев, Б.В.Шалимов ва бошқалар ишларида кўриб чиқилган.

Ўзбекистонда В.Қ.Қобулов, Ф.Б.Абуталиев, Ж.Ф.Файзуллаев, Н.М.Муҳидинов, Р.Садуллаев, И.Алимов, Б.Х.Хўжаёров, У.С.Назаров, Н.Равшанов, Ш.Каюмов, В.Ф.Бурнашев ва бошқалар ғовак муҳитдаги суюқлик ва газ филтрацияси жараёнларини тадқиқ қилиш, башоратлаш ва бошқариш учун математик моделлар ва ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишга катта ҳисса қўшганлар.

Ҳозирги кунда нефть, газ ва сувли қатламлардаги филтрация жараёнларининг турли хил масалалари учун кўплаб математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий мажмуалар яратилган. Шунга қарамай, қатламли тизимдаги мураккаб филтрация жараёнларини тадқиқ қилиш ва башоратлаш имконини берувчи компьютер моделларини яратиш муаммолари етарли даражада ўрганилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион маркази илмий-тадқиқот ишлари режасининг ФА-Ф1-Ф010+Ф016 «Мураккаб тизим ва жараёнларни моделлаштириш ва бошқаришнинг фундаментал

муаммолари» (2007-2011), А5-ФА-Ф021 «Газодинамика ва филтрация жараёнларида масса кўчиши масалалари синфини ечишни автоматлаштириш учун объектга йўналтирилган дастурий воситаларни ишлаб чиқиш» (2012-2015), Ф4-ФА-Ф005 «Мураккаб чегарали соҳалар учун математик физиканинг кўп ўлчовли ночизиқ синф масалаларининг моделларини такомиллаштириш ҳамда ечишнинг алгоритмик усулини яратиш ва тадқиқ қилиш» (2012-2016) ва А-5-009 «Филтрация масалалари ва ер ости қориштириш жараёнида эритма харакатлари учун математик моделлар, алгоритмлар ҳамда дастурий воситалар ишлаб чиқариш» (2015-2017) мавзусидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** нефть, газ ва сувли қатламлардаги филтрация жараёнларининг математик моделлари, сонли алгоритмлари ва дастурий воситаларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазибалари:**

ғовак муҳитдаги газ филтрацияси масаласини ечишнинг математик модели ва чекли айирмалар усулига асосланган ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

поршенли сиқиб чиқаришда филтрация жараёнининг математик модели ва фаза соҳаларини тўғрилаш усулига асосланган ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

суяклик ва газнинг биргаликдаги филтрацияси жараёнининг математик модели ва чекли айирмалар ва ўзгарувчан йўналиш усулига асосланган ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

газ филтрацияси масаласини физик хусусиятларига мос қисмларга ажратиш усули билан ечишнинг самарали сонли алгоритминини ишлаб чиқиш;

ихтиёрий филтрация соҳасида ғовак муҳитдаги газ филтрацияси масаласини ечиш учун параллел ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

ғовак муҳитдаги газ филтрацияси жараёни, поршенли сиқиб чиқаришда филтрация жараёни ҳамда суяклик ва газнинг биргаликдаги филтрацияси жараёнлари учун дастурий воситалар яратиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида нефть, газ ва сувли қатламлардаги филтрация жараёнлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** бир ва кўп компоненти муҳит филтрацияси жараёнларининг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситаларини ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, ечимларни солиштириш усуллари, ўзгарувчан йўналишли ва физик хусусиятларига мос қисмларга ажратиш усуллари, сонли итерация усуллари ва параллел ҳисоблаш алгоритмларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

ғовак муҳитдаги газ филтрацияси жараёнининг математик модели турли чегаравий шартларни ҳисобга олиш орқали такомиллаштирилган ва мос масалани ечишнинг чекли айирмалар усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

поршенли сиқиб чиқаришда фильтрация жараёнининг математик модели суюқ фаза соҳасидан нефть олиш омилини ҳисобга олиш орқали такомиллаштирилган ва модель масалани ечиш учун чегарани тўғрилаш усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми яратилган;

суyoқлик ва газнинг биргаликдаги фильтрацияси жараёнининг математик модели ўзаро киришувчи фазалар модели асосида такомиллаштирилган ва масалани ечишнинг ўзгарувчан йўналиш усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

газ фильтрацияси масаласини физик хусусиятларига мос қисмларга ажратиш усули билан ечишнинг самарали сонли алгоритми ишлаб чиқилган; ихтиёрий фильтрация соҳасида ғовак муҳитдаги газ фильтрацияси масаласини ечиш учун параллел ҳисоблаш алгоритми яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:**

нефть, газ ва сувли қатламлардаги фильтрация жараёнларининг математик моделлари ишлаб чиқилган ва такомиллаштирилган ҳамда уларнинг ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

саноат аҳамиятига эга бўлган нефть ва газ конлари худудида жойлашган қудуқларнинг унумдорлигини ошириш учун қудуқ дебитларини таҳлил қилиш ва бошқаришга мўлжалланган дастурий восита яратилган;

углеводород конларини лойиҳалаш ва ишлаш жараёнлари учун тизим ишлашининг турли хил шартларида уч компонентали муҳитнинг биргаликдаги ҳаракати ҳисобга олинганида объектнинг динамик ҳолатини таҳлил қилиш ва бошқаришга мўлжалланган ҳисоблаш дастури яратилган;

“Ғовак қатламдаги кўп компонентали муҳит фильтрацияси” дастурий воситаси яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги масса ва импульс сақланиш қонунлари, газогидродинамика қонунлари, ҳисоблаш математикасининг синовдан ўтган усулларининг қўлланилиши ва олинган натижаларнинг сифат ва миқдорий баҳоланганлиги билан асосланади, қаралаётган жараёнлар учун яратилган математик таъминотнинг адекватлиги модда миқдори баланси тенгламаси ёрдамида текширилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, улар нефть, газ ва сувли қатламлардаги фильтрация жараёнларини тадқиқ қилиш ва башоратлаш учун илмий ва амалий тажрибаларни ўтказиш технологиясини такомиллаштириш имкониятини беради. Ишлаб чиқилган моделлар ва ҳисоблаш алгоритмлари нефть ва газ конларини лойиҳалаштириш, дебитни тўғри танлаш ва қудуқларни оптимал жойлаштириш ҳамда башоратлаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти соҳа мутахассислари томонидан бериладиган объектнинг асосий параметрлари ва уларнинг ўзгариш диапазонларини ғовак муҳитдаги фильтрация жараёнларига таъсирини ўрганиш, нефть ва газ конларидаги босим ҳамда жинсларнинг нефть, газ ва сувга тўйинганлиги коэффициентларини вақт бўйича

таксимланишини аниқлаш, қудуқ дебитларини таҳлил қилиш ва бошқариш, янги қудуқларни оптимал жойлаштириш, башоратлаш ва яратилган компьютер моделлари ёрдамида жараёнга янги ахборот технологияларини қўллаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Нефть, газ ва сувли қатламлардаги фильтрация жараёнларини тадқиқ қилиш учун яратилган математик моделлар, алгоритмлар ва дастурий мажмуалар асосида олинган натижалар асосида:

газ фильтрацияси, поршенли сиқиб чиқаришдаги фильтрация ҳамда суюқлик ва газнинг биргаликдаги фильтрацияси жараёнларининг такомиллаштирилган математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотлари «Ўзнефтьгазқазибчиқариш» АЖ тасарруфига кирувчи Крук ва Шимолий Ўртабук конларига ва Ўзбекистон Республикаси Нефть ва газ саноати Ўзбекистон илмий-муҳандислар жамияти объектларига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2017 йил 14 ноябрдаги 33-8/7725-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаси босим ва тўйинганлик майдонларининг ўзгаришини аниқлаш сифатини 7%га, қудуқлар дебитларининг ўрта ва узок муддатли башоратлаш сифатини эса 6%га ошириш имконини берган;

поршенли сиқиб чиқаришдаги фильтрация жараёни ва суюқликларнинг биргаликдаги фильтрацияси жараёнларининг такомиллаштирилган математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотлари «Дарғом» ирригация тизими бошқармаси объектларига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2017 йил 14 ноябрдаги 33-8/7725-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаси босим майдонининг ўзгаришини аниқлаш сифатини 15%га, қудуқлар дебитларининг ўрта ва узок муддатли башоратлаш сифатини 10%га ошириш имконини берган;

углеводородли конларни лойиҳалаш ва уларни ишлаш жараёнларини тадқиқ қилиш учун яратилган математик ва дастурий таъминотлар Навоий вилоятидаги 18-сонли Дала қидирув экспедицияси объектларига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2017 йил 14 ноябрдаги 33-8/7725-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаси қатламли тизимлардаги кўп компонентли аралашмалар фильтрацияси соҳаларида қудуқларни оптимал жойлаштириш ва уларнинг дебитларини тўғри танлаш орқали конларнинг ишлаш самарадорлигини ошириш имконини берган;

газ фильтрацияси тенгламасини физик хусусиятларига мос қисмларга ажратиш усули билан ечишнинг самарали сонли алгоритми ва ихтиёрий фильтрация соҳасида ғовак муҳитдаги газ фильтрацияси масаласини ечиш учун параллел ҳисоблаш алгоритми Ф4-ФА-Ф005 - «Мураккаб чегарали соҳалар учун математик физиканинг кўп ўлчовли ночизиқ синф масалаларининг моделларини такомиллаштириш ҳамда ечишнинг алгоритмик усулини яратиш ва тадқиқ қилиш» мавзусидаги фундаментал лойиҳасига жорий қилинган (Фан ва технологиялари агентлигининг 2017 йил

24 октябрдаги ФТА-02-11/942-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаси ғовак муҳитдаги газ филтрацияси жараёнини ҳисоблашдаги такрорланишлар сонини камайтириш ҳисобига вақтни 25%гача қисқартириш ва параллел ҳисоблаш алгоритми қўлланилганида эса ҳисоблаш жараёнини 20 марта тезлаштириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 16 та халқаро ва 13 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 45 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, 6 таси хорижий ва 5 таси республика журналларда нашр қилинган ҳамда 3 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 113 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асослаб берилган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалда жорий қилиш ҳолати, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг “Ғовак муҳитдаги суюқлик ва газ филтрацияси жараёнини тадқиқ қилиш мақсади ва вазифалари” деб номланган биринчи бобида нефть, газ ва сувли қатламлардаги филтрация жараёнларининг компьютер моделларини яратиш муаммолари таҳлили келтирилган.

Биринчи параграфда сўнгги йилларда ғовак муҳитдаги кўп фазали филтрация жараёнлари, нефтни сиқиб чиқаришдаги филтрация жараёни ва газ филтрация жараёни масалаларининг математик моделлари ҳамда уларни ҳисоблаш алгоритмларини яратиш муаммолари билан шуғулланиб келаётган олимлар мақолаларининг тизимли таҳлили келтирилган.

Иккинчи параграфда ғовак муҳитдаги филтрация жараёнларини тадқиқ қилишга математик моделлаштириш ва ҳисоблаш тажрибалари методологиясини қўллашнинг замонавий тенденциялари қаралган.

Математик модель ва ҳисоблаш тажрибалари асосида ахборотларни қайта ишлаш тизимини куриш методологиясининг фундаментал принциплари интеллектуал асоси «математик модель – ҳисоблаш алгоритми



– дастурий восита» триадасига таянувчи анъанавий илмий усуллар ва янги ахборот технологиялари ютуқларининг бирлашмаси ҳисобланади.

Тадқиқ қилинаётган объект ёки жараёни етарлича адекват ифодаловчи математик моделига алмаштириш ва ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш уларга таъсир этувчи ички ва ташқи параметрларнинг муҳимлигини ҳамда гидродинамик ва техник тизимлардаги яширин янги қонуниятларни аниқлаш имконини беради.

Ўтказилган тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатдики, объект ёки жараён математик моделининг адекватлик даражаси объект ёки жараёнга таъсир этувчи ички ва ташқи омиллар натижасида келиб чиқувчи чизиксиз эффектларни ҳисобга олиш эвазига ошиши мумкин.

Тадқиқот объекти математик моделининг адекватлик даражасини текширишнинг энг мақбул усулларидан бири – бу ЭХМда ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш ҳисобланади.

Масалаларнинг ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқишда барча мавжуд усулларни жалб этиш зарур: аниқ ва аналитик ечим, ечимнинг асимптотик баҳолари, ўлчамлар таҳлили ва тажриба маълумотлари. Масалаларни ечишнинг сонли алгоритмлари тежамкор, универсал ва турғун бўлиши зарур.

Учинчи параграфда нефть, газ ва нефть-газли конларнинг ишлашини таҳлил қилиш ва башоратлаш информацион моделларини яратишнинг асосий принциплари ёритилган.

Диссертациянинг “Ғовак муҳитдаги кўп компонентли фильтрация жараёнларини математик моделлаштириш” деб номланган иккинчи бобда ғовак муҳитдаги газ фильтрацияси жараёнининг, фазалараро ўтишлардаги фильтрация жараёнларининг ҳамда суюқлик ва газнинг биргаликдаги фильтрацияси жараёнларининг математик моделлари келтирилган.

Биринчи параграфда ғовак муҳитдаги газ фильтрацияси жараёнининг математик модели яратилган. Асосий тенглама куйидаги кўринишга эга:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K}{\mu} b \rho \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{K}{\mu} b \rho \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (m \rho) \bar{b} - Q \frac{\rho P_a}{P \Delta x \Delta y} \delta(x, y). \quad (1)$$

Бу ерда  $Q$  – кудуқлардаги ҳажм сарфи;  $Q\rho$  – масса сарфи;  $P$  – босим;  $P_a$  – атмосфера босими;  $\rho$  – зичлик;  $b$  – қатлам қуввати;  $\bar{b}$  – тўр квадратдаги қатламнинг ўртача қуввати;  $K, \mu$  – мос равишда ўтказувчанлик ва газнинг ёпишқоқлиги коэффициентлари;  $\Delta x, \Delta y$  –  $x$  ва  $y$  координаталари бўйича мос қадамлар;  $m$  – қатламнинг ғоваклиги;

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{агар } (x, y) \in \gamma, \\ 0, & \text{агар } (x, y) \notin \gamma, \end{cases}$$

бу ерда  $\gamma$  –  $G$  соҳасидаги кудуқлар жойлашган бўлиши мумкин бўлган нуқталар тўплами.

(1) тенгламага бошланғич, чегаравий ва ички шартларни қўшамиз:

$$P(x, y, t)|_{t=0} = P_0, \quad (x, y) \in G; \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial P}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0; \oint \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P}{\partial n} ds = C_1 Q_1. \quad (3)$$

Бу ерда  $Q_1 = Q$ ,  $C_1$  – ўлчовсиз кўринишга келтириш учун фойдаланилган ўзгармас катталиклар;  $\Gamma$  –  $G$  соҳанинг чегараси.

Иккинчи параграфда газогидродинамика қонунларини кўйлаб, қатламдаги суюқликнинг кўтарилиши ва газ ҳажмининг қатламга таъсир этиши жараёнининг математик модели қуйидагича шакллантирилган:

$$0 < x < l(t) \text{ да } \frac{\partial}{\partial x} \left( P_m \frac{K}{\mu_r} \frac{\partial P_m}{\partial x} \right) = m \frac{\partial P_m}{\partial t}, \quad (4)$$

$$l(t) < x < L \text{ да } \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K}{\mu_n} \frac{\partial P_{нефть}}{\partial x} \right) = m \frac{\partial P_{нефть}}{\partial t} + F,$$

бу ерда  $F = A_2 q_x \delta(x - \zeta)$ .

Ушбу тенгламалар қуйидаги чегаравий ва ички шартларда интегралланади:

$$\left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=0} = -A_1 q_r; \quad x = L, \quad t > 0 \text{ да } P(x, t) = f(x, t). \quad (5)$$

Қисмларнинг қўзғаладиган чегарасида қуйидаги шартлар бериледи

$$S_n \frac{dl}{dt} = -K \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=l(t)=0}; \quad \left. \frac{K}{\mu_r} \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=l(t)=0} = \left. \frac{K}{\mu_n} \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=l(t)=0}; \quad P_m \Big|_{x=l(t)=0} = P_{нефть} \Big|_{x=l(t)=0}. \quad (6)$$

Жараённинг бошланишида фазаларнинг босими ва тўйинганликларининг тақсимланиши ҳамда фазалар чегарасининг жойлашиши маълум:

$$P(x, 0) = P_n^0, \quad l(0) = l^0, \quad 0 < x < L. \quad (7)$$

Қуйилган масалани ечиш учун аввало ўлчовсиз катталикларга ўтказамиз. (4)-(7) формулаларда қуйидаги белгилашлар қабул қилинган:  $S_n$  – жинсларнинг нефтга тўйинганлиги;  $\mu_r, \mu_n$  – газ ва нефтнинг қовушқоклиги;  $P(x, 0) = P_n$  – босимнинг бошланғич тақсимланиши;  $\rho_r, \rho_n$  – газ ва нефтьнинг зичлиги;  $T$  – абсолют ҳарорат;  $P_{нефть}, P_{газ}$  – нефть ва газнинг босими;  $\zeta$  – ички махсус нукта (қуювчи ёки олувчи кудуқ координаталари)  $l(t)$  – бўлим чегараси;  $L$  – қатлам узунлиги;  $q_r, q_x$  – кудуқларнинг ишлаш жадаллиги;  $A_1, A_2$  – баъзи бир доимий катталиклар.

Учинчи параграфда ғовак муҳитдаги суюқлик фазасининг турли хил комбинациясига боғлиқ равишда кўп фазали суюқликларнинг биргаликдаги фильтрация жараёнларининг турли хил қўйилишлари келтирилган.

1. Ғовак муҳитдаги нефть ва газнинг биргаликдаги ҳаракатида фильтрация жараёнини ўлчовсиз координаталар тизимида қуйидаги дифференциал тенгламалар тизими

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial P^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial P^2}{\partial y} \right) = \frac{1}{2P} \frac{\partial}{\partial t} (P^2 S_r) + \left( B \frac{\partial S_n}{\partial t} \right), \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial y} \right) = B \frac{\partial S_n}{\partial t}, S_n + S_r = 1 \end{cases} \quad (8)$$

бошланғич шартлар

$$P(x, y, 0) = P^0(x, y), S_n(x, y, 0) = S_n^0(x, y), S_r(x, y, 0) = S_r^0(x, y), \quad (9)$$

ҳамда ички ва чегаравий шартлар

$$A_1 \frac{\partial P}{\partial n} + A_2 (P - P_p) = 0, (x, y) \in \Gamma, 2\pi b_i R_{q_j} \oint K_1 \frac{\partial P}{\partial n} d\sigma = q_j, j = \overline{1, M_q} \quad (10)$$

билан ифодалананди.

Бу ерда  $K_1 = \frac{\rho_n K_n}{\mu_n} + \frac{K_r P}{RTZ \mu_r}$ ;  $\sigma$  – кудуқ контури;  $P_p$  – қатлам чегарасидаги босим;  $P^0(x, y)$ ,  $S_n^0(x, y)$ ,  $S_r^0(x, y)$  – босим, нефть ва газга тўйинганликнинг бошланғич тақсимланиши;  $M_q$  – кудуқлар сони;  $q_j$  – кудуқнинг ишлаш жадаллиги;  $b_i$  –  $i$ -нуктадаги қатлам куввати;  $R_{q_j}$  – кудуқ радиуси;  $B = \frac{\rho_n RTZ}{P_n}$ .

2. Ғовак муҳитдаги нефть, газ ва сувнинг ўлчовсиз координаталар тизимидаги чизиксиз дифференциал тенгламалар тизими кўринишида ифодаланган биргаликдаги фильтрация жараёни қаралган

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left( K_r \frac{\partial P^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_r \frac{\partial P^2}{\partial y} \right) = \frac{1}{2P} \frac{\partial}{\partial t} (P^2 S_r) + B \frac{\partial}{\partial t} (S_n + B_{вн} S_b), \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial y} \right) = B \frac{\partial S_n}{\partial t}, \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_b \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_b \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \frac{\mu_b}{\mu_r} B \frac{\partial S_b}{\partial t}, \\ S_n + S_b + S_r = 1, \end{cases} \quad (11)$$

бу ерда  $B_{вн} = \frac{\rho_b}{\rho_n}$ .

Берилган дифференциал тенгламалар тизими куйидаги бошланғич

$$\begin{aligned} P(x, y, 0) &= P^0(x, y), S_n(x, y, 0) = S_n^0(x, y), \\ S_b(x, y, 0) &= S_b^0(x, y), S_r(x, y, 0) = S_r^0(x, y), (x, y) \in G; \end{aligned} \quad (12)$$

чегаравий ва ички шартлар

$$A_1 \frac{\partial P}{\partial n} + A_2 (P - P_p) = 0, (x, y) \in \Gamma, 2\pi b_i R_{q_j} \oint K_1 \frac{\partial P}{\partial n} d\sigma = q_j, j = \overline{1, M_q} \quad (13)$$

билан ечилади.

Диссертациянинг “Ғовак муҳитдаги нефть ва газ фильтрацияси жараёнларининг сонли алгоритмлари” деб номланган учинчи бобида иккинчи бобда келтирилган масалаларнинг сонли ҳисоблаш алгоритмлари ҳамда ихтиёрий фильтрация соҳасида ғовак муҳитдаги газ фильтрацияси масаласини ечишнинг самарали сонли алгоритмлари келтирилган.

Биринчи параграфда (1)-(3) масалани интеграллаш учун  $x$  ва  $y$  бўйича тенг ўлчамли тўр киритамиз ҳамда дифференциал операторларни  $O_x$  ва  $O_y$  бўйича ўзгарувчан йўналиш усулини қўллаб, чекли-айирмали тенгламага алмаштирамиз ва алгебраик тенгламалар тизимига эга бўламиз:

$$\begin{aligned} a_i P_{i-1,j}^{2(k+0,5)} - b_i P_{i,j}^{2(k+0,5)} + c_i P_{i-1,j}^{2(k+0,5)} &= -d_i, \\ \bar{a}_j P_{i,j+1}^{2(k+1)} - \bar{b}_j P_{i,j}^{2(k+1)} + \bar{c}_j P_{i,j-1}^{2(k+1)} &= -\bar{d}_j. \end{aligned} \quad (14)$$

(14) тенгламалар тизимини  $O_x$  ва  $O_y$  бўйича ҳайдаш усули билан ечамиз. Уни ечиш учун итерация усулидан фойдаланиш мумкин.

Иккинчи параграфда (4)-(7) масаланинг сонли ечими келтирилган. Бунинг учун фаза соҳаларини тўғрилаш усулини қўллаймиз. Янги эркли ўзгарувчиларни киритамиз:

$$\xi = \frac{x}{l(t)} \text{ ва } \zeta = 1 + \frac{x-l(t)}{1-l(t)}. \quad (15)$$

$\xi \in [0;1]$  ва  $\zeta \in [0;1]$  ўзгарувчиси бўйича ҳосила олиб, (4)-(7) тенгламаларни қуйидаги кўринишга келтириш мумкин:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 P^2}{\partial \xi^2} = \frac{\lambda l(t)}{P} \left[ l(t) \frac{\partial P^2}{\partial t} - l'(t) \xi \frac{\partial P^2}{\partial \xi} \right], \\ \frac{\partial}{\partial \zeta} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial \zeta} \right) = B(1-l(t))^2 \left[ \frac{\partial (S_n)}{\partial t} - l'(t) \frac{2-\zeta}{1-l(t)} \frac{\partial S_n}{\partial \zeta} \right], \\ S_r + S_n = 1; \end{cases} \quad (16)$$

$$\left. \frac{\partial P^2}{\partial \xi} \right|_{\xi=0} = -A_n q_r, \quad (17)$$

$$\frac{dl}{dt} = - \frac{\partial P}{l(t) \partial \xi} \Big|_{\xi=1-0}, \quad D \frac{\partial P}{l(t) \partial \xi} \Big|_{\xi=1-0} = \frac{1}{1-l(t)} \left[ K \left( \frac{\rho_n K_n}{\mu_n} \right) \right] \frac{\partial P}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=0+0};$$

$$\text{бу ерда } \lambda = \frac{K \rho_n R Z T \mu_r}{K_r P_n \mu_n P}, \quad B = \frac{\rho_n R Z T}{P_n}, \quad C = \frac{\rho_n}{\rho_n}, \quad A_n = A_1 \frac{l(t) L}{P_n}, \quad D = \frac{K_r P_n}{2 \rho_r R Z T}.$$

(16)-(17) масалани ечишнинг дискрет алгоритми фаза ва вақтга боғлиқ тўрнинг ҳар бир нуқтасида сақланиш қонунини қаноатлантирадиган консерватив чекли схемани қуришга имкон берувчи интегро-интерполяция усулини қўллашга асосланган.

(16) тизимнинг биринчи тенгламаси учун интегро-интерполяция усулини ва интегралнинг ўнг қисми учун ўрта қиймат ҳақидаги теоремани қўллаймиз. (16) тизимнинг биринчи тенгламаси учун олинган натижалар ҳисобига қуйидагига эга бўламиз

$$a_i P_{i-1}^2 - b_i P_i^2 + c_i P_{i+1}^2 = -d_i, \quad i = \overline{2, N}$$

$$\text{бу ерда } a_i = 1 - \frac{\xi l h \lambda (l_k - \bar{l}_k)}{2 P_i^0 \Delta t}, \quad b_i = 2 + \frac{h^2 l^2 \lambda}{\Delta t P_i^0}, \quad c_i = 1 + \frac{\xi l h \lambda (l_k - \bar{l}_k)}{2 P_i^0 \Delta t}, \quad d_i = \frac{h^2 l^2}{\Delta t P_i^0} \lambda \bar{P}_i^2.$$

(16) тизимнинг иккинчи ва учинчи тенгламалари юқоридагига ўхшаш ечилади.

Ҳайдаш коэффициентлари ва бўлим чегарасини тегишли формулалар ёрдамида аниқлаймиз. Ҳосил бўлган чизиқсиз тенгламалар тизимини ҳайдаш усули билан вақтнинг ҳар бир қадамида оддий итерация усулини қўллаб ечилган.

Учинчи параграфда (8)-(13) математик моделнинг чегаравий шартларини чекли айирмаларда аппроксимация қилиш учун фазо ва вақтга боғлиқ тўр киритамиз. Ўзгарувчан йўналиш усулини қўллаб фильтрация узлуксиз соҳаси ички тугунлари учун чекли айирмалардаги тенгламалар тизимини олиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} a_i P_{i-1,j}^{m+0,5} - b_i P_{i,j}^{m+0,5} + c_i P_{i+1,j}^{m+0,5} &= -d_i, \quad i = \overline{1, N}, \\ \bar{a}_j P_{i,j-1}^{m+1} - \bar{b}_j P_{i,j}^{m+1} + \bar{c}_j P_{i,j+1}^{m+1} &= -\bar{d}_j, \quad j = \overline{1, M}. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

(18) тизим тенгламалари итерация усулини қўллаб вақтнинг ҳар ярим қадамида ҳайдаш усули билан ечилади.

Босимнинг  $s+1$  - яқинлашувини қўллаб, (8) тизимнинг иккинчи тенгламасини аппроксимациялаймиз ҳамда нефтга ва газга тўйинганлик майдонларини аниқлаймиз.

Юқорида келтирилган ҳаракатлар ўхшаш ҳолда уч фазали ҳолат – (11) тенгламалар тизими учун ҳам бажарилади.

Тўртинчи параграфда (1) тенгламани (2) ва (3) шартлар билан ечишда жараённинг физикавий хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги икки масалага ажратамиз. Биринчи масала қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 P_1^2}{\partial x^2} &= \frac{1}{2P_1} \frac{\partial P_1^2}{\partial t} - \frac{1}{2} \delta(x, y) Q \frac{1}{\Delta x \Delta y}, \\ P_1(x, y, t_k) &= P_2(x, y, t_k), \\ \left. \frac{\partial P_1}{\partial n} \right|_{\Gamma} &= 0, \quad \oint \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P_1}{\partial n} ds = C_1 Q_v. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Бу ерда  $P_1(x, y, t_k)$  вақт бўйича ҳисобнинг бошланишида  $P_v(x, y, t)$  га тенг бўлади. Вақт бўйича кейинги қадамларда  $P_2(x, y, t_k)$  (20) масаланинг ечими орқали аниқланади. Ушбу масалани ечиш орқали  $P_1^{k+1} = P_1(x, y, t_{k+1})$  ни топамиз.

Айни шу вақт оралиғида иккинчи масалани ечимиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 P_2^2}{\partial y^2} &= \frac{1}{2P_2} \frac{\partial P_2^2}{\partial t} - \frac{1}{2} \delta(x, y) Q \frac{1}{\Delta x \Delta y}, \\ P_2(x, y, t_k) &= P_1(x, y, t_{k+1}), \\ \left. \frac{\partial P_2}{\partial n} \right|_{\Gamma} &= 0, \quad \oint \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P_2}{\partial n} ds = C_1 Q_v. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Олинган ечим  $P_2^{k+1} = P_2(x, y, t_{k+1})$  (1)-(3) масаланинг ечими бўлади.

Юқорида таснифланган ҳисоблаш алгоритми асосида дастурий мажмуа ишлаб чиқилди ва ЭҲМда объект параметрларининг турли хил қийматларида ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди. Натижада газ фильтрацияси жараёнини ҳисоблашда такрорланишлар сонини камайиши сабабли ҳисоблаш вақти 25% га қисқарди.

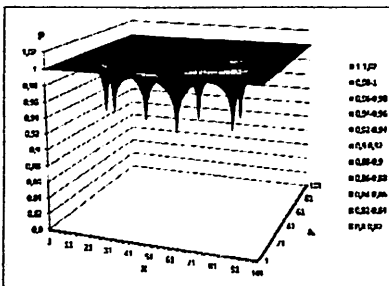
Бешинчи параграф ғовак муҳитдаги газ филтрацияси масаласини ечиш учун параллел ҳисоблаш алгоритмини яратишга бағишланган.

(1)-(3) масала айрим алмаштиришлардан сўнг  $Ax = \bar{b}$  алгебраик тенгламалар тизимига келади, бу ерда  $A$  – уч диагоналли матрица,  $\bar{b}$  – вектор.

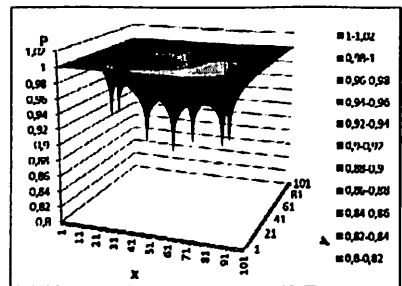
Бошланғич матрица циклик горизонтал усули билан  $P$  жараёнлари бўйича тақсимланади.  $pid$  рақами остидаги процессорда  $pid$ ,  $pid + P$ ,  $pid + 2P$ , ...,  $pid + nP$  рақамли қаторлар жойлашади. Бундай схеманинг қўлланилиши ҳисоблашларни амалга оширишда процессорга тушадиган юкланишлар мувозанатини сақлаш муаммосини ҳал этади. Бу билан ҳар бир процессорга тахминан бир хил ҳисоблаш ҳажми тўғри келади ва процессорларни бекор туриб қолишининг олди олинади. Алгоритмнинг самарадорлиги бошланғич матрица ўлчами  $400 \times 400$  дан юқори бўлганида сезилади, яъни бевосита ҳисоблашга сарфланган вақтга солиштирганда маълумотларни жўнатишга кетган вақт ҳеч қандай аҳамиятга эга бўлмайди.

Диссертациянинг “Ғовак муҳитдаги нефть ва газ филтрацияси масалаларини ечиш учун дастурий таъминот ва ҳисоблаш тажрибалари” деб номланган тўртинчи бобида ғовак муҳитдаги газ филтрацияси жараёни учун, углеводородли конларни лойиҳалаш ва қайта ишлаш жараёнлари учун ва ғовак муҳитдаги нефть ва газнинг биргаликдаги филтрацияси жараёни учун яратилган дастурий таъминотларининг тавсифи келтирилган. ЭХМда ушбу дастурий воситалар ёрдамида объект параметрлари ва шартларининг турли хил қийматларида серияли ҳисоб тажрибалари ўтказилди. Ўтказилган сонли тажрибаларнинг натижалари икки ва уч ўлчовли объектлар кўринишида визуализация қилинди (1 ва 2-расм).

Ҳисоб тажрибаларининг таҳлили ғовак муҳитларда газ филтрацияси жараёнига таъсир этувчи асосий омиллар – ўтказувчанлик, қовушқоқлик ва ғоваклилик коэффицентлари, қудуқларнинг дебитлари ва қатлам қуввати эканлигини кўрсатди. Ўтказувчанлик коэффицентининг ўсиши билан қудуқнинг жараёнга силжишига таъсир этиш соҳаси вақт бўйича сезиларли даражада ўсади.



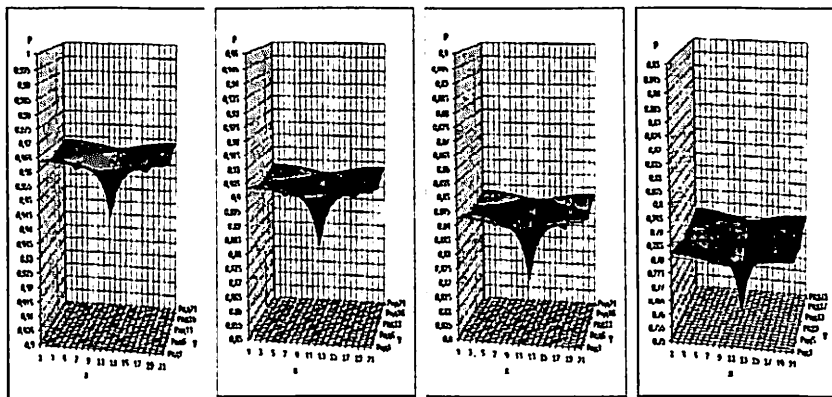
а)



б)

а - 365 суткада; б - 3650 суткада

1-расм. Филтрация соҳасида газ босимининг вақт бўйича ўзгариши



а -  $\tau = 132$  суткада; б -  $\tau = 332$  суткада; в -  $\tau = 532$  суткада; г -  $\tau = 732$  суткада.

## 2-расм. Қатламда газ босимининг вақт бўйича қайта тақсимланишининг уч ўлчовли визуализацияси (квадрат соҳа)

Нефть ва газнинг турли хил қовушқоқлик коэффициентлари ҳамда газни ҳайдашда қаралаётган шартларда қатламдаги газни ҳайдаш суръатининг ўзгариши таъминот контурига яқин жойлашган бир қатор қудуқларда босимнинг тушиш жараёнига таъсир этмаслиги аниқланди.

Нефть қовушқоқлиги қиймати катта бўлганда галереяда босимнинг тушиш тезлиги вақт бўйича ортиб боради, нефть қовушқоқлиги қиймати катта бўлмаганда эса маълум қийматларга етгунча босим олдин жадал. кейин эса секин тушиб боради.

Бир хил интенсивликдаги қазиб олишда қудуқдаги босимнинг тушиши газ фильтрациясига қараганда нефть фильтрациясида тезроқ бўлиши, нефтнинг таркибида газнинг мавжудлиги шarti қаралганда эса суюқликнинг оқувчанлиги ошиши аниқланди.

## ХУЛОСА

«Нефть, газ ва сувли қатламлардаги фильтрация жараёнларининг математик моделлари ва самарали сонли алгоритмлари» мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Говак муҳитдаги газ фильтрацияси масаласини ечиш учун математик модель, ҳисоблаш алгоритми ва дастурий таъминот ишлаб чиқилди. Улар нефть ва газ конлари ҳудудида жойлашган қудуқларнинг унумдорлигини ошириш учун фильтрация соҳасидаги газнинг босимини таҳлил қилиш орқали газ конларини лойиҳалаш, башоратлаш ҳамда уларнинг лойиҳавий ечимига аниқлик киритишга хизмат қилади.

2. Поршенли сиқиб чиқаришда фильтрация жараёнининг математик модели, сонли алгоритми ва дастурий таъминоти яратилди. Улар

углеводород конларини лойиҳалаш ва ишлаш жараёнлари учун тизим ишлашининг турли хил шартларида нефть ва газнинг биргаликдаги ҳаракати ҳисобга олинганида объектнинг динамик ҳолатини таҳлил қилиш ва дебит миқдорини тўғри танлаш имконини беради.

3. Суюқлик ва газнинг биргаликдаги фильтрацияси жараёнининг математик модели, сонли алгоритми ва дастурий таъминоти яратилди. Ушбу математик ва дастурий таъминот фильтрация соҳасида вақт бўйича босим ва тўйинганлик майдонларини аниқлашга хизмат қилади.

4. Газ фильтрацияси масаласини физик хусусиятларига мос қисмларга ажратиш усули билан ечишнинг самарали сонли алгоритми ва дастурий таъминоти яратилди. Яратилган ҳисоблаш алгоритми ва дастурий таъминот бошқа ҳисоблаш усулларига қараганда жараёни ҳисоблашдаги такрорланишлар сонини камайтириш ҳисобига вақтни 25%гача қисқартириш имконини беради.

5. Ихтиёрий фильтрация соҳасида газ фильтрацияси масаласини ечиш учун параллел ҳисоблаш алгоритми ва дастурий таъминоти яратилди. Яратилган параллел ҳисоблаш алгоритми ва дастурий таъминот кластерда ишга туширилса шахсий компьютерда ишлатилган оддий ҳисоблаш алгоритмларига қараганда 20 марта тез (масала 100x100 ўлчамли матрица кўринишида берилганда) ҳисоблаш имконини беради.

6. Ишлаб чиқилган математик ва дастурий таъминотлар ёрдамида ўтказилган ҳисоблаш тажрибалари Крук ва Шимолий Ўртабулоқ конларида, Ўзбекистон Республикаси нефть ва газ саноати Ўзбекистон илмий-муҳандислар жамияти объектларида, «Дарғом» ирригация тизими бошқармаси объектларида ва Навоий вилоятидаги 18-сонли дала қидирув экспедицияси объектларида маҳсулдор қатламга турли хил шартларнинг таъсирида углеводородли конларни қайта ишлаш ва лойиҳалашда ҳамда ғовак муҳитнинг гидрогеологик ва геофизик хусусиятларига боғлиқ ҳолда аниқ амалий тавсияларни қабул қилиш имконини беради.



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

---

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

**КУРБОНОВ НОЗИМ МУХАММАДРАШИТОВИЧ**

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В  
НЕФТЕГАЗОВЫХ И ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТАХ**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

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

**Ташкент – 2017**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2017.1.PhD/Т59

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

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

Научный руководитель:

Равшанов Нормухмад  
доктор технических наук

Официальные оппоненты:

Усманов Ришат Ниязбекович  
доктор технических наук, профессор

Хабибуллаев Иброхим Хабибуллаевич  
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Самаркандский государственный университет

Защита диссертации состоится «29» ~~декабря~~ <sup>сентября</sup> 2017 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета 14.07.2016.Т.29.01 при Ташкентском университете информационных технологий и Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100202, Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер ~~2529~~). Адрес: 100202, Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)

Автореферат диссертации разослан «16» ~~декабря~~ <sup>сентября</sup> 2017 года.

(реестр протокола рассылки №11 от «14» ~~декабря~~ <sup>сентября</sup> 2017 года.)



*[Signature]*  
Р.Х.Хамдамов  
Председатель научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., профессор

Ф.М.Нуралиев  
Заместитель секретаря научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н.

*[Signature]*  
З.Х.Юлдашев  
Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению ученых  
степеней, д.ф.-м.н., профессор

## ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире автоматизация производства нефти и газа на основе научно-инновационных и современных информационных технологий занимает лидирующее положение. «По данным US Energy Information Administration и Минэкономразвития России относительно мирового баланса производства и потребления нефти и газа за последние годы в результате неизменного роста этих величин, в частности, до 2030 года наблюдается увеличение общего объёма добычи нефти и газа приблизительно на 17%, а потребления – на 18%»<sup>1,2</sup>. В этом отношении, важное значение имеют разработка и усовершенствование математических и компьютерных моделей сложных динамических процессов фильтрации, происходящих в пластовых системах при добыче нефти и газа.

В мире с целью поиска новых нефтегазовых месторождений, проектирования и их эффективного использования, а также прогнозирования на основе современных компьютерных технологий проводятся целевые научные исследования по разработке математических моделей, вычислительных алгоритмов и программного обеспечения, описывающих эти процессы. В этой связи, важнейшими вопросами выступают разработка компьютерных моделей, направленных на определение изменений полей давления и насыщенности в пластовых системах, на оптимальное размещение скважин и правильный выбор объёма дебита с целью увеличения эффективности функционирования месторождений, а также разработка параллельных и распределенных алгоритмов для решения задач фильтрации нефти и газа большой размерности.

С приобретением независимости в нашей республике уделяется большое внимание внедрению в эту область научно-инновационных и современных информационно-коммуникационных технологий для ускоренного развития топливно-энергетического комплекса и покрытия растущих объёмов потребления энергоресурсов. В этой связи достигнуты осязаемые результаты в увеличении объёма добычи продукта за счет разработки новых нефте- и газовых месторождений и полного использования возможностей существующих промыслов. Вместе с тем, в Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи, в частности «... внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, системы управления, ... улучшение обеспечения населения топливно-энергетическими ресурсами»<sup>3</sup>. Для выполнения этих задач одним из важных вопросов является применение современных информационно-коммуникационных технологий и компьютерных моделей, помогающих

<sup>1</sup> [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144190/32450cf2fc93511aa87c594aee8aad062df16509/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/32450cf2fc93511aa87c594aee8aad062df16509/)

<sup>2</sup> [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144190/e143bf00445ec45f2880476d151ceb9d9aa89ec5/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/e143bf00445ec45f2880476d151ceb9d9aa89ec5/)

<sup>3</sup> Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему Развитию Республики Узбекистан». ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года.

исследованию процесса эффективного использования месторождений в отрасли.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлением Президента Республики Узбекистан № ПП-1989 от 27 июня 2013 г. «О мерах по дальнейшему развитию Национальной информационно-коммуникационной системы Республики Узбекистан», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан № 24 от 1 февраля 2012 г. «О мерах по созданию условий для дальнейшего развития компьютеризации и информационно-коммуникационных технологий на местах» и другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** За последние годы разработка и усовершенствование математических моделей сложных динамических процессов фильтрации в нефтегазовых и водоносных пластах и численных вычислительных методов рассмотрены в работах таких ученых, как С. Atkinson, S. Banerjee, G. I. Barenblatt, T. W. Patzek, D. B. Silin, F. Boyer, C. Lapuerta, S. Minjeaud, А. Дарси, Л. С. Лейбензон, А. Х. Мирзаджанзаде, М. М. Хасанов, Б. Б. Лапук, И. А. Чарный, Х. Азиз, Э. Сеттари, С. Н. Закиров, К. С. Басниев, Д. Ж. Ахмед-Заки, А. В. Ахметзянов, А. В. Цепяев, Б. В. Шалимов и др.

В Узбекистане существенную лепту в разработку математических моделей и вычислительных методов для исследования, прогнозирования и управления процессами жидкости и газа в пористых средах внесли такие отечественные ученые, как В. К. Кабулов, Ф. Б. Абуталиев, Ж. Ф. Файзуллаев, Н. М. Мухидинов, Р. Садуллаев, И. Алимов, Б. Х. Хужаёров, У. С. Назаров, Н. Равшанов, Ш. Каюмов, В. Ф. Бурнашев и др.

К настоящему времени разработано множество математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных комплексов для различных задач процессов фильтрации в нефтегазовых и водоносных пластах. Тем не менее, проблемы разработки компьютерных моделей, позволяющих исследовать и прогнозировать сложные процессы фильтрации в пластовых системах, изучены недостаточно полно.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках прикладных проектов согласно плану научно-исследовательских работ в Научно-инновационном центре информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий:

ФА-Ф1-Ф010+Ф016 «Фундаментальные проблемы моделирования и управления сложными системами и процессами» (2007-2011), А5-ФА-Ф021 «Разработка объектно-ориентированных программных средств для автоматизации решения класса задач массопереноса в газодинамических и фильтрационных процессах» (2012-2015), Ф4-ФА-Ф005 «Усовершенствование моделей, разработка и исследование алгоритмических методов решения классов многомерных нелинейных задач математической физики для областей сложной конфигурации» (2012-2016), А-5-009 «Разработка математических моделей, алгоритмов и программных средств для решения задач фильтрации и движения растворов в процессах подземного выщелачивания» (2015-2017).

Целью исследования является разработка математических моделей, численных алгоритмов и программных средств фильтрационных процессов в нефтегазовых и водоносных пластах.

**Задачи исследования:**

разработка математической модели и вычислительного алгоритма на основе метода конечных разностей для решения задачи фильтрации газа в пористых средах;

разработка математической модели и численного алгоритма на основе метода выпрямления фазовых фронтов для фильтрационного процесса при поршневом вытеснении;

разработка математической модели и численного алгоритма на основе методов конечных разностей и переменных направлений для процесса совместной фильтрации жидкостей и газа в пористой среде;

разработка эффективного численного алгоритма решения задачи фильтрации газа в пористых средах методом физического расщепления;

разработка параллельного вычислительного алгоритма для решения задачи фильтрации газа в пористых средах при произвольной области фильтрации;

создание программных средств для задач фильтрации газа, фильтрационного процесса при поршневом вытеснении и процесса совместной фильтрации жидкостей и газа в пористой среде.

**Объектом исследования** являются процессы фильтрации в нефтегазовых и водоносных пластах.

**Предмет исследования** составляют математические модели, вычислительные алгоритмы и программные средства процесса фильтрации одно- и многокомпонентных сред.

**Методы исследования.** В диссертационной работе использованы методы системного анализа, сравнения результатов, переменных направлений, физического расщепления и численной итерации, а также методы параллельных и распределенных вычислений.

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

усовершенствована математическая модель процесса фильтрации газа в пористых средах путем учета различных граничных условий и разработан

вычислительный алгоритм решения соответствующей задачи на основе метода конечных разностей;

усовершенствована математическая модель фильтрационного процесса при поршневом вытеснении путем учета фактора добычи нефти из области жидкой фазы и разработан вычислительный алгоритм решения задачи на основе метода выпрямления фазовых фронтов;

усовершенствована математическая модель процесса совместной фильтрации жидкости и газа на основе модели взаимосвязанных фаз и разработан вычислительный алгоритм решения задачи на основе метода переменных направлений;

разработан эффективный численный алгоритм решения задачи фильтрации газа в пористых средах методом физического расщепления;

разработан параллельный вычислительный алгоритм для решения задачи фильтрации газа в пористых средах при произвольной области фильтрации.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

усовершенствованы математические модели и разработаны вычислительные алгоритмы для процессов фильтрации в нефтегазовых и водоносных пластах;

разработано программное средство, предназначенное для анализа функционирования и управления дебитами скважин для повышения нефте- и газоотдачи промыслового региона;

разработана программа расчётов для процессов проектирования и разработки углеводородных месторождений, предназначенная для анализа динамического состояния и управления объектом с учетом совместного движения многофазной среды при различных условиях функционирования системы;

разработано программное средство «Фильтрация многокомпонентных сред в пористом пласте».

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обосновывается использованием известных законов сохранения массы и импульса, законов газогидродинамики, апробированных методов вычислительной математики, а также качественной и количественной оценкой полученных результатов, адекватность разработанного математического обеспечения рассматриваемых процессов проверяется уравнением материального баланса.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования заключается в том, что обеспечивается возможность усовершенствования технологии проведения научных и практических экспериментов для исследования и прогнозирования процессов фильтрации в нефтегазовых и водоносных пластах. Разработанные модели и вычислительные алгоритмы позволяют проектировать нефтегазовые месторождения, делать правильный выбор объема дебита и оптимально располагать скважины, а также выполнять прогноз.

Практическая значимость заключается в том, что результаты исследования дают возможность изучения степени воздействия на процесс фильтрации в пористых средах основных параметров объекта и их диапазонов изменения, предоставляемых специалистами отрасли, определения распределений по времени давления в нефтегазовых месторождениях и коэффициентов нефте-, газо- и водонасыщенности, анализа и управления дебитами скважин, оптимального размещения новых скважин, прогнозирования и применения новых информационных технологий к процессу с помощью разработанных компьютерных моделей.

**Внедрение результатов исследования.** На основе разработанных математических моделей, алгоритмов и программных комплексов для исследования процессов фильтрации в нефтегазовых и водоносных пластах:

усовершенствованные математические модели процессов фильтрации газа, фильтрационного процесса при поршневом вытеснении, процесса совместной фильтрации жидкостей и газа, их вычислительные алгоритмы и программное обеспечение внедрены на месторождениях Крук и Северный Уртабулак, находящихся в ведении АО «Узнефтегаздобыча» и на объектах Узбекского научно-инженерного общества нефтяной и газовой промышленности (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан от 14 ноября 2017 года №33-8/7725). Результаты научных исследований дали возможность 7%-го повышения точности определения изменений полей давления и насыщенностей по времени и пространству в зависимости от гидродинамических параметров объекта, а также 6%-го повышения качества среднесрочных и долгосрочных прогнозов дебитов продуктивных скважин.

усовершенствованные математические модели фильтрационного процесса при поршневом вытеснении и процесса совместной фильтрации жидкостей и газа, их вычислительные алгоритмы и программное обеспечение внедрены на объектах Управления ирригационных систем «Даргом» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан от 14 ноября 2017 года №33-8/7725). Результаты научных исследований дали возможность 15%-го повышения точности определения изменений полей давления, а также 10%-го повышения качества средне- и долгосрочных прогнозов дебитов продуктивных скважин.

разработанные математические модели и программное обеспечение с целью исследования процессов проектирования и разработки углеводородных месторождений были внедрены на объектах Полевой поисковой экспедиции №18 в Навоийской области (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан от 14 ноября 2017 года №33-8/7725). Результаты исследований обеспечили возможность оптимального размещения скважин и управления дебитами в зонах фильтрации многокомпонентных смесей в пластовых системах с целью повышения эффективности работы месторождений.

эффективный численный алгоритм решения задачи фильтрации газа в пористых средах методом физического расщепления и параллельный

вычислительный алгоритм для решения задачи фильтрации газа в пористых средах при произвольной области фильтрации использованы в фундаментальном проекте по теме Ф4-ФА-Ф005 - «Усовершенствование моделей, разработка и исследование алгоритмических методов решения классов многомерных нелинейных задач математической физики для областей сложной конфигурации» (справка Агентства по науке и технологиям от 24 октября 2017 года №ФТА-02-11/942). Результаты исследований позволили сократить время расчета на 25 % за счет уменьшения количества циклов при вычислении процесса фильтрации газа, а параллельный алгоритм обеспечил 20-кратное ускорение вычислений.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 16 международных и 13 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 45 научных работ. Из них 1 монография, 11 научных статей, 6 - в зарубежных, 5 - в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, также получены 3 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация, объём которой составляет 113 страниц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, приложений.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Обозначены цель и задачи, определены объект и предмет исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о состоянии внедрения результатов исследования на практике, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе под названием «Цель и задачи исследования фильтрации жидкости и газа в пористых средах» приводится системный анализ по проблемам математического моделирования фильтрационных процессов в нефтегазовых и водоносных пластах.

В первом параграфе приведены системный анализ опубликованных за последние годы статей ученых, занимающихся проблемами разработки математических моделей и вычислительных алгоритмов для задач процесса совместной фильтрации жидкости и газа, фильтрационного процесса при поршневом вытеснении и процесса фильтрации газа.

Во втором параграфе рассматриваются современные тенденции применения методологии математического моделирования и



вычислительного эксперимента в исследованиях процесса фильтрации в пористых средах.

Фундаментальные принципы методологии, теоретических и прикладных вопросов построения систем обработки информации на базе математического моделирования и вычислительного эксперимента (ВЭ) являются синтезом достижений традиционных научных методов и новых информационных технологий переработки и представления информации, в которых интеллектуальная основа базируется на триаде «математическая модель – вычислительный алгоритм – программное средство».

Заменяя исследуемые объекты или процессы на их достаточно адекватно описывающие математические модели (ММ) и проводя ВЭ, можно определять отклик внешних и внутренних параметров, действующих на них, и выявить новые закономерности, скрывающиеся в гидродинамических и технических системах.

Анализ проведенных исследований показал, что степень адекватности ММ объекта или процесса можно повысить за счет учета нелинейных эффектов, возникающих в результате внутренних и внешних возмущений, действующих на них.

Естественный способ проверки степени адекватности ММ объекта исследования – это ВЭ, в состав которого входят вычислительный алгоритм и программно-алгоритмические средства для проведения расчета на ЭВМ.

При разработке алгоритмов решения задачи должны привлекаться все доступные методы: точные и аналитические решения, асимптотические оценки решения, размерный анализ, а также экспериментальные данные. Численные алгоритмы решения задач должны быть экономичными, универсальными и устойчивыми.

В третьем параграфе освещены основные принципы создания информационных моделей анализа функционирования и прогнозирования разработки нефтяных, газовых и нефтегазовых месторождений.

Во второй главе «Математическое моделирование процесса фильтрации многокомпонентных смесей в пористых средах» приведены разработанные математические модели, в том числе: математическая модель фильтрации газа в пористых средах; модель фильтрационных процессов при поршневом вытеснении; модель процесса совместной фильтрации жидкостей и газа в пористой среде.

В первом параграфе разработана математическая модель фильтрации газа в пористых средах. Основное уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K}{\mu} b \rho \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{K}{\mu} b \rho \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (m \rho) \bar{b} - Q \frac{\rho P_a}{P \Delta x \Delta y} \delta(x, y). \quad (1)$$

Здесь  $Q$  – объемный расход (при атмосферном давлении) на скважинах;  $Q\rho$  – массовый расход;  $P$  – давление;  $P_a$  – атмосферное давление;  $\rho$  – плотность;  $b$  – мощность пласта;  $\bar{b}$  – среднее значение мощности в квадрате;  $K, \mu$  – соответственно коэффициенты проницаемости и вязкости

газа;  $\Delta x, \Delta y$  – шаги по координатам  $x$  и  $y$  соответственно;  $m$  – пористость пласта;

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } (x, y) \in \gamma_v, \\ 0 & \text{при } (x, y) \notin \gamma_v, \end{cases}$$

где  $\gamma_v$  – множество точек области  $G$ , в которых могут присутствовать скважины.

К уравнению (1) добавляем начальные, граничные, а также внутренние условия:

$$P(x, y, t)|_{t=0} = P_0, \quad (x, y) \in G; \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial P}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0; \quad \oint_{\Gamma} \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P}{\partial n} ds = C_1 Q_0. \quad (3)$$

Здесь  $Q_0 = Q$ ;  $C_1$  – некоторая постоянная величина для приведения в размерность;  $\Gamma$  – области  $G$ .

Во втором параграфе, используя законы газогидродинамики, формулируем математическую модель процесса воздействия на пласт объемом газа и продвижения жидкости в пласте, которая приводится к решению следующей системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( P_m \frac{K}{\mu_r} \frac{\partial P_m}{\partial x} \right) &= m \frac{\partial P_m}{\partial t} \quad \text{при } 0 < x < l(t), \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K}{\mu_n} \frac{\partial P_{\text{нефтян}}}{\partial x} \right) &= m \frac{\partial P_{\text{нефтян}}}{\partial t} + F \quad \text{при } l(t) < x < L, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $F = A_2 q_n \delta(x - \zeta_i)$ .

Эти уравнения интегрируются при следующих граничных и внутренних условиях:

$$\left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=0} = -A_1 q_r; \quad P(x, t) = f(x, t) \quad \text{при } x = L, \quad t > 0. \quad (5)$$

На подвижной границе раздела задаются условия:

$$S_n \frac{dl}{dt} = -K \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=l(t)-0}, \quad \left. \frac{K}{\mu_r} \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=l(t)-0} = \left. \frac{K}{\mu_n} \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=l(t)+0}, \quad P_m \Big|_{x=l(t)-0} = P_{\text{нефтян}} \Big|_{x=l(t)+0}. \quad (6)$$

В начале разработки известно распределение давления и насыщенности фазы, а также положение границы раздела фаз:

$$P(x, 0) = P_n^0, \quad l(0) = l^0, \quad 0 < x < L. \quad (7)$$

Для решения поставленной задачи сначала переходим к безразмерным переменным. В формулах (4)-(7) приняты следующие обозначения:  $S_n$  – насыщенность породы нефтью;  $\mu_r, \mu_n$  – соответственно вязкости газа и нефти;  $P(x, 0) = P_n^0$  – начальные распределения давления;

$\rho_r, \rho_n$  – соответственно плотность газа и нефти;  $T$  – абсолютная температура;  $P_{нефть}, P_{газ}$  – соответственно давления нефти и газа;  $\zeta_i$  – внутренняя особая точка (нагнетательная или эксплуатационная скважина);  $l(t)$  – подвижная граница раздела;  $L$  – длина пласта;  $q_r, q_n$  – интенсивности работы скважин;  $A_1, A_2$  – некоторые постоянные величины.

В третьем параграфе в зависимости от различных комбинаций фаз жидкости в пористой среде приведены различные постановки совместной фильтрации многофазных жидкостей.

1. При совместном движении нефти и газа в пористой среде процесс фильтрации описывается следующей системой дифференциальных уравнений в безразмерной системе координат:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial P^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial P^2}{\partial y} \right) = \frac{1}{2P} \frac{\partial}{\partial t} (P^2 S_r) + \left( B \frac{\partial S_n}{\partial t} \right), \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial y} \right) = B \frac{\partial S_n}{\partial t}, S_n + S_r = 1 \end{cases} \quad (8)$$

с начальными

$$P(x, y, 0) = P^0(x, y), S_n(x, y, 0) = S_n^0(x, y), S_r(x, y, 0) = S_r^0(x, y), \quad (9)$$

а также внутренними и граничными

$$\begin{aligned} A_1 \frac{\partial P}{\partial n} + A_2 (P - P_p) &= 0, \quad x, y \in \Gamma, \\ 2\pi b_i R_{qj} \oint K_1 \frac{\partial P}{\partial n} d\sigma &= q_j, \quad j = \overline{1, M_q}, \end{aligned} \quad (10)$$

условиями.

Здесь  $K_1 = \frac{\rho_n K_n}{\mu_n} + \frac{K_r P}{RTZ \mu_r}$ ;  $\sigma$  – контур скважины;  $P_p$  – давление на границе пласта;  $P^0(x, y), S_n^0(x, y), S_r^0(x, y)$  – соответственно начальные распределения давления, нефтенасыщенности и газонасыщенности;  $M_q$  – число скважин;  $q_j$  – интенсивности работы скважин;  $b_i$  – мощность пласта в  $i$ -й точке;  $R_{qj}$  – радиус скважины;  $B = \frac{\rho_n RTZ}{P_n}$ .

2. Рассматривается совместная фильтрация нефти, воды и газа через пористую среду, которая описывается следующей системой нелинейных дифференциальных уравнений в безразмерной системе координат:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left( K_r \frac{\partial P^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_r \frac{\partial P^2}{\partial y} \right) = \frac{1}{2P} \frac{\partial}{\partial t} (P^2 S_r) + B \frac{\partial}{\partial t} (S_n + B_{вн} S_b), \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial y} \right) = B \frac{\partial S_n}{\partial t}, \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( K_b \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_b \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \frac{\mu_b}{\mu_r} B \frac{\partial S_b}{\partial t}, S_n + S_b + S_r = 1, \end{cases} \quad (11)$$

где  $B_{вн} = \frac{\rho_b}{\rho_n}$ .

Данная система дифференциальных уравнений решается при начальных

$$\begin{aligned} P(x, y, 0) &= P^0(x, y), S_n(x, y, 0) = S_n^0(x, y), \\ S_b(x, y, 0) &= S_b^0(x, y), S_r(x, y, 0) = S_r^0(x, y), (x, y) \in G \end{aligned} \quad (12)$$

и граничных и внутренних

$$\begin{aligned} A_1 \frac{\partial P}{\partial n} + A_2 (P - P_r) &= 0, (x, y) \in \Gamma, \\ 2\pi b_j R_{j,q} \oint K_j \frac{\partial P}{\partial n} d\sigma &= q_j, j = \overline{1, M_q}, \end{aligned} \quad (13)$$

условиях.

В третьей главе «Численные алгоритмы процессов фильтрации нефти и газа в пористых средах» рассматриваются численные алгоритмы для задач, приведенных во втором параграфе, а также эффективные численные алгоритмы для решения задачи фильтрации газа в пористых средах при произвольной области фильтрации.

В первом параграфе для интегрирования задачи (1)-(3) вводится равномерная сетка по  $x$ ,  $y$  и  $t$ . и Заменяя в задаче дифференциальные операторы на конечно-разностные и используя схему продольно-поперечного направления по  $Ox$  и  $Oy$ , получаем

$$\begin{aligned} a_i P_{i+1,j}^{2(k+0.5)} - b_i P_{i,j}^{2(k+0.5)} + c_i P_{i-1,j}^{2(k+0.5)} &= -d_i, \\ \bar{a}_j P_{i,j+1}^{2(k+1)} - \bar{b}_j P_{i,j}^{2(k+1)} + \bar{c}_j P_{i,j-1}^{2(k+1)} &= -\bar{d}_j. \end{aligned} \quad (14)$$

Решаем систему уравнений (13) методом прогонки по  $Ox$  и  $Oy$ , для чего используем итерационный метод.

Во втором параграфе рассмотрено численное решение задачи (4)-(7). Для этого применяем метод выпрямления фазовых фронтов. Вводим новые независимые переменные:

$$\xi = \frac{x}{l(t)} \text{ и } \zeta = 1 + \frac{x-l(t)}{1-l(t)}. \quad (15)$$

Вводя производные по переменной  $\xi \in [0; 1]$  и  $\zeta \in [0; 1]$  уравнения (4)-(7) можно представить в следующие виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 P^2}{\partial \xi^2} = \frac{\lambda l(t)}{P} \left[ l(t) \frac{\partial P^2}{\partial t} - l'(t) \xi \frac{\partial P^2}{\partial \xi} \right], \\ \frac{\partial}{\partial \zeta} \left( K_n \frac{\partial P}{\partial \zeta} \right) = B(1-l(t))^2 \left[ \frac{\partial (S_n)}{\partial t} - l'(t) \frac{2-\zeta}{1-l(t)} \frac{\partial S_n}{\partial \zeta} \right], \\ S_r + S_n = 1; \end{cases} \quad (16)$$

$$\left. \frac{\partial P^2}{\partial \xi} \right|_{\xi=0} = -A_{in} q_r, \quad (17)$$

$$\frac{dl}{dt} = - \left. \frac{\partial P}{l(t) \partial \xi} \right|_{\xi=1-0}, \quad D \left. \frac{\partial P}{l(t) \partial \xi} \right|_{\xi=1-0} = \frac{1}{1-l(t)} \left[ K \left( \frac{\rho_n K_n}{\mu_n} \right) \right] \left. \frac{\partial P}{\partial \xi} \right|_{\xi=1+0};$$

$$\text{где } \lambda = \frac{K\rho_u RZT\mu_i}{K_r P_u \mu_u P}, B = \frac{\rho_u RZT}{P_u}, C = \frac{\rho_u}{\rho_u}, A_{iu} = A_i \frac{l(i)L}{P_u}, D = \frac{K_r P_u}{2\rho_u RZT}.$$

Дискретный алгоритм решения задачи (16)-(17) основан на применении интегро-интерполяционного метода, позволяющего построить консервативную разностную схему, которая удовлетворяет закону сохранения в каждом узле пространственно-временной сетки.

Используя интегро-интерполяционный метод для первого уравнения системы (16), и для правых частей интеграла применяем теорему о среднем. С учётом полученных результатов для первого уравнения системы (16) получаем

$$a_i P_{i-1}^2 - b_i P_i^2 + c_i P_{i+1}^2 = -d_i, \quad i = \overline{2, N},$$

где

$$a_i = 1 - \frac{\xi l h \lambda (l_k - \bar{l}_k)}{2P_i^0 \Delta t}, \quad b_i = 2 + \frac{h^2 l^2 \lambda}{\Delta t P_i^0},$$

$$c_i = 1 + \frac{\xi l h \lambda (l_k - \bar{l}_k)}{2P_i^0 \Delta t}, \quad d_i = \frac{h^2 l^2}{\Delta t P_i^0} \lambda \bar{P}_i^2.$$

Второе и третье уравнения системы (16) решаются аналогично.

Прогночные коэффициенты и граница раздела определяются с помощью соответствующих формул. Полученная нелинейная система уравнений решена методом прогонки с применением метода простой итерации в каждом временном шаге.

В третьем параграфе для аппроксимации краевой задачи математической модели (8)-(13) в конечных разностях введем пространственную и временную сетки. Применяя метод переменных направлений, получаем систему уравнений в конечных разностях для внутренних узлов дискретной области фильтрации:

$$a_{ij} P_{i-1,j}^{m+0.5} - b_{ij} P_{ij}^{m+0.5} + c_{ij} P_{i+1,j}^{m+0.5} = -d_{ij}, \quad i = \overline{1, N},$$

$$\bar{a}_j P_{i,j-1}^{m+1} - \bar{b}_j P_{i,j}^{m+1} + \bar{c}_j P_{i,j+1}^{m+1} = -\bar{d}_j, \quad j = \overline{1, M}. \quad (18)$$

Уравнения (18) по отдельности решаются методом прогонки на каждом полшаге с применением метода простой итерации.

Аппроксимируя второе уравнение системы (8) и используя  $s+1$  - е приближение давления, определяем поля нефте- и газонасыщенности.

Приведенные выше действия выполняются аналогично для трехфазного случая – системы уравнений (11).

В четвертом параграфе для решения уравнения (1) с условиями (2) и (3) учитываем физические свойства процесса и делим его на две задачи, первая из которых имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 P_1^2}{\partial x^2} &= \frac{1}{2P_1} \frac{\partial P_1^2}{\partial t} - \frac{1}{2} \delta(x, y) Q \frac{1}{\Delta x \Delta y}, \\ P_1(x, y, t_k) &= P_2(x, y, t_k), \\ \frac{\partial P_1}{\partial n} \Big|_r &= 0, \quad \oint \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P_1}{\partial n} ds = C_1 Q, \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

где начальное время расчета  $P_1(x, y, t_k)$  равно  $P_2(x, y, t)$ .

$P_2(x, y, t_k)$  по времени определяется на следующих этапах решения задачи (20). Решая данную задачу, находим  $P_1^{k+1} = P_1(x, y, t_{k+1})$ .

Решаем вторую задачу на промежутке этого времени:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 P_2^2}{\partial y^2} &= \frac{1}{2P_2} \frac{\partial P_2^2}{\partial t} - \frac{1}{2} \delta(x, y) Q \frac{1}{\Delta x \Delta y}, \\ P_2(x, y, t_k) &= P_1(x, y, t_{k+1}), \\ \frac{\partial P_2}{\partial n} \Big|_{\Gamma} &= 0, \quad \oint \frac{K}{\mu} b \frac{\partial P_2}{\partial n} ds = C_1 Q. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Полученное решение  $P_2^{k+1} = P_2(x, y, t_{k+1})$  будет решением задачи (1)-(3).

На основе изложенного алгоритма составлен программный комплекс и проведена серия ВЭ на ЭВМ для различных значений параметров объекта. В результате время расчета сокращается на 25 % за счет уменьшения количества повторений при расчете процесса фильтрации газа.

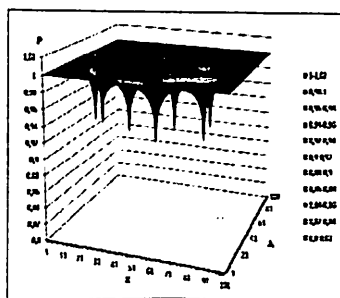
Пятый параграф посвящен разработке параллельного вычислительного алгоритма для решения фильтрации газа в пористых средах.

Задача (1)-(3) после некоторых преобразований сводится к системе алгебраических уравнений вида  $Ax = \bar{b}$ , где  $A$  – трехдиагональная матрица,  $\bar{b}$  – вектор.

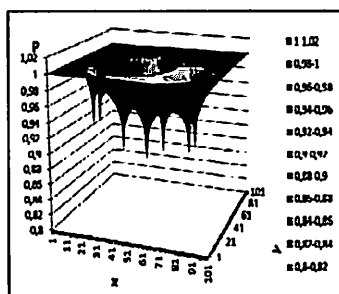
Исходная матрица коэффициентов распределяется по  $P$  процессорам циклическим горизонтальным способом. В процессоре под номером  $pid$  располагаются строки с номерами  $pid$ ,  $pid + P$ ,  $pid + 2P$  и т.д. Применение данной схемы решает проблему балансировки вычислительной нагрузки. Этим достигается примерно одинаковый объем вычислений на каждом процессоре и устраняются простои. Эффективность алгоритма проявляется при размерности исходной матрицы выше  $400 \times 400$ , т.е. когда временем на пересылку данных можно пренебречь.

В четвертой главе «Программное обеспечение и вычислительные эксперименты для решения задачи фильтрации нефти и газа в пористых средах» приведено описание разработанного программного обеспечения по процессу фильтрации газа в пористых средах; процессам проектирования и разработки углеводородных месторождений; процессу совместной фильтрации жидкостей и газа в пористой среде. С помощью этих программных средств проведены серии вычислительных экспериментов на ЭВМ для различных значений параметров и условий объекта. Результаты проведенных численных расчетов визуализированы в виде двух- и трехмерных графических объектов (рис. 1 и 2).

Согласно анализу ВЭ, основные факторы, действующие на процесс фильтрации газа в пористых средах – это коэффициент фильтрации, коэффициент пористости среды, дебиты скважин, мощность пласта, коэффициент нефтегазоотдачи и вязкости. С ростом коэффициента фильтрации область воздействия скважин на ход процесса существенно растет со временем.



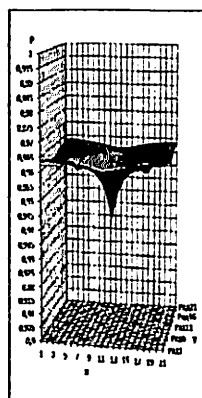
a)



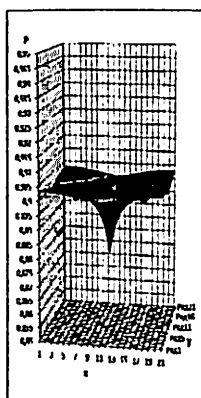
b)

a - 365 сут.; б - 3650 сут.

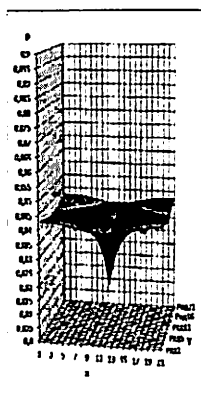
Рис. 1. Изменения давления газа в области фильтрации по времени



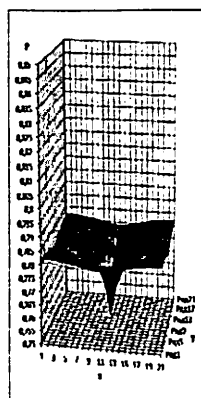
a)



б)



в)



г)

a - при  $\tau = 132$  сут.; б - при  $\tau = 332$  сут.; в - при  $\tau = 532$  сут.; г - при  $\tau = 732$  сут.

Рис. 2. Трехмерная визуализация перераспределения давления газа в пласте по времени (область - квадрат)

Установлено, что изменения значений коэффициентов вязкости нефти и газа, а также интенсивности закачки газа не влияют на падение давления на скважинах, которые удалены от контура питания.

Скорость падения давления на галерее при больших вязкостях нефти увеличивается по времени, а при небольших вязкостях нефти – сначала она растет быстрее, достигая некоторого значения, начинает падать.

Анализ полученных результатов проведенных численных экспериментов позволил установить, что при одинаковой интенсивности добычи падение давления на скважине быстрее при фильтрации нефти, чем при фильтрации газа, а при рассмотрении случая наличие газа в составе нефти наблюдается увеличение текучести смеси.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного диссертационного исследования по теме «Математические модели и эффективные численные алгоритмы фильтрационных процессов в нефтегазовых и водоносных пластах» сводятся к следующим основным выводам:

1. Разработаны математические модели, вычислительные алгоритмы и программное обеспечение для решения задач фильтрации газа в пористых средах. Они могут служить для проектирования, прогнозирования и уточнения проектных решений газовых месторождений на основе анализа давления газа в области фильтрации с целью повышения дебитов скважин, нефте- и газоотдачи промышленного региона.

2. Разработаны математическая модель, вычислительный алгоритм и программное обеспечение процесса фильтрации при поршневом вытеснении. Научные разработки обеспечивают возможность анализа динамического состояния и управления объектом с учетом совместного движения неоднородной среды при различных условиях функционирования системы в ходе проектирования и разработки углеводородных месторождений.

3. Разработаны математическая модель, вычислительный алгоритм и программное обеспечение процесса совместной фильтрации жидкостей и газа. Разработанное математическое и программное обеспечение служит для определения полей давления и насыщенностей по времени.

4. Разработаны эффективный численный алгоритм и программное обеспечение решения задачи фильтрации газа в пористых средах методом физического расщепления. Разработанный вычислительный алгоритм и программное обеспечение обеспечивают возможность сокращения времени расчета на 25 % по сравнению с другими методами вычислений, за счет уменьшения количества циклов при вычислении процесса фильтрации газа.

5. Разработаны параллельный вычислительный алгоритм и программное обеспечение для решения задачи фильтрации газа в пористых средах при произвольной области фильтрации. Разработанный алгоритм и программное обеспечение обеспечивают 20-кратное сокращение времени расчета по матрице с размерами 100x100 на кластере, по сравнению с использованием обычного метода вычислений на персональном компьютере.

6. Разработанное математическое и программное обеспечение обеспечивает возможность принятия управленческих решений по разработке и проектированию нефте- и газовых месторождений при различных условиях воздействия на продуктивный пласт и принятия конкретных практических рекомендаций в зависимости от гидрогеологических и геофизических свойств пористых сред на месторождениях Крук и Северный Уртабулак, на объектах Узбекистанского научно-инженерного общества нефтяной и газовой промышленности, на объектах Управления ирригационных систем «Даргом» и на объектах Полевой поисковой экспедиции № 18 в Навоийской области.



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

---

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

**KURBONOV NOZIM MUKHAMMADRASHITOVICH**

**MATHEMATICAL MODELS AND EFFECTIVE NUMERICAL  
ALGORITHMS OF FILTRATION PROCESSES IN OIL-GAS AND  
WATERBEARING STRATUMS**

05.01.07 – Mathematical modeling. Numerical methods and program complexes

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

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD/T59.

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

The abstract of the dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website [www.tuit.uz](http://www.tuit.uz) and an the website of «ZiyoNet» Information and educational portal [www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz).

**Scientific adviser:** Ravshanov Normahmad  
doctor of technical sciences

**Official opponents :** Usmanov Rishat Niyazbekovich  
doctor of technical sciences, professor  
Habibullaev Ibrohim Habibullaevich  
doctor of technical sciences, professor

**Leading organization:** Samarkand State University

The defense will take place "19" december 2017 at 10<sup>00</sup> the meeting of Scientific council No. DSc.27.06.2017.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No 2519). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on "16" december 2017 y.  
(mailing report No. 11 on "14" december 2017 y.).



**R. Kh. Khamdamov**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technic sciences, professor

**F. M. Nuraliev**  
scientific secretary of scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technic sciences

**Z.X.Yuldashev**  
Chairman of the academic seminar under  
the scientific council awarding scientific  
degrees, doctor of physical and mathematical  
sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research work.** The aim of the research is to develop and improve mathematical models, numerical algorithms and software for filtration processes in oil-, gas- and water-bearing beds.

**The object of the research work** are the filtration processes in oil-, gas- and water-bearing beds.

**The scientific novelty of the research work** is as follows:

the mathematical model of the process of gas filtration in porous media was improved by taking into account various boundary conditions and the computational algorithm for solving the corresponding problem was developed on the basis of the finite difference method;

the mathematical model of the filtration process in the case of piston displacement was improved by taking into account the factor of oil production from the liquid phase region and the computational algorithm for solving this problem was developed on the basis of method of rectifying the phase fronts;

the mathematical model of the process of joint fluid and gas filtration was improved on the basis of the model of interconnected phases and the computational algorithm for solving this problem was developed on the basis of the variable direction method;

the effective numerical algorithm for solving the problem of gas filtration in porous media by the method of physical splitting was developed;

the parallel computational algorithm was developed to solve the problem of gas filtration in porous media for an arbitrary filtering region.

**Implementation of obtained results.** On the basis of the developed mathematical models, algorithms and software complexes for the study of filtration processes in oil-, gas- and water-bearing beds:

improved mathematical models of gas filtration processes, the filtration process in the case of piston displacement, the process of joint filtration of liquids and gas, their computational algorithms and software were implemented at the Kruk and Severny Urtabulak deposits, managed by "Uzneftegazdobycha" JSC and at the facilities of the Uzbek Scientific and Engineering Society of the Oil and Gas Industry (reference of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan of 14 August 2017 No.33-8/7725). The results of scientific research have made it possible to increase up to 7% the accuracy of determining the pressure and saturation fields in time and space, depending on the hydrodynamic parameters of the facility, as well as 6% improvement in the quality of medium and long-term production flow forecasts;

improved mathematical models of the filtration process in the case of piston displacement and the process of joint multiphase filtration of liquids and gases, their computational algorithms and software are implemented at the facilities of the Dargom Irrigation Systems Administration (reference of the Ministry of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan of November 14, 2017 No.33-8/7725). The results of the research have made it

possible to 15% increase in the accuracy of determining the changes in pressure fields, as well as 10% improvement in the quality of medium- and long-term production flow forecasts;

the developed mathematical models and software for the purpose of researching the processes of designing and developing hydrocarbon deposits were implemented at the facilities of the Field Search Expedition No. 18 in Navoi Region (reference from the Ministry of Information Technologies and Communications Development of the Republic of Uzbekistan of November 14, 2017 No.33-8/7725) . The results of the research provided the possibility of optimal well placement and flow control in the filtration zones of multicomponent mixtures in reservoir systems in order to increase the efficiency of field operations;

the effective numerical algorithm for solving the problem of gas filtration in porous media by the method of physical splitting and the parallel computational algorithm for solving the problem of gas filtration in porous media for an arbitrary filtering area were used in the fundamental project  $\Phi 4-\Phi A-\Phi 005$  on the topic "Model improvement, development and investigation of algorithmic methods solutions of classes of multidimensional nonlinear problems of mathematical physics for regions of complex configuration "(reference of the Agency for Science and Technology of October 24, 2017 year No.№ $\Phi TA-02-11/942$ ). The results of the research made it possible to reduce the calculation time by 25% by reducing the number of cycles in the calculation of the gas filtration process, and the parallel algorithm provided a 20-fold acceleration of computations.

**Structure and volume of the dissertation.** The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the dissertation is 113 pages.

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

1. Равшанов Н.К., Юлдашев Б.Э., Курбонов Н.М. Компьютерное моделирование процессов добычи и транспортировки нефти и газа. – Ташкент: Тафаккур, Монография, 2015. – 178 с.
2. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Модель и вычислительный эксперимент для разработки и проектирования нефтегазовых месторождений // Узб. журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2012. – № 6. – С. 20-27, (05.00.00; №5).
3. Курбонов Н.М. Фовак мухитда газ филтрацияси масаласини физик хусусиятларига мос қисмларга ажратиш усули билан ечишнинг сонли алгоритми // Информатика ва энергетика муаммолари. – Тошкент, 2013. – № 1-2. – Б. 26-31, (05.00.00; №5).
4. Курбонов Н.М. Фовак мухитдаги мураккаб таркибли аралашманинг филтрация жараёнини тадқиқ этиш учун модель ва ҳисоблаш эксперименти // Информатика ва энергетика муаммолари. – Тошкент, 2014. – № 3-4. – Б. 55-61, (05.00.00; №5).
5. Курбонов Н.М. Математическая модель и программа расчёта для процессов проектирования и разработки углеводородных месторождений // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2014. – № 4. – С. 56-61, (05.00.00; № 10).
6. Садуллаев Р., Равшанов Н., Курбонов Н.М. Математическая модель и численный алгоритм филтрации газа в пористых средах // Вестник Ташкентского государственного технического университета. – Ташкент, 2011. – № 3-4. – С. 3-8, (05.00.00; № 16).
7. Ravshanov N., Kurbonov N.M. Computational experiment for analysis of main parameters of the gas filtration process in porous medium // American Journal of Mathematical and Computational Sciences. – Wilmington (USA): AASCIT, 2016. – vol. 1. – № 1. – pp. 29-36, (05.00.00; №1).
8. Ravshanov N., Mamatov N., Kurbonov N., Akhmedov D. Parallel computing algorithm for solving the problem of mass transfer in porous medium // European Applied Sciences. – Stuttgart (Germany), 2013. – № 3. – pp. 40-42, (05.00.00; №2).
9. Kurbonov N.M. Computer modeling of the process of oil and gas fields development // Researches of technical sciences. – Moscow (Russia): INGN, 2015. – № 2(16). – pp. 20-26, (05.00.00; №44).
10. Курбонов Н.М. Алгоритм оптимальной добычи газа из пластовых систем // Отраслевые аспекты технических наук. – Москва: ИНГН, 2013. – № 10(34). – С.15-19, (05.00.00; №60).

11. Курбонов Н.М. Вычислительный эксперимент для исследования процесса совместной фильтрации жидкостей и газа в пористой среде // Theoretical & Applied Science. – 2017. – № 5(49). – С. 1-7.

12. Ravshanov N., Abilkasimov B., Kurbonov N. The Model and Numerical Algorithm, to Research the Filtration processes in porous media taking into account the phase transitions of multicomponent mixtures // European researcher. – Sochi, 2012. – № 1(16). – pp. 5-11.

13. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Компьютерное моделирование процесса фильтрации флюидов в пористых средах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – Челябинск, 2015. – Т. 4, № 2. – С. 89-106. – DOI: <http://dx.doi.org/10.14529/cmse150207>.

14. Равшанов Н., Курбонов Н., Ахмедов Д. Модель и эффективный алгоритм параллельного вычисления задачи фильтрации газа в пористых средах // Science - odd teorii do praktyki = Наука - от теории до практики: Сборник докладов международной конференции. – Сопот (Польша), 2013. – С. 14-18.

15. Равшанов Н., Курбонов Н.М., Исламов Ю.Н. Модель и вычислительный эксперимент для исследования процесса массопереноса в пористых средах // Информатика: проблемы, методология, технологии: Сборник трудов XII международной конференции. – Воронеж, 2012. – С. 344-345.

16. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Математическое обеспечение для разработки и проектирования нефтегазовых месторождений // Информатика: проблемы, методология, технологии: Тез. докл. XIII международной конференции. – Воронеж, 2013. – Т. 3. – С. 142-146.

17. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Моделирование процесса фильтрации жидкостей и газа в пористых средах // Информатика: проблемы, методология, технологии: Тез. докл. XIV международной конференции. – Воронеж, 2014. – Т. 1. – С. 237-241.

18. Курбонов Н.М. Математическое обеспечение для разработки и проектирования нефти и газовых месторождений // Информатика: проблемы, методология, технологии: Тез. докл. XV международной конференции. – Воронеж, 2015. – Т. 1. – С. 298-302.

19. Курбонов Н.М. Численное моделирование процесса фильтрации нефть-газ-вода в пористой среде // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы XVI международной конференции. – Воронеж, 2016. – С. 286-291.

20. Курбонов Н.М. Модель и вычислительный эксперимент процесса совместной фильтрации жидкостей и газа в пористой среде // Информатика: проблемы, методология, технологии: Тез. докл. XVI Международной конференции. – Воронеж, 2017. – Т. 2. – С. 243-249.

21. Садуллаев Р., Равшанов Н., Курбонов Н.М. Постановка и алгоритм решения задач процессов двухстороннего вытеснения нефти газом

и водой // Рахматулинские чтения: Труды Международной научной конференции. 26-27 мая 2011. – Бишкек, 2011. – С. 97-99.

22. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Модель для разработки и проектирования нефтегазовых месторождений // Современные проблемы математического моделирования и вычислительных методов: Материалы всеукраинской научной конференции. 22-23 февраля 2013. – Ровно (Украина), 2013. – С. 197.

23. Курбонов Н.М. Компьютерная модель для разработки нефтегазовых месторождений // Современные проблемы математического моделирования и вычислительных методов: Материалы международной научной конференции. 19-22 февраля 2015. – Ровно (Украина), 2015. – С. 207.

24. Kurbonov N.M. Mathematical model of the multiphase mixture filtration in porous media // Perspectives for the development of information technologies ITPA-2014: Transactions of the international scientific conference. – Tashkent, 2014. – pp. 171-174.

25. Kurbonov N.M. Mathematical model and computer experiment to study of filtration oil, gas and water in a porous medium // Modern problems of applied mathematics and information technology - Al-Khorezmiiy 2016: transactions of the international scientific conference. November 9-10 2016. - Bukhara, 2016. – pp. 71-73.

26. Курбонов Н.М. Газ филътрацияси масаласини ечишнинг самарали алгоритми // Innovation-2013: Халқаро илмий анжуман илмий мақолалар тўплами. – Тошкент, 2013. – Б. 258-260.

27. Курбонов Н.М. Компьютерное моделирование процесса филътрации газа в пористых средах // Инновация-2016: Материалы Международной научной конференции. – Ташкент, 2016. – С. 256-257.

28. Равшанов Н., Курбонов Н.М., Исламов Ю.Н. Математическая модель для исследования филътрации многокомпонентных сред в пористых средах // Современные материалы, техника и технологии в машиностроении: Материалы Международной научно-практической конференции. 19-20 апреля 2012. – Андижан, 2012. – С. 90-94.

29. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Математическая модель процесса филътрации нефть-газ-вода в пористых средах // Современное состояние и перспективы развития информационных технологий: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, 2011. – Т. 1. – С. 228-231.

30. Равшанов Н., Абилкасимов Б., Курбонов Н.М. Математическая и информационная модель для решения филътрационных процессов, происходящих в пористых средах // Проблемы повышения качества подготовки кадров для отраслей связи и информатизации: Тез. докл. научно-методической конференции ТУИТ и его филиалов. – 2012. – Т. 1. – С. 151-153.

31. Курбонов Н.М. Нефть ва газ филътрацияси масаласини ечиш учун янги ахборот технологияси ва паралел ҳисоблаш алгоритми // Ахборот технологиялари ва телекоммуникация тизимларини самарали

ривожлантириш истиқболлари: Республика илмий-техник конференцияси маърузалар тўплами. – Тошкент, 2014. – 1-қисм. – Б. 201-203.

32. Курбонов Н.М. Моделирование неустановившегося процесса фильтрации газа в пористых средах // Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологияларини қўллашнинг хозирги замон масалалари: Республика илмий-техник анжумани материаллари. 21 апрель 2015. – Нукус, 2015. – Б. 387-389.

33. Курбонов Н.М. Математическая модель и вычислительный эксперимент для исследования процесса фильтрации флюидов в пористых средах // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. 7-8 сентября 2015. – Ташкент, 2015. – С. 166-171.

34. Курбонов Н.М. Модель и вычислительный эксперимент для анализа основных показателей процесса фильтрации газа в пористых средах // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. Джизак, 5-6 сентября 2016. – Ташкент, 2016. – С. 75-80.

35. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Компьютерное моделирование процессов совместной многофазной фильтрации жидкостей в пористой среде // Замонавий ахборот-коммуникация технологияларини жорий этишда дастурий таъминотлар яратиш: муаммо ва ечимлар: Республика илмий-техникавий анжумани маърузалари тўплами. – Самарқанд, 2016. – Б. 63-68.

36. Курбонов Н.М. Численное исследование процесса фильтрации жидкостей и газа в пористых средах // Алгебра, амалий математика, ахборот технологиялари ва таълим: Республика илмий-амалий конференцияси материаллари. – Тошкент, 2016. – Б. 188-191.

37. Курбонов Н.М. Программное обеспечение для исследования процесса фильтрации газа в пористых средах // Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии реальных отраслей экономики: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. Ч. 2. 6-7 апреля 2017. – Ташкент, 2017. – С. 124-126.

38. Курбонов Н.М. Программное обеспечение процессов проектирования и разработки углеводородных месторождений // Таълим ва илмий тадқиқотлар самарадорлигини оширишда замонавий ахборот-коммуникация технологияларининг ўрни: Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. – Карши, 2017. – Б. 204-206.

39. Курбонов Н.М. Программное обеспечение процессов совместной многофазной фильтрации жидкостей и газа в пористой среде // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. 5-6 сентября 2017. – Ташкент, 2017. – С. 118-123.

40. Курбонов Н.М. Разработка оптимального перераспределения добычи газа с учётом технико-экономических показателей месторождений //



Республика илмий анжуманнинг материаллари «Ёш математикларнинг янги теоремалари - 2009». – 6-7 ноябр 2009. – Тошкент, 2009. - Б. 161-162.

41. Курбонов Н.М., Содиков Р.Т. Моделирование процесса фильтрации многофазной смеси в пористых средах // Информатика, математика, автоматика: Материалы научно-технической конференции. 20-25 апреля 2015. – Сумы, Украина, 2015. – С. 237.

42. Курбонов Н.М., Содиков Р.Т. Компьютерное моделирование процесса фильтрации трехфазной смеси в пористой среде // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье (MicroCAD-2015): Материалы XXIII международной научно-практической конференции. 20-22 мая 2015. – Харьков, Украина, 2015. – С. 224.

43. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Фильтрация нефти и газа: программное средство для анализа функционирования и управления процессом добычи нефти и газа из пластовых систем // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 02314. 08.09.2011 г.

44. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Программа расчета для процессов проектирования и разработки углеводородных месторождений // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 02943. 30.12.2014 г.

45. Равшанов Н., Курбонов Н.М. Фильтрация многокомпонентных сред в пористом пласте: программное средство // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 04367. 05.05.2017 г.

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

**Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитура рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табоғи: 2,75. Адади 100. Буюртма № 34.**

**«ЎзР Фанлар академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилди.  
100170, Тошкент, Зиёлилар кўчаси, 13-уй.**