

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

БУРНАШЕВ ВЛАДИМИР ФИДРАТОВИЧ

ҒОВАК МУҲИТЛАРДА КЎП ФАЗАЛИ, КЎП КОМПОНЕНТАЛИ
СУЮҚЛИКЛАРНИНГ СИЗИШИ ГИДРОДИНАМИК
МОДЕЛЛАРИНИНГ СОНЛИ ТАҲЛИЛИ

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАН ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Самарқанд – 2019

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of abstract doctoral (DSc) dissertation

Бурнашев Владимир Фидратович

Говак муҳитларда кўп фазали, кўп компонентали суюқликларнинг сизиши
гидродинамик моделларининг сонли таҳлили.....3

Бурнашев Владимир Фидратович

Численный анализ гидродинамических моделей фильтрации многофазных
многокомпонентных жидкостей в пористых средах.....27

Burnashev Vladimir Fidratovich

Numerical analysis of hydrodynamic filtration models of multiphase
multicomponent liquids in porous media.....51

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works.....55

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

БУРНАШЕВ ВЛАДИМИР ФИДРАТОВИЧ

ҒОВАК МУҲИТЛАРДА КЎП ФАЗАЛИ, КЎП КОМПОНЕНТАЛИ
СУЮҚЛИКЛАРНИНГ СИЗИШИ ГИДРОДИНАМИК
МОДЕЛЛАРИНИНГ СОНЛИ ТАҲЛИЛИ

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАН ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Самарқанд – 2019

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2018.4.DSc/FM127 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Самарқанд давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.samdu.uz) ва «Ziyounet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи: Хўжаёров Бахтиёр Хўжаёрович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оponentлар: Нормуродов Чори Бегалиевич
физика-математика фанлари доктори

Равшанов Нормухмат
техника фанлари доктори, профессор

Худайкулов Совет Ишонкулович
техника фанлари доктори

Етакчи ташкалот: Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси
Механика ва нишотлар сейсмик мустаҳкамлиги
институт


Диссертация химояси Самарқанд давлат университети ҳузуридаги DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 рақамли Илмий кенгашнинг «17» май 2019 йил соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15-уй. Тел.: (+99866) 239-11-40, 239-12-47, факс: (+99866) 239-11-40, e-mail: devonxona@samdu.uz).


Диссертация билан Самарқанд давлат университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15-уй. Тел.: (+99866) 239-17-25.

Диссертация автореферати 2019 йил «3» май куни тарқатилди.
(2019 йил «3» май даги 4 рақамли реестр баённомаси).




Р.И.Халмурадov
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор


А.Абдирашидов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
физика-математика фанлари доктори, доцент


Ж.Акилов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси ўринбосари,
физика-математика фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда нефт ва газ конлари маҳсулдор қатламларидан углеводородларни қазиб олиш самарадорлигини ошириш муҳим ҳисобланади. Нефт конлари етарлича юқори нефт берувчанлигини таъминлашнинг асосий йўли бу сув ҳайдаш усулидир. Шу жиҳатдан АҚШ, Англия, Саудия Арабистони, Россия Федерацияси ва бошқа ривожланган мамлакатларда, жумладан сув ҳайдаш усулни амалда қўллаш таҳлили ва назарий тадқиқотлар шуни кўрсатмоқдаки, усулнинг самарадорлиги объектни ва уни қўллаш технологияларини тўғри танлашга боғлиқ. Бу борада кўп фазали, кўп компонентали суюқликларнинг сизиши гидродинамик моделлари ва уларни сонли таҳлил этиш усуллари сув ҳайдаш объектларини ва технологияларини тўғри танлаш, геолог-техник чора-тадбирлари режасини ишлаб чиқиш ва оптималлаштиришнинг назарий асосларини такомиллаштиришда муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда фойдаланишга топширилаётган янги конлар, одатда мураккаб физик-геологик шароитларга (ўтказувчанликнинг пастлиги, биржинс-лимаслик, коллекторларнинг ажратилганлиги) эга эканлиги, шунингдек нефт қазиб олиш самарадорлигини камайтирувчи асосий муаммо қатлам забой олди худудининг турли моддалар билан ифлосланиши бўлганлиги сабабли углеводород хомашёларини қазиб олиш самарадорлигини оширишга йўналтирилган илмий-тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу йўналишда, жумладан нефт ва газ қатламлари ўтказувчанлигини ошириш мақсадида уларга кислотали таъсир кўрсатишнинг турли усулларини тадқиқ қилиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Шу билан бирга қатламга кислотали ишлов беришнинг технологик кўрсаткичларини ҳисоблаш учун математик моделлар, уларни сонли ечиш усуллари ва компьютер дастурлари яратиш зарур ҳисобланмоқда.

Мамлакатимизда нефт маҳсулотларига бўлган ортиб бораётган талабни қаноатлантиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Лекин, кейинги йилларда очилаётган янги нефт конларининг камлиги, мавжуд конларнинг қазиб олиш хажмининг камаювчи босқичига ўтганлиги йиллик қазиб олиш кўрсаткичларининг тушишига олиб келди. Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантириш стратегиясида «... қабул қилинган ўрта муддатли дастурлар асосида таркибий ва институционал ўзгаришларни чуқурлаштириш ҳисобига ялпи ички маҳсулотнинг барқарор юқори ўсиш суръатларини таъминлаш; юқори технологияли қайта ишлаш тармоқларини юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш ...»¹ мақсадли дастурларини амалга ошириш зарурияти алоҳида таъкидланган. Бу вазифани

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

бажариш учун, хусусан, йиллик нефт қазиб олиш ҳажмини барқарорлаштириш ва кейинчалик ошириш керак.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 30 июндаги ПҚ-3107-сон «Нефть-газ соҳасининг бошқарув тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2017 йил 27 август, 675-сон “Ўзбекистон Республикаси Давлат геология ва минерал ресурслар кўмитаси тизими бўйича минерал хом ашё базасини такрор ишлаб чиқариш ва давлат дастурларини шакллантириш тартибини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи.² Кўп фазали, кўп компонентали суюқликларнинг ғовак муҳитларда сизиши жараёнлари бўйича тадқиқотлар дунёнинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан The American Petroleum Institute, The University of Texas at Austin (АҚШ), Institute of Petroleum Engineering (Германия), Norwegian University of Science and Technology (Норвегия), Oil & Gas Institute (Шотландия), Delft University of Technology (Нидерландия), Oxford Institute for Energy Studies (Англия), China University of Petroleum (Хитой), The University of Adelaide, University of New South Wales (Австралия), Universiti Teknologi PETRONAS (Малазия), Mexican Institute of Petroleum (Мексика), King Fahd University of Petroleum & Minerals (Саудия Арабистони), РФА СБ нефт кимёси институти, Бутунроссия нефт-газ илмий-тадқиқот институти, Россия давлат нефт ва газ университети, Тюмен давлат университети, Грозний нефт институти, Қозон федерал университети, Кубан давлат техника университети, Санкт-Петербург давлат кончилик институти, Уфа давлат нефт техникаси университети (Россия), Нефть-кимёвий жараёнлар институти, Нефть-газ илмий-тадқиқот лойиҳалари (Озарбайжон); Ўзбек нефт ва газ саноати илмий-тадқиқот ва лойиҳалаш институти, Тошкент давлат техника университети, Самарқанд давлат университети, Қарши давлат университети,

²Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи: <http://www.mathnet.ru>; <https://www.api.org/>; <https://www.utexas.edu/>; <http://link.springer.com>; <http://www.sciencedirect.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; <https://www.adelaide.edu.au/>; <https://www.unsw.edu.au/>; <https://www.ite.tu-clausthal.de/en/>; <https://www.ntnu.edu/>; <https://www.strath.ac.uk/research/oilgasinstitute/>; Predicting temperature distribution in the waxy oil-gas pipe flow//Journal of Petroleum Science and Engineering. 101:28-34 · January 2013; Two-phase flow (oil-water) in petroleum reservoir with irregular geometry including water injection: Effect of porosity on the oil recovery factor//Defect and Diffusion Forum 326-328:181-186 April 2012; Two-phase flow of an oil-water system in porous media with complex geometry including water flooding: Modeling and simulation//JPor-Media.v14.i7.20.pages 579-592; ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

ақад. И.Губкин номидаги Москва нефт ва газ университети Тошкент филиали (Ўзбекистон) томонидан олиб борилмоқда.

Ғовак муҳитларда кўп фазали, кўп компонентали суюқликларнинг сизиши жараёнларини моделлаштиришга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан қуйидаги илмий натижалар олинган: ғовак муҳитларда газнинг сувда эришини ҳисобга олиб суюқлик ва газларнинг ностационар сизиб ҳаракатланиши моделлари тузилган (Institute of Petroleum Engineering, The American Petroleum Institute, АҚШ); нефт-газ аралашмалари сизиши масалаларини ечишнинг чекли элементлар усулига асосланган алгоритмлари ишлаб чиқилган (The Japan Petroleum Institute, Япония, SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Хитой); нефт қатламларига кимёвий таъсир қилишда кимёвий реакцияларни ҳисобга олиб математик моделлари яратилган (Нефт ва газ институти, РФА СБ Нефт кимёси институти); нефт қатламларига кимёвий таъсир қилишни баҳолашнинг чекли айирмалар усулига асосланган алгоритми ишлаб чиқилган (Бутунроссия нефт-газ илмий-тадқиқот институти, РФА нефт ва газ муаммолари институти, Россия); муаллақ заррачаларнинг ҳосил бўлиши ва улар натижасида қатлам қолматациясини ҳисобга олиб нефт қатламларига кимёвий таъсир қилишни баҳолашнинг математик моделлари ва сонли усуллари такомиллаштирилган (ЎзЛИТИнефтгаз, Самарқанд давлат университети, Ўзбекистон).

Дунёда нефт берувчанликни ошириш муаммоларининг назарий асослари ва уларни ечишнинг самарали усуллари билан боғлиқ қатор, жумладан қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: ғовак муҳитларда кўп фазали кўп компонентали суюқликлар сизиши назариясини такомиллаштириш; сунъий равишда қатлам босимини барқарорлаштириш учун нефт қатламларига сув ҳайдашнинг самарали технологияларини ишлаб чиқиш; нефт ва газ конларини ишлатиш самарадорлигини ошириш мақсадида нефт ва газ қатламларига физик-кимёвий таъсир қилиш усулларини ривожлантириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сўнги йилларда нефт-газ ва сувли қатламларда сизишнинг мураккаб динамик жараёнларининг математик моделларини такомиллаштириш ва сонли ечиш усулларини ишлаб чиқиш қуйидаги олимларнинг ишларида қаралган: С.Аtkinson, S.Banerjee, G.I.Barenblatt, T.W.Patzek, D.B.Silin, F.Boyer, C.Lapuerta, S.Minjeaud, F.Golfier, R.Pongraz, M.K.Panga, А.Дарси, Л.С.Лейбензон, А.Х.Мирзаджанзаде, М.М.Хасанов, Б.Б.Лапук, И.А.Чарный, Х.Азиз, Э.Сеттари, С.Н.Закиров, А.Н.Коновалов, К.С.Басниев, Р.И.Нигматулин, Н.Т.Данаев, А.Калтаев, Д.Ж.Ахмед-Заки, А.В.Ахметзянов, А.В.Цепаев, Б.В.Шалимов ва бошқалар.

Ўзбекистонда ғовак муҳитларда сизиш жараёнларини тадқиқ қилиш, башоратлар ва бошқариш математик моделлари ва ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишда В.К.Кабулов, Ф.Б.Абуталиев, Ж.Ф.Файзуллаев Н.М.Муҳидинов, Р.Садуллаев, И.Алимов, Ж.Акилов, Б.Х.Хўжаёров, И.К.Хужаев, Н.Равшанов, Ш.Қаюмов ва бошқа олимлар улкан ҳисса қўшишган.

Ҳозирги кунда нефтгаз ва сувли қатламларда сизиш жараёнларининг турли масалалари учун математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий комплекслар ишлаб чиқилган. Шундай бўлсада, қатламли

тизимларда мураккаб сизиш жараёнларини тадқиқ қилиш ва башоратлашга хизмат қилувчи компьютер моделларини яратиш муаммоси етарли даражада тўлиқ ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Самарқанд давлат университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг №19.12 «Муҳандислик ва табиий жараёнларнинг математик моделларини тузиш ва сонли тадқиқ қилиш» (2000-2018) ҳамда №А-12-088 “Бухоро-Қарши нефт-газ ҳудудларида конларнинг нефт берувчанлигини иккиламчи усулларни қўллаган ҳолда оширишнинг самарали технологияларини ишлаб чиқиш” (2007-2009), №ФА-А5-Ф023 “Бухоро-Қарши нефт-газ ҳудудларида нефт конларида объектларни танлаш ва сув ҳайдашнинг юқори самарали технологияларини ишлаб чиқиш” (2009-2011), №А13-Ф081 “Нефт қатламларига қазиб олиш жадаллиги ва нефт берувчанликни ошириш мақсадида физик-кимёвий ишлов беришнинг самарали усулларини ишлаб чиқиш” (2012-2014), №А-13-10 «Ёриқ-ғовак карбонат коллекторли нефт ва газ қатламлари забой ёни ҳудудларига кислотали ишлов беришнинг ҳисоблаш методикаси ва самарали технологияларини яратиш» (2015-2017) мавзудаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ғовак муҳитда конденсат фазасининг ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда нефтгазконденсатли аралашмалар сизиши, кимёвий реакцияни ҳисобга олган ҳолда калцид ва доломит коллекторли нефт қатламларига кислотали таъсир қилиш, колматацияни ҳисобга олган ҳолда карбонат коллекторли нефт қатламларига кислотали ишлов беришнинг такомиллаштирилган гидродинамик моделларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

нефтгазконденсатли аралашмалар сизиши ва нефтгазконденсат конларга сув ҳайдаш технологиялари масалалари учун математик модел, “катта зарралар” усулига асосланган сонли алгоритм ва дастурий воситалар ишлаб чиқиш;

нефт қатламлари калцидли коллекторларига кислотали таъсир кўрсатиш учун математик модел ва “катта зарралар” усулига асосланган сонли алгоритм ишлаб чиқиш;

нефт қатламлари доломитли коллекторларига кислотали таъсир кўрсатиш учун математик модел ва “катта зарралар” усулига асосланган сонли алгоритм ишлаб чиқиш;

нефт қатламлари карбонатли коллекторларига кислотали таъсир кўрсатиш учун колматацияни ҳисобга олган ҳолда математик модел ва “катта зарралар” усулига асосланган сонли алгоритм ишлаб чиқиш;

нефт ва нефтегазконденсат конларга кислотали таъсир кўрсатиш услубияти, унга мос дастурий воситалар ва технология ишлаб чиқиш;

Тадқиқотнинг объекти нефт берувчанликни ошириши мақсадида нефт ва нефтгазконденсатли қатламларга физик-кимёвий таъсир кўрсатиш жараёнларидан иборат.

Тадқиқотнинг предмети ғовак муҳитларда кўп фазали, кўп компонентли тизимлар сизиши жараёнларини математик моделлаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда физика ва гидродинамиканинг фундаментал сақланиш қонунлари, математик моделлаштириш, ҳисоблаш математикаси ва ҳисоблаш эксперименти усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

суёқлик ва газ ҳаракати назариясига асосан нефтгазконденсатли аралашмалар сизиши жараёнининг математик модели ва мос масалани ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми такомиллаштирилган;

физик-кимёвий ёндашувдан фойдаланиб, калцид коллекторли нефт қатламларига кислотали таъсир кўрсатиш учун математик модел ва мос масалани ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

доломит коллекторли нефт қатламларига кислотали таъсир кўрсатиш учун математик модели ва мос масалани ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган самарали ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

карбонат коллекторли нефт қатламларига кислотали таъсир кўрсатиш учун колматацияни ҳисобга олган ҳолда математик модели ва мос масалани ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми такомиллаштирилган;

яратилган сонли моделлар асосида ўрта қувватли шахсий компьютерлардан фойдаланиб кўп вариантли ҳисоблашларни бажариш имконини берувчи график интерфейсга эга бўлган амалий дастурлар пакети ва ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагидан иборат:

нефт ва нефтгазконденсатли қатламларида сизиш жараёнларининг математик моделлари такомиллаштирилган ва ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

“Нефт ва нефтгаз қатламининг технологик кўрсаткичларини ҳисоблаш” дастурий воситаси яратилган;

нефт қатламлари забой олди ҳудудларига кислота таъсир кўрсатишнинг технологик кўрсаткичларини ҳисоблаш учун “Нефт қатлами қудуқ олди зонасига кислота билан ишлов бериш кўрсаткичларини ҳисоблаш” дастурий воситаси ишлаб чиқилган;

ёриқ-ғовак газ қатламларига кислотали таъсир кўрсатишнинг технологик кўрсаткичларини аниқлаш учун “Ёриқ-ғовак газ қатламларига кислота таъсири кўрсаткичларини ҳисоблаш” дастурий воситаси яратилган;

“Нефт қатламлари забой олди ҳудудига ишлов бериш усули” номли нефт қатламининг кислотали таъсир кўрсатиш технологияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги масса ва импульсининг, газогидродинамиканинг маълум қонунларидан ҳамда текширилган ҳисоблаш математикаси усулларида фойдаланилганлиги билан асосланади, ишлаб чиқилган математик таъминотнинг

адекватлиги модда баланси тенгламалари асосида текширилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти нефт, нефтгаз ва нефтгазконденсатли қатламларда сизиш жараёнларини тадқиқ этиш ва башоратлаш мақсадида назарий ва амалий тажрибалар ўтказиш технологияларини такомиллаштириш, ишлаб чиқилган моделлар ва ҳисоблаш алгоритмлари нефтгаз конларини лойиҳалаш, дебит ҳажмини тўғри танлаш ва қудуқларни оптимал жойлаштириш, шунингдек дебит миқдорини башоратлаш имкониятини бериши билан изоҳланади.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти тадқиқот натижаларининг сизиш жараёнига физик-кимёвий таъсир даражасини ўрганиш, соҳа мутахассисларига объектнинг асосий параметрлари ва уларнинг ўзгариш оралиқларини аниқлаш, нефт ва нефтгаз конлардаги босимнинг вақт бўйича тарқалиши ва нефт, газ ва сув билан тўйинганлик коэффициентини аниқлаш, янги қудуқларни оптимал жойлаштириш, ишлаб чиқилган компьютер моделлари асосида жараёни башоратлаш ва янги технологияларни қўллаш имконини бериши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ҳовак муҳитларда кўп фазали, кўп компонентли суюқликларнинг сизиши гидродинамик моделларининг сонли таҳлили бўйича ишлаб чиқилган математик моделлар, ҳисоблаш усуллари, алгоритмлар ва дастурлар натижалари асосида:

нефтгазконденсатли аралашалар сизиши ва карбонат коллекторли нефт қатламларига кислотали таъсир қилишнинг такомиллаштирилган математик моделлари ва уларга мос масалаларни ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситаларидан БВ-М-Ф4-001 рақамли «Мураккаб иссиқлик ва модда алмашинувига доир кўп ўлчовли масалаларнинг математик моделлари ва тақсимланган самарали ҳисоблаш алгоритмлари» фундаментал грант лойиҳасида иссиқлик ва масса алмашинувининг мураккаб кўп ўлчамли масалалари математик моделларини такомиллаштиришда ва масалаларни ечишнинг алгоритмик усуллари ишлаб чиқишда фойдаланилган. (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил 5 декабрдаги 89-03-4213-сон маълумот-номаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши мураккаб иссиқлик ва модда алмашинувига доир кўп ўлчовли масалаларнинг математик моделларини такомиллаштириш, ҳисоблаш экспериментларини ўтказиш имконини берган;

“Нефт қатламлари забой олди ҳудудига кислотали ишлов бериш усули” номли ихтиро учун патент олинган (№ IAP 05492, ЎзР 20.10.2017 й.). Бошқа усуллардан фарқли равишда қудуқ забой олди ҳудудини олдиндан асфальт-мум-парафинли чўкиндилардан тозалаш мақсадида қатлам ҳароратини оширадиган забой олди ҳудудининг 3/4 қисм ҳажми миқдорида иссиқ сув билан қатламга дастлабки ишлов бериш, сўнгра совуқ кислотани ҳайдаш

орқали нефт қатламлари забой олди худудига кислотали ишлов бериш усули кислотали ишлов бериш самарадорлигини ошириш имконини берган;

Қатлам забой ёни худудига кислотали ишлов бериш бўйича тадқиқот натижалари “Ўзнефтгазқазибчиқариш” АЖининг Шимолий Ўртабулоқ (№3 кудук), Жанубий Кемачи (№118 кудук), Шўртепа (№102 кудук), Сариқум (№22 кудук), Шўртан (№11 кудук), Жанубий Тандирчи (№6 кудук) кудукларида жорий этилган (“Ўзбекнефтгаз”АЖнинг 2018 йил 18 апрелдаги 02/14-2-478-сон маълумотномаси). Натижада таклиф қилинган услубнинг қўлланилиши кудукларга кислотали ишлов беришда геолого-техник чоратадбирлар режасини оптималлаштириш, тузли-кислотали ишлов беришни башоратлашнинг аниқлигини ошириш ҳисобидан қазиб олинаётган нефт ва газ дебитини ошириш имконини берган;

нефт-газ-кондетсат аралашмалар сизиши жараёнининг такомиллаштирилган математик моделларидан етакчи хорижий илмий журналларда: (Chemical Engineering Science. 59 (2004), IF=1.04) ғовак муҳитларда органик моддалар конденсацияланиши жараёнларини моделлаштиришда, (Journal Pet. Sci. and Eng. 61 (2008), IF=0.78) нисбий ўтказувчанликни экспериментал натижалардан фойдаланмасдан сонли моделлаштиришда, (Journal Pet. Sci. and Eng. 101 (2013), IF=0.78) қувурларда қовушоқ нефт-газ оқимларининг энергия тенгламасини келтириб чиқаришда фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши юқорида санаб ўтилган жараёнлар математик моделларини такомиллаштириш ва масалаларни сонли ечиш усулларини ишлаб чиқиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 9 та халқаро ва 9 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 49 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 2 та монография, 1 та ихтиро учун патент, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 14 та мақола, жумладан, 2 таси хорижий нашрларда ва 12 таси республика нашрларида чоп этилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация кириш қисми, бешта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 185 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, мавзу бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи, муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқот мақсади, вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот

натижаларининг жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Кўп фазали кўп компонентали сизишнинг физик асослари**» деб номланган биринчи бобида кўп фазали кўп компонентали сизишнинг физик асосларининг тизимли таҳлили ўтказилган. Кўп фазали кўп компонентали сизишнинг назарий асослари, кўп фазали кўп компонентали тизимлари сизишининг гидродинамик моделлари ва масалаларини сонли ечиш усуллари қаралган.

Диссертациянинг «**Нефтгазкондесат аралашмаси сизиши гидродинамик моделларининг сонли таҳлили**» деб номланган иккинчи бобида нефтгазкондесат аралашмаси сизишининг такомиллаштирилган гидродинамик модели, нефтгазкондесат аралашмаси мажбурий сизиши масаласини ечишнинг сонли алгоритми, нефтгазкондесатли қатламларга сув ва газ билан таъсир этишнинг сонли таҳлили келтирилган.

Нефтгазкондесат аралашмаси сизишини ифодалаш учун қуйидаги ёндашувдан фойдаланилди: Нефтгазкондесатли аралашма нефтли, сувли, газли ва конденсатли фазалардан ташкил топган тўрт фазали тизим сифатида берилган. Бунда, сув ва нефт буғланмайдиган суюқликлар, газ – суюқликларда эрувчан, конденсат эса ҳам суюқ, ҳам газ ҳолатида бўлиши мумкин деб ҳисобланади.

Асосий тенгламалар қуйидаги кўринишда:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_1}{B_1}(1-C\gamma) + \frac{mS_2R_2}{B_2} + \frac{mS_3R_3}{B_3} + \frac{mS_4R_4}{B_4} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_1}{B_1}(1-C\gamma) + \frac{W_2R_2}{B_2} + \frac{W_3R_3}{B_3} + \frac{W_4R_4}{B_4} \right] = Q_1,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_2}{B_2} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_2}{B_2} \right] = Q_2, \quad \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_3}{B_3} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_3}{B_3} \right] = Q_3,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_4}{B_4} + \frac{mS_1C}{B_1} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_4}{B_4} + \frac{W_1C}{B_1} \right] = Q_4,$$

бу ерда: 1, 2, 3, 4 индекслар – газ, сув, нефт ва конденсатга мос келади; S_α, Q_α ($\alpha = \overline{1,4}$) - тўйинганликлар ва қудуқнинг йиғинди дебитлари; $B_1 = \frac{[V_1 + V_{14}]_{ny}}{[V_1]_{cy}}$,

$B_2 = \frac{[V_2 + V_{21}]_{ny}}{[V_2]_{cy}}$, $B_3 = \frac{[V_3 + V_{31}]_{ny}}{[V_3]_{cy}}$, $B_4 = \frac{[V_4 + V_{41}]_{ny}}{[V_4]_{cy}}$ - ҳажмий коэффициентлар,

m - қатлам ғоваклиги, $R_2 = \frac{[V_{21}]_{ny}}{[V_2]_{cy}}$, $R_3 = \frac{[V_{31}]_{ny}}{[V_3]_{cy}}$, $R_4 = \frac{[V_{41}]_{ny}}{[V_4]_{cy}}$ - газнинг сувдаги,

нефтдаги ва конденсатдаги эрувчанлиги, C – газ фазадаги конденсат миқдори,

$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_4}{M_4} 22.41 \frac{293}{273}$ (суюқлик ва газ фазадаги конденсат солиштирма

оғирлигининг нисбати), M_4 - конденсатнинг молекуляр массаси, t - вақт, W_α - фазавий тезлик векторлари, $[V_\alpha]_{ny}$ - α ($\alpha=1,2,3$) фазанинг фиксирланган

массаси эгаллаган ҳажм, $[V_\alpha]_{cy}$ - α фазанинг нормал шароитларда эгаллаган ҳажми; $[V_{21}]_{ny}$, $[V_{31}]_{ny}$, $[V_{41}]_{ny}$ - эриган газнинг қатлам шароитида мос равишда сув, нефт ва конденсатдаги ҳажми.

$$W_\alpha = -\frac{Kk_\alpha}{\mu_\alpha}(\nabla p_\alpha - \gamma_\alpha \nabla Z),$$

бу ерда K – қатламнинг абсолют ўтказувчанлиги; f_α - нисбий фазавий ўтказувчанлик; μ_α - қовушоқлик; γ_α - солиштирма оғирлик; p_α - фазавий босим вектори.

Бу система ёпиқлигини таъминлаш учун $\sum_{\alpha=1}^4 S_\alpha = 1$ ва $k_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3, S_4)$

муносабатлардан аниқланганларидан ташқари, мана бу $B_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3, S_4)$, $\mu_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3, S_4)$, $R_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3, S_4)$ кўп параметрли қийин боғланишларни ҳам билиш талаб этилади.

Нефтгазконденсатли аралашманинг мажбурий сизиши масаласини ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган сонли алгоритм ишлаб чиқилган:

1-босқич – элементар ячейка кўчиши билан боғлиқ эффектларни ҳисобга олмаймиз ва босимни қуйидаги чекли айирмали тенгламадан аниқлаймиз:

$$E_i^\sim p_{i-1}^\sim - I_i^\sim p_i^\sim + O_i^\sim p_{i+1}^\sim = -F_i^\sim,$$

бу ерда

$$\begin{aligned} E_i^\sim &= \left[H_{1i}^\sim C_{i-1/2}^\sim - (1 - C\bar{\gamma})_{i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_1}{B_1} \right)_{i-1/2}^\sim + \left[H_{2i}^\sim - R_{2i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_2}{B_2} \right)_{i-1/2}^\sim + \\ &+ \left[H_{3i}^\sim - R_{3i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_3}{B_3} \right)_{i-1/2}^\sim + \left[H_{4i}^\sim - R_{4i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_4}{B_4} \right)_{i-1/2}^\sim, \\ O_i^\sim &= \left[H_{1i}^\sim C_{i+1/2}^\sim - (1 - C\bar{\gamma})_{i+1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_1}{B_1} \right)_{i+1/2}^\sim + \left[H_{2i}^\sim - R_{2i+1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_2}{B_2} \right)_{i+1/2}^\sim + \\ &+ \left[H_{3i}^\sim - R_{3i+1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_3}{B_3} \right)_{i+1/2}^\sim + \left[H_{4i}^\sim - R_{4i+1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_4}{B_4} \right)_{i+1/2}^\sim, \quad I_i^\sim = E_i^\sim + O_i^\sim, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_i^\sim &= A_i \frac{\Delta x^2}{\Delta t} \left\{ [G_1(1 - C\gamma)]_i^\sim - [G_1(1 - C\gamma)]_i^n - h_i^\sim [(G_1 C)_i^\sim - (G_1 C)_i^n] + G_{2i}^\sim [(h_{2i}^\sim - h_{2i}^n) + \right. \\ &+ h_i^\sim (b_{2i}^\sim - b_{2i}^n)] + G_{3i}^\sim [(h_{3i}^\sim - h_{3i}^n) + h_i^\sim (b_{3i}^\sim - b_{3i}^n)] + G_{4i}^\sim [h_i^n (b_{4i}^\sim - b_{4i}^n)] \left. \right\} - Q_i^\sim \Delta x^2 + \Phi_i^\sim, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_i^\sim &= \left\{ \left[H_{1i}^\sim C_{i-1/2}^\sim - (1 - C\bar{\gamma})_{i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_1}{B_1} \gamma_1 \right)_{i-1/2}^\sim + \left[H_{2i}^\sim - R_{2i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_2}{B_2} \gamma_2 \right)_{i-1/2}^\sim + \right. \\ &+ \left. \left[H_{3i}^\sim - R_{3i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_3}{B_3} \gamma_3 \right)_{i-1/2}^\sim + \left[H_{4i}^\sim - R_{4i-1/2}^\sim \right] \left(\frac{Z_4}{B_4} \gamma_4 \right)_{i-1/2}^\sim \right\} (D_i - D_{i-1}) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left\{ \left[H_{1i}^{\sim} C_{i+1/2}^{\sim} - (1 - C\bar{\gamma})_{i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_1}{B_1} \gamma_1 \right)_{i+1/2}^{\sim} + \left[H_{2i}^{\sim} - R_{2i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_2}{B_2} \gamma_2 \right)_{i+1/2}^{\sim} + \right. \\
& \left. + \left[H_{3i}^{\sim} - R_{3i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_3}{B_3} \gamma_3 \right)_{i+1/2}^{\sim} + \left[H_{4i}^{\sim} - R_{4i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_4}{B_4} \gamma_4 \right)_{i+1/2}^{\sim} \right\} (D_{i+1} - D_i) .
\end{aligned}$$

2-босқич – элементар ячейка чегарасидан оққан масса аниқланади:

$$\left(\frac{u_\alpha}{B_\alpha} \right)_{i+1/2}^{\sim} = \begin{cases} \left(\frac{1}{B_\alpha} \right)_i^{\sim} u_{\alpha i+1/2}^{\sim}, & \text{агар } u_{\alpha i+1/2}^{\sim} \geq 0 \\ \left(\frac{1}{B_\alpha} \right)_{i+1}^{\sim} u_{\alpha i+1/2}^{\sim}, & \text{агар } u_{\alpha i+1/2}^{\sim} < 0 \end{cases}, \quad \alpha = \overline{1,4} .$$

3-босқич – изланаётган параметрлар аниқланади:

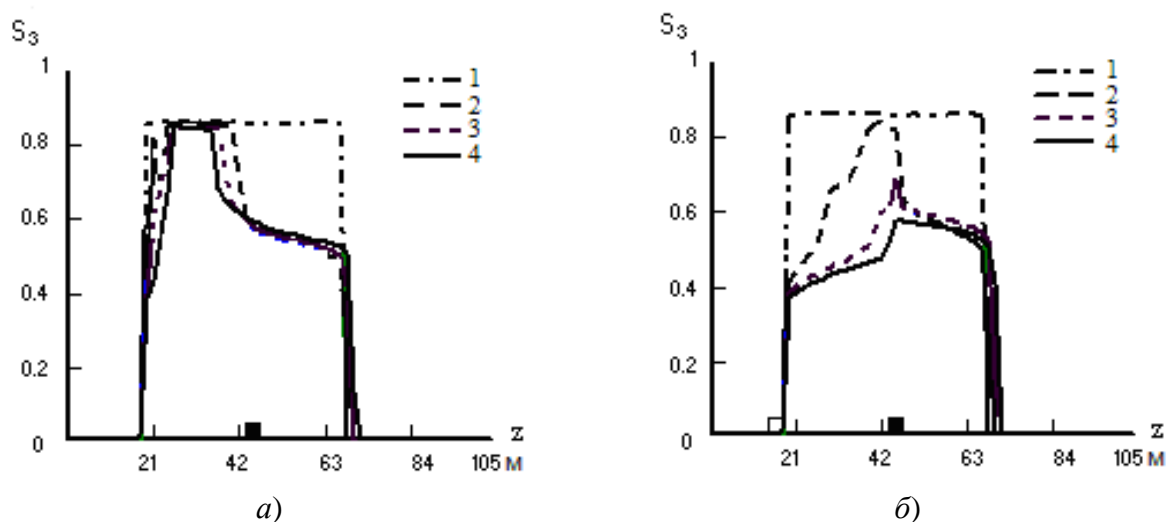
$$\begin{aligned}
A_i \Delta x & \left\{ \left[\frac{m}{B_1} (1 - C\gamma) \right]_i^n S_{1i}^{n+1} - \left[\frac{m}{B_1} (1 - C\gamma) \right]_i^{n-1} S_{1i}^n + \left(\frac{mR_3}{B_3} \right)_i^n S_{3i}^{n+1} - \left(\frac{mR_3}{B_3} \right)_i^{n-1} S_{3i}^n + \right. \\
& \left. + \left(\frac{mR_2}{B_2} \right)_i^n S_{2i}^{n+1} - \left(\frac{mR_2}{B_2} \right)_i^{n-1} S_{2i}^n + \left(\frac{mR_4}{B_4} \right)_i^n S_{4i}^{n+1} - \left(\frac{mR_4}{B_4} \right)_i^{n-1} S_{4i}^n \right\} + \\
& + \Delta t^n \left\{ \left[(1 - C\bar{\gamma}) \frac{u_1}{B_1} \right]_{i+1/2}^n - \left[(1 - C\bar{\gamma}) \frac{u_1}{B_1} \right]_{i-1/2}^n + \left(R_3 \frac{u_3}{B_3} \right)_{i+1/2}^n - \left(R_3 \frac{u_3}{B_3} \right)_{i-1/2}^n + \right. \\
& \left. + \left(R_2 \frac{u_2}{B_2} \right)_{i+1/2}^n - \left(R_2 \frac{u_2}{B_2} \right)_{i-1/2}^n + \left(R_4 \frac{u_4}{B_4} \right)_{i+1/2}^n - \left(R_4 \frac{u_4}{B_4} \right)_{i-1/2}^n \right\} = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{1k} \delta_{1k}, \\
A_i \Delta x & \left[\left(\frac{m}{B_2} \right)_i^n S_{2i}^{n+1} - \left(\frac{m}{B_2} \right)_i^{n-1} S_{2i}^n \right] + \Delta t^n \left[\left(\frac{u_2}{B_2} \right)_{i+1/2}^n - \left(\frac{u_2}{B_2} \right)_{i-1/2}^n \right] = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{2k} \delta_{1k}, \\
A_i \Delta x & \left[\left(\frac{m}{B_3} \right)_i^n S_{3i}^{n+1} - \left(\frac{m}{B_3} \right)_i^{n-1} S_{3i}^n \right] + \Delta t^n \left[\left(\frac{u_3}{B_3} \right)_{i+1/2}^n - \left(\frac{u_3}{B_3} \right)_{i-1/2}^n \right] = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{3k} \delta_{1k}, \\
& A_i \Delta x \left[\left(\frac{m}{B_4} \right)_i^n S_{4i}^{n+1} - \left(\frac{m}{B_4} \right)_i^{n-1} S_{4i}^n + \left(\frac{mC}{B_1} \right)_i^n S_{1i}^{n+1} - \left(\frac{mC}{B_1} \right)_i^{n-1} S_{1i}^n \right] + \\
& + \Delta t^n \left[\left(\frac{u_4}{B_4} \right)_{i+1/2}^n - \left(\frac{u_4}{B_4} \right)_{i-1/2}^n + \left(\frac{u_1}{B_1} \right)_{i+1/2}^n C_{i+1/2}^n - \left(\frac{u_1}{B_1} \right)_{i-1/2}^n C_{i-1/2}^n \right] = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{4k} \delta_{1k} .
\end{aligned}$$

Изланаётган S_α^{n+1} ни аниқлаб, кейинги вақт қадамига ўтамиз ва ҳ.к.

Нефтгазконденсат конлардан фойдаланишнинг бир нечта режимлари учун ҳисоблаш тажрибалари натижалари, жумладан сув-нефт контакт (СНК) остига сув ҳайдаш, бир вақтнинг ўзида СНК остига ва газ-сууюқлик контакт (ГСК) устига сув ҳайдаш, ГШ (газ шапкаси)га йўлдош газларни ҳайдаш, бир

вақтнинг ўзида СНК остига сув ва ГШга газ ҳайдаш, хулосалар ва тавсиялар келтирилган.

Аниқландики, СНК остига сув ҳайдаш эксплуатацион қатордан пастдаги нефтнинг сиқилиб чиқиши кузатилади (1,б-расм). Нефтнинг газли шапка томонга ҳаракатланиши сувнинг тиркалиши ва бир қисм газнинг нефт қатлами томонга оқиши билан боғлиқ. Нефтнинг асосий қисми эксплуатацион қатордан пастдаги соҳадан олинади. Табиий эксплуатацион режимдагига нисбатан озгина кўпроқ нефт олинади (1,а-расм). Эксплуатацион қатор атрофида конуссимон нефт билан тўйинганлик ҳосил бўлади.



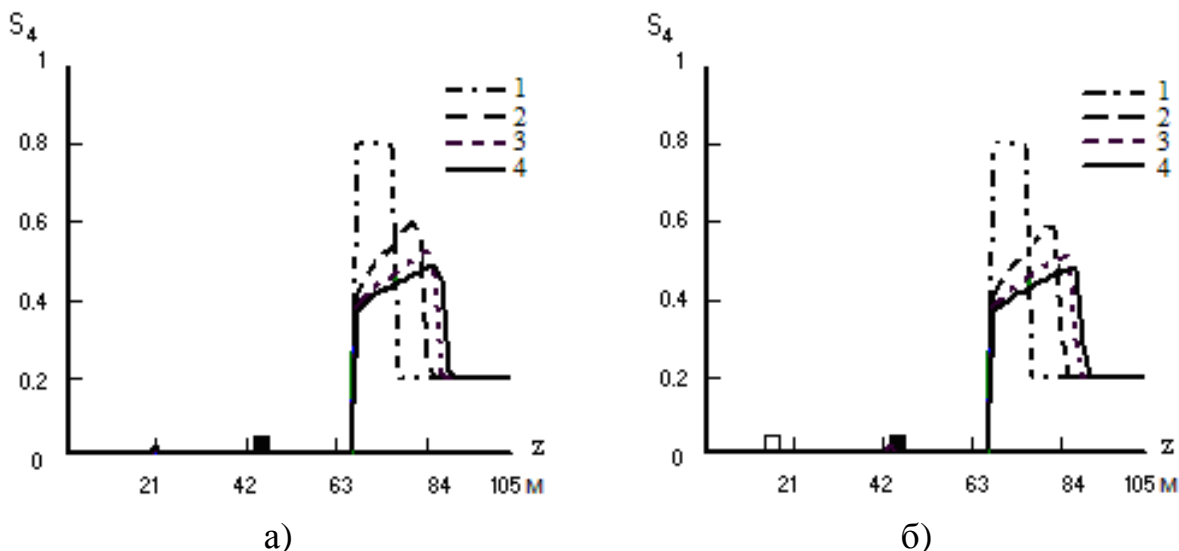
1-Расм. Нефт билан тўйиниш тақсимоти: а) камайиш режими, б) СНК остига ҳайдаш; □ - сув ҳайдаш қудуғи, ■ – ишлатилаётган қудуқ, 1 – бошлангич, 2 - 10 йил, 3 - 20 йил, 4 - 30 йил ишлатилгандан кейин .

Эксплуатациянинг 13 йилидан кейин эксплуатацион қаторда сув пайдо бўлади, яъни сув билан тўйинганликнинг олди фронти (сув билан тўйинганлик қиймати қолдиқда баланд) эксплуатацион қаторга етиб келади ва сувланиш даражаси кескин ошади. Кейин келатган сувнинг ҳаммаси нефт билан бирга казиб олинади. Газнинг нефт қатламининг ҳамма соҳасида пайдо бўлиши кузатилади. Конденсат билан тўйиниш соҳаси кенгайди (2-расм), сабаби ўртача босим юқори. Қатламдаги босим ўзгариши табиий эксплуатациянинг юқори босқичи билан бир хил бўлади.

Қаралаётган вақтнинг барча қийматида эксплуатацион қатор атрофидаги босим эксплуатацион қатор босимидан юқори бўлади. Нефтнинг интенсив казиб олиниш вақти табиий эксплуатациядагига нисбатан узокроқ давом этади.

СНК остига ва ГСК устига “кўзгу” кўринишида сув ҳайдаш натижасида нефтнинг бутун соҳадан сиқилиб чиқишига ва нефтнинг интенсив казиб олиниш вақти ошишига олиб келади. Газнинг нефт қатламининг ҳамма соҳасида пайдо бўлиши кузатилади. Конденсат соҳасида газ билан тўйинганликнинг ошиши босим тушиши ва натижада конденсатнинг газли шапкаси билан, шунингдек фазалараро ўтишлар билан боғлиқ. Газли шапка концентрация даражаси тушиб кетганлиги сабабли конденсат билан тўйинганлик даражаси доим кенгайиб боради. Босим анча текис тарқалган,

қатлам ўртасидаги босим бутун эксплуатация давомида эксплуатацион қатордагига нисбатан катта. Газли шапкага газ ҳайдалганда нефт билан тўйинганликнинг тарқалиши анча текис бўлади, бу эса нефтнинг текис қазиб олинишини таъминлайди. Қатламдага босим юқорироқ ҳолда бўлади, нефт берувчанлик 5%га ортади. Шундай қилиб газли шапкага газ ҳайдашнинг қатлам гидродинамикасига ва технологик кўрсаткичларига ижобий таъсири тасдиқланади.



2-Расм. Конденсат билан тўйиниш тақсимоти: а) камайиш режими, б) СНК остига ҳайдаш; □ - сув ҳайдаш қудуғи, ■ – ишлатилаётган қудуғ, 1 – бошланғич, 2 - 10 йил, 3 - 20 йил, 4 - 30 йил ишлатилгандан кейин

Бир вақтнинг ўзида СНК остига сув ва ГШга газ ҳайдаш режимида нефтнинг янада текис қазиб олиниши кузатилади. Эксплуатация охирида эксплуатация қатори соҳасидан пастда камайиш режимига қараганда кўпроқ нефт қазиб олинади. Газнинг нефт қатламининг ҳамма соҳасида пайдо бўлиши кузатилади. Газли шапка концентрация даражаси тушиб кетганлиги сабабли конденсат билан тўйинганлик даражаси доим кенгайиб боради. Босим анча текис тарқалган, қатлам ўртасидаги босим бутун эксплуатация давомида эксплуатацион қатордагига нисбатан катта.

Шундай қилиб СНК остига сув ва газли шапкага газ ҳайдашнинг қатлам гидродинамикасига ва технологик кўрсаткичларига ижобий таъсири тасдиқланади.

Диссертациянинг «Калцид коллекторли нефт қатламларига кислотали таъсир кўрсатиш гидродинамик моделларининг сонли таҳлили» деб номланган учинчи бобида калцид коллекторли нефт қатламларига кислотали ишлов бериш жараёнининг такомиллаштирилган гидродинамик модели, масалаларни ечишнинг ўзгартирилган сонли алгоритмлари келтирилган.

Хлорид кислотасининг оҳактош билан ўзаро таъсир реакциясининг умумий кимёвий кўриниши қуйидагича:



Калций хлорид ($CaCl_2$) – сувда яхши эрувчи туз. Ис газ (CO_2) қатлам босимида сувда эрийди. Сизиши жараёнида иштирок этмайдиган фаза

сифатида тоғ жинслари (ғовак муҳит скелети ва унинг бузилиши натижасида ҳосил бўлган заррачалар) иштирок этади. Унинг компоненти кислотани эрувчи тоғ жинслари бўлади. Кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўлган газлар тўлиқ сувда эрийди, улар концентрацияси кичик бўлганлиги сабабли моделда ҳисобга олинмайди. У ҳолда тенгламалар системасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин.

Қатламга киритилаётган кислотани компонент учун масса сақланиш тенгламаси

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_A c_A S_w) + \nabla \cdot (\rho_A c_A V_w) = -J_A + \nabla \cdot (\rho_A D_m \nabla c_A S_w),$$

бу ерда $J_A = \begin{cases} 0 & , s_o > 0 \\ M_A a_v R_A & , s_o = 0 \end{cases}$ - вақт бирлиги ичида бирлик ҳажмда

сарфланаётган кислота массаси, $R_A = E_f \left(\frac{c_A \rho_A}{M_A} \right)$ - кимёвий реакция тезлиги,

$E_f = E_f^0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right)$ - реакция тезлиги ўзгармаси Аррениус нисбатидан топилади (ΔE - активация энергияси, R - газ доимийси), V_w - сувли фаза сизиш тезлиги, m - ғоваклик, ρ_A - кислотанинг ҳақиқий зичлиги, c_A - кислотанинг массавий концентрацияси, S_w - ғовак фазонинг сув билан тўйинганлиги, D - молекуляр диффузия коэффиценти, t - вақт, $a_v = s/\nu$ реакциянинг солиштирма сирти, s - реакция сирти юзаси, ν - қатлам ҳажми, M_A - кислотанинг молекуляр оғирлиги.

Кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўлаётган сувда эриган тузлар учун масса сақланиш тенгламаси

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_S c_S S_w) + \nabla \cdot (\rho_S c_S V_w) = J_S,$$

бу ерда $J_S = \gamma_S J_A$ - реакциялар натижасида вақт бирлиги ичида бирлик ҳажмда ҳосил бўлаётган калций хлорид тузи массаси, γ_S - реакциялар натижасида бирлик кислота массасидан сувга ўтаётган калций хлорид тузи массаси, c_S - калций хлорид тузи массавий концентрацияси, ρ_S - калций хлорид тузи зичлиги.

Кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўлаётган ва қатламга киритилаётган сувли фаза учун массанинг сақланиш тенгламаси

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_w^0 c_w S_w) + \nabla \cdot (\rho_w^0 c_w V_w) = J_w^0,$$

бу ерда $J_w^0 = \gamma_w J_A$ - реакциялар натижасида вақт бирлиги ичида бирлик ҳажмда ҳосил бўлаётган сув массаси, γ_w - реакциялар натижасида бирлик кислота массасидан сувга ўтаётган сув массаси, c_w - сувнинг массавий концентрацияси, ρ_w^0 - сув зичлиги.

Кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўлаётган муаллақ заррачалар учун массанинг сақланиш тенгламаси

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_B c_B S_W) + \nabla \cdot (\rho_B c_B V_W) = J_B,$$

бу ерда c_B - сувдаги муаллақ заррачаларнинг массавий концентрацияси; ρ_B - муаллақ заррачаларнинг ҳақиқий зичлиги, $J_B = \gamma_B J_A$ - вақт бирлиги ичида бирлик ҳажмда ҳосил бўлаётган муаллақ заррачаларнинг массаси, γ_B - реакциялар натижасида бирлик кислота массасидан сувга ўтмаётган муаллақ заррачаларнинг миқдори.

Сувли фаза учун массанинг сақланиш тенгламаси

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_W S_W) + \nabla \cdot (\rho_W V_W) = J_W,$$

бу ерда $J_W = -J_A + J_S + J_W^0$, $\rho_W = c_A \rho_A + c_S \rho_S + c_W \rho_W^0 + c_B \rho_B$.

Нефтли фаза учун массанинг сақланиш тенгламаси

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_O S_O) + \nabla \cdot (\rho_O V_O) = 0,$$

бу ерда S_O - ғовак фазонинг нефт билан тўйинганлиги, ρ_O - нефт зичлиги.

Ғоваклик ўзгариш тенгламаси

$$\frac{\partial}{\partial t}((1-m)\rho_M) = -J_M,$$

бу ерда $J_M = \gamma_M J_A$ - реакциялар натижасида вақт бирлиги ичида бирлик ҳажмда ҳосил бўлаётган эриган минерал массаси, γ_M - реакциялар натижасида бирлик кислота массасидан эриган минерал миқдори, ρ_M - тоғ жинсининг ҳақиқий зичлиги.

Кислота fronti ҳолати қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\frac{dx_F}{dt} = \gamma_M \frac{\rho_A}{\rho_M} V_{FA} c_{FA},$$

бу ерда V_{FA} ва c_{FA} - кислота frontiдаги кислота оқими ва концентрацияси тезлиги.

Сувли ва нефтли фаза сизиш тезлиги тенгламаси

$$V_W = -\frac{Kk_w}{\mu_w} \nabla p, \quad V_O = -\frac{Kk_o}{\mu_o} \nabla p,$$

бу ерда K , k_w , k_o - сув ва нефтнинг абсолют ва нисбий фазавий ўтказувчанлиги, $\mu_w = c_A \mu_A + c_S \mu_S + c_B \mu_B + c_W \mu_w^0$ - сувли фаза қовушқоқлиги, $\mu_A, \mu_S, \mu_w^0, \mu_B$ - мос равишда кислотали, тузли ва тоза сувнинг қовушқоқликлари, μ_o - нефтли фаза қовушқоқлиги, p - босим.

Абсолют ўтказувчанликни ҳисоблаш учун, Кольрауша ва Козен-Карман корреляциялари асосида қуйидаги боғланишлардан фойдаланамиз:

$$K = K_0 \left(\frac{m}{m_0} \right)^n.$$

Реакция солиштирма сирти ўзгаришини тавсифлаш учун қуйидаги муносабатдан фойдаланамиз $a_v = a_0 \frac{(1-m)}{(1-m_0)}$, a_0 – бошланғич солиштирма сирт.

Ҳарорат ўзгариш тенгламаси қуйидаги кўринишда

$$\frac{\partial}{\partial t} [(1-m)C_M \rho_M + mS_W (\rho_A c_A C_A + \rho_S c_S C_S + \rho_W^0 c_W C_W + \rho_B c_B C_B) + m\rho_O C_O S_O] T = \\ = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) - \nabla \cdot [T (\rho_A c_A C_A + \rho_S c_S C_S + \rho_W^0 c_W C_W + \rho_B c_B C_B) V_W + \rho_O C_O V_O]$$

бу ерда $C_M, C_A, C_S, C_W, C_O, C_B$ - мос равишда тоғ жинси, кислотали, тузли ва тоза сувларнинг, нефт ва муаллақ заррачаларнинг солиштирма иссиқлик сифимлари, $\lambda = (1-m)\lambda_M + mS_W (\lambda_A c_A + \lambda_S c_S + \lambda_W c_W + \lambda_B c_B) + mS_O \lambda_O$ - иссиқлик ўтказувчанликнинг эффектив коэффициенти, у ғовак жисм скелети ва ундаги суюқлик ва муаллақ заррачалардан молекуляр иссиқлик ўтказувчанликни характерлайди, $\lambda_M, \lambda_A, \lambda_S, \lambda_W, \lambda_O, \lambda_B$ - мос равишда тоғ жинси, кислотали, тузли ва тозасувларнинг, нефт ва муаллақ заррачаларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари.

Мос ҳолат тенгламаси, бошланғич ва чегаравий шартларни кўшиб нефт қатламларига кислотали ишлов беришда юз берадиган физик-кимёвий жараёнларга мос, кимёвий кинетикани ҳисобга олган ёпиқ тенгламалар системасига эга бўламиз.

Калцид коллекторли нефт қатламларига кислотали ишлов бериш масаласини ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган. Ностационар тенгламалар системаси физик жараёнлар бўйича қуйидаги соҳада ажратилади

$$\Omega = \{(x, t) : 0 \leq x \leq L, 0 \leq t \leq \tau\}$$

Эйлер вақт-фазовий тўри ҳосил қилинади

$$\Omega_{nj} = \{t_{n-1} = t_n - \Delta t, n = \overline{1, N_t}; x_{j-1} = x_j - \Delta x, j = \overline{1, N_x}\}.$$

Муҳит берилган вақт моментига мос Эйлер тўри катакчаларига мос суюқ зарралар системаси кўринишида моделлаштирилади. Ҳар бир вақт қадами уч босқичга бўлинади:

1-босқич – элементар ячейка кўчиши билан боғлиқ эффектларни ҳисобга олмаймиз ва тенгламани t_n вақт моментига аппроксимация қиламиз

$$(m\rho_A c_A S_W)_j^{\sim} = (m\rho_A c_A S_W)_j^n + \Delta t (J_A)_j^n + \\ + \Delta t D \frac{(m\rho_A)_{j-1/2}^n (c_A S_W)_{j-1}^n - [(m\rho_A)_{j-1/2}^n + (m\rho_A)_{j+1/2}^n] (c_A S_W)_j^n + (m\rho_A)_{j+1/2}^n (c_A S_W)_{j+1}^n}{\Delta x},$$

$$(m\rho_\beta c_\beta S_W)_j^{\sim} = (m\rho_\beta c_\beta S_W)_j^n + \Delta t (J_\beta)_j^n, \beta = \{S, W, B\},$$

$$(m\rho_\alpha S_\alpha)_j^{\sim} = (m\rho_\alpha S_\alpha)_j^n + \Delta t (J_\alpha)_j^n, \alpha = \{W, O\}, \tilde{T}_j = \{(\rho C)_j^n T_j^n + \Delta t [(A^h T)_j^n]\} / (\rho C)_j^{\sim},$$

$$(A^{hT})_j^n = \frac{\lambda_{j-1/2}^n T_{j-1}^n - (\lambda_{j-1/2}^n + \lambda_{j+1/2}^n) T_j^n + \lambda_{j+1/2}^n T_{j+1}^n}{\Delta x^2}, \quad (m\rho_M)_j^{\sim} = (m\rho_M)_j^n + \Delta t (J_M)_j^n,$$

$$(K)_j^{\sim} = K_0 \left[\frac{(m)_j^{\sim}}{m_0} \right]^n, \quad (x_F)_j^{\sim} = (x_F)_j^n + \Delta t \left(\gamma_M \frac{\rho_A}{\rho_M} V_{FA} c_{FA} \right)_j^n,$$

$$\tilde{\alpha}_{j-1/2} \tilde{p}_{j-1} - (\tilde{\alpha}_{j-1/2} + \tilde{\alpha}_{j+1/2}) \tilde{p}_j + \tilde{\alpha}_{j+1/2} \tilde{p}_{j+1} = -\tilde{F}_j,$$

$$\tilde{\alpha}_{j-1/2} = \left(\frac{\rho_W K k_W}{\mu_W} + \frac{\rho_O K k_O}{\mu_O} \right)_{j-1/2}^{\sim}, \quad \tilde{F}_j = -(\rho_W S_W + \rho_O S_O)_j^{\sim} (m_j^{\sim} - m_j^n) \Delta x^2 / \Delta t,$$

$$(V_W)_j^{\sim} = - \left(\frac{K k_W}{\mu_W} \right)_o^{\sim} \frac{\tilde{p}_{ij+1/2} - \tilde{p}_{ij-1/2}}{\Delta x}, \quad (V_O)_j^{\sim} = - \left(\frac{K k_O}{\mu_O} \right)_o^{\sim} \frac{\tilde{p}_{ij+1/2} - \tilde{p}_{ij-1/2}}{\Delta x};$$

II босқич – ҳар бир фаза ва компонент массаси ва энергияси каттак чегарасидан кўчиши ҳисобланади. Фазаларнинг каттак чегарасидан кўчиши куйидаги формулалардан топилади

$$\Delta(Mc_\beta)_{j+1/2} = \begin{cases} (\rho_\beta c_\beta)_j^{\sim} (V_W)_{j+1/2}^{\sim} \Delta t, & (V_W)_{j+1/2}^{\sim} > 0 \\ (\rho_\beta c_\beta)_{j+1}^{\sim} (V_W)_{j+1/2}^{\sim} \Delta t, & (V_W)_{j+1/2}^{\sim} < 0 \end{cases},$$

$$\Delta(M_\alpha)_{j+1/2} = \begin{cases} (\rho_\alpha)_j^{\sim} (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} > 0 \\ (\rho_\alpha)_{j+1}^{\sim} (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} < 0 \end{cases},$$

$$\Delta(MC_\alpha T)_{j+1/2} = \begin{cases} ((\rho C)_\alpha T)_j^{\sim} (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} > 0 \\ ((\rho C)_\alpha T)_{j+1}^{\sim} (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2}^{\sim} < 0 \end{cases},$$

$$\alpha = \{W, O\}, \beta = \{A, W, S, B\};$$

III босқич – сақланиш қонунларига кўра ҳар бир компонент ва фаза параметрларининг қийматлари янги вақт қатламлари учун топилади

$$(m\rho_\beta c_\beta S_W)_j^{n+1} = (m\rho_\beta c_\beta S_W)_j^{\sim} + \frac{1}{\Delta x} [\Delta(Mc_\beta)_{j-1/2} - \Delta(Mc_\beta)_{j+1/2}],$$

$$(m\rho_\alpha S_\alpha)_j^{n+1} = (m\rho_\alpha S_\alpha)_j^{\sim} + \frac{1}{\Delta x} [\Delta(M_\alpha)_{j-1/2} - \Delta(M_\alpha)_{j+1/2}],$$

$$\alpha = \{W, O\}, \beta = \{A, W, S, B\},$$

$$T_{ij}^{n+1} = \left\{ (\tilde{\rho}\tilde{c})_j \tilde{T}_j + \frac{1}{\Delta x} [\Delta(MC_W T)_{j-1/2} - \Delta(MC_W T)_{j+1/2} + \right.$$

$$\left. \Delta(MC_O T)_{j-1/2} - \Delta(MC_O T)_{j+1/2} \right\}, \quad (m\rho_M)_j^{n+1} = (m\rho_M)_j^{\sim} + \Delta t (J_M)_j^{n+1},$$

$$(x_F)_j^{n+1} = (x_F)_j^{\sim} + \Delta t \left(\gamma_M \frac{\rho_A}{\rho_M} V_{FA} c_{FA} \right)_j^{n+1}.$$

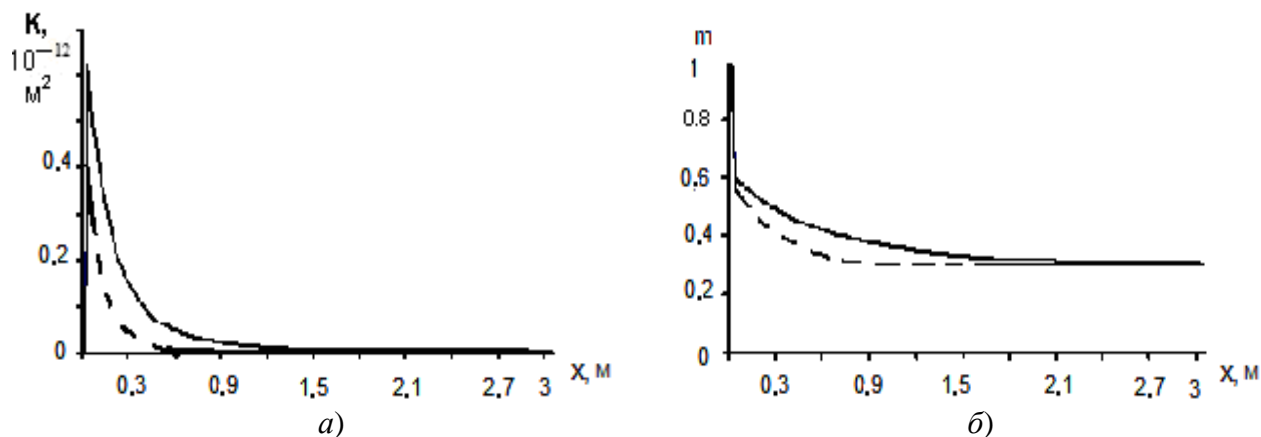
Теорема. Айирмали схема куйидаги шарт бажарилганда турфун

$$\frac{\Delta x}{2}|v| - \frac{\Delta x^2}{4}v_x + \Delta t \left[\left(\frac{\Delta x}{2}|v| - \frac{\Delta x^2}{4}v_x \right) J_\rho - \frac{1}{2}(v + \rho v_\rho)^2 \right] > 0,$$

$$\frac{\Delta x}{2}|v| - \frac{\Delta x^2}{4}v_x - \frac{\Delta t \lambda}{\rho c} v_x - \frac{\Delta t}{2} \left[-[v + (\rho c T)v_{\rho c T}]^2 \left[1 + \frac{1}{(\rho c)_x} \right] \right] > 0.$$

Нефт қатламларига кислотали ишлов бериш жараёнига нефтнинг таъсирини ўрганиш мақсадида совуқ хлорид кислотани нефтли ва нефт бўлмаган коллекторларга ҳайдаш бўйича ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди.

Аниқландики, абсолют ўтказувчанликнинг ошиши нефтли коллекторларга совуқ кислотали аралашмани ҳайдашда ва нефт бўлмаган коллекторларга совуқ кислотали аралашмани ҳайдашдагидан миқдор жиҳатидан ҳам, ювилувчанлик жиҳатидан ҳам анча паст бўлади (3,а-расм). Худди шундай жараён ғоваклик билан ҳам юз беради (3,б-расм). Бир хил кислотали аралашма ҳайдаш суръатларида босим нефтли коллекторларга совуқ кислотали аралашмани ҳайдашда ва нефт бўлмаган коллекторларга совуқ кислотали аралашмани ҳайдашдагидан юқорирок бўлади.



3-Расм. Коллекторга кислота ҳайдашда: а) ўтказувчанлик, б) ғовакликнинг ўзгариши: — нефтсиз, — — нефт бўлган.

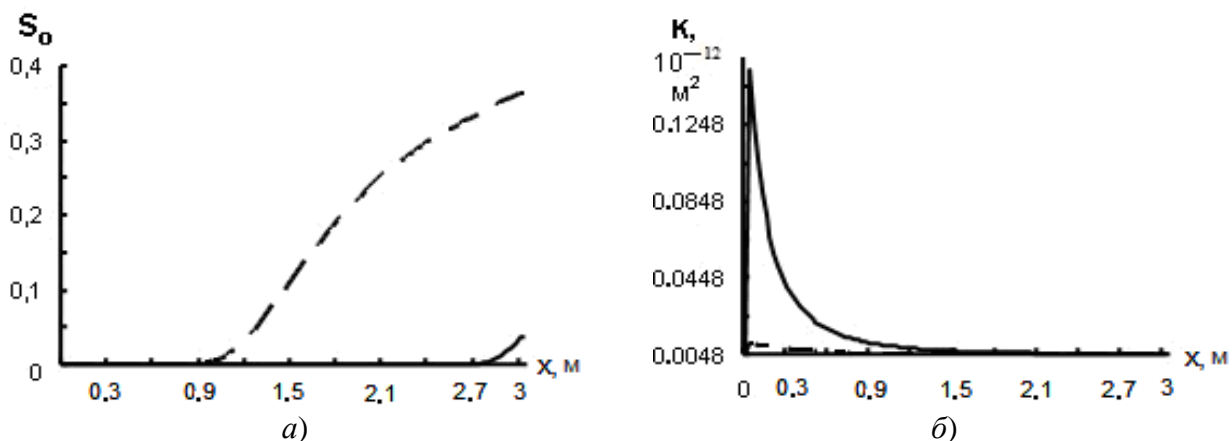
Қатламдан нефт қазиб олиш жараёнига ҳароратнинг таъсирини ўрганиш мақсадида ғовак фазо 3/4 қисми миқдорида иссиқ сув ва кейин кислотали эритма ҳайдаш бўйича ҳисоблаш экспериментлари ўтказилди.

Кўрсатилдики, иссиқ сувнинг ҳайдалишида ҳароратнинг кўтарилиши натижасида нефтнинг интенсив (амалда поршенли) сиқиб чиқарилиши кузатилади (4,а-расм) ва 24-суткада ғовак ҳажмининг 3/4 қисми нефтдан тозаланади кейин кислотали эритма ҳайдаш бошланади, бунда ҳарорат дастлабки қийматигача тезда тушади. Босим кислотали эритмани олдиндан иссиқлик билан ишлов бермасдан ҳайдаганда, иссиқ сув ҳайдагандагидан 2 баробар каттарок бўлади. Ғовак фазо 3/4 қисми миқдорида иссиқ сув ва кейин кислотали эритма ҳайдашда абсолют ўтказувчанликнинг (4,б-расм) сезиларли ошиши қатламнинг нефтдан холос бўлиши ва ғовакликнинг ортиши билан боғлиқ. Қатламда нефт бўлганда иссиқлик билан ишлов бермасдан кислотали аралашманинг ҳайдалишида, кислота тоғ жинсларига таъсир қилмасдан тезда чегарага етади, кислотанинг тоғ жинслари билан таъсирлашуви қудуқ

атроқидаги унча катта бўлмаган соҳалардагина кузатилади.

Иссиқ сув ва кейин кислотали эритма ҳайдашда кислотанинг тоғ жинслари билан таъсирлашуви бутун соҳани қамраб олади. Бунда кислота фронти ҳайдаш охирига келибгина чегарага етиб боради, юборилган кислота амалда тўлиқ тоғ жинсларини эритишга сарфланади.

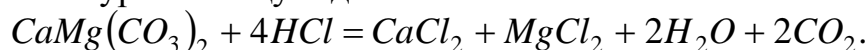
Шундай қилиб, олинган натижалар шуни кўрсатмоқдаки, иссиқлик ва кислотали ишлов бериш усулларини биргаликда қўллаш нефт қатлами сизиш характеристикаларини ошириш учун нисбатан самарали усул бўлади.



4-расм. Коллекторга кислота ҳайдашда: а) нефт билан тўйинганлик, б) абсолют ўтказувчанликнинг ўзгариши: — говак фазо 3/4 қисми миқдориди иссиқ сув ва кейин кислотали эритма ҳайдаш, — — кислотали аралашмани иссиқлик билан ишлов бермасдан ҳайдаш.

Диссертациянинг «Доломит коллекторли нефт қатламларига кислота-ли таъсир кўрсатиш гидродинамик моделларининг сонли таҳлили» деб номланган тўртинчи бобида доломит коллекторли нефт қатламларига кислота-ли ишлов бериш жараёнининг такомиллаштирилган гидродинамик модели, масалаларни ечишнинг ўзгартирилган сонли алгоритмлари келтирилган.

Хлорид кислотасининг доломит билан ўзаро таъсир реакциясининг умумий кимёвий кўриниши қуйидагича:



Учинчи бобда келтирилган тенгламалар системаси кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўладиган магний хлорид тузининг масса сақланиш қонуни билан тўлдирилади

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_{SM}c_{SM}S_w) + \nabla \cdot (\rho_{SM}c_{SM}V_w) = J_S, \quad J_{SM} = \gamma_{SM}J_A.$$

Шунингдек, эритма зичлиги ва қовушқоклиги ҳамда энергия сақланиши тенгламаларига мос ўзгартиришлар киритилади.

Доломит коллекторли нефт қатламларига кислотали ишлов бериш масаласини ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган.

Ҳайдалаётган аралашма таркибидаги кислота концентрацияси, кимёвий реакциялар тезлиги ва ҳайдаш жадаллигининг қатламнинг қудуқолди соҳаси (КҚС) асосий характеристикаларига таъсирини ўрганиш бўйича тадқиқотлар

ўтказилди.

Хусусан, қатламдан узиб олиниб, суюқлик билан келтирилган минерал заррачалар колматацияси сабабли ҚҚС тикилиб қолган ва натижада дебити тушиб қазиб олиш тўхтатиб қўйилган нефт қудуғи қаралди. ҚҚС ғоваклиги фазо бўйича бир жинсли эмас. Унинг тақсимооти қуйидагича

$$m = m_0 e^{(x-l)/3},$$

бу ерда m, m_0 - жорий ва чегарадаги ғовакликлар, x – жорий координата, l – қатлам узунлиги.

Аниқландики, паст концентрацияли кислотадан фойдаланиш, қатламнинг кислота билан таъсирлашув интенсивлигини пасайтиради, бу эса ўз навбатида ғоваклик ва ўтказувчанликнинг пасайишига олиб келади, қатлабга кўпроқ сув ҳайдаш эҳтиёжи пайдо бўлади ва натижада қатламга кислотали ишлов берилгандан сўнг уни ўзлаштириш қийинлашади. Катта концентрацияли кислота ҳайдаш ҳам ғоваклик ва ўтказувчанликнинг ошиши, кислотанинг тез ҳаракатланиши сабабли босимнинг тушиши каби ижобий эффектлар беради, ҳам қатламнинг қийин чиқарилувчи юқори қовушқоқликка эга бўлган калций хлорид ва магний хлорид эритмалари билан тўйиниши каби салбий оқибатларни келтириб чиқаради.

Кислоталарни кимёвий реакциялар тезлигини пасайтирувчи секинлаштиргичлар билан қўллаш қатламнинг кислота билан таъсирлашув интенсивлигини пасайтиради, бу эса ўз навбатида ғоваклик ва ўтказувчанликнинг пасайишига, кислотанинг тезда ҚҚС чегарасида ўтиб кетишига, калций хлорид ва магний хлорид тузлари концентрацияси ва ҚҚС босими камайишига олиб келади.

Кислота ҳайдаш жадаллигини ошириш ҚҚС ғоваклик ва ўтказувчанликнинг, босимнинг ошишига ва кислотанинг тезда ҚҚС чегарасида ўтиб кетишига олиб келади.

Шундай қилиб, ўрганилаётган параметрлар қийматларини ошириш ҳам ижобий, ҳам салбий оқибатларни келтириб чиқарар экан. Шунинг учун кислотали таъсир жараёнини оптималлаштириш мақсадида мазкур параметрларни синчиклаб танлаш керак.

Диссертациянинг «**Карбонат коллекторли нефт қатламларига колматацияни ҳисобга олган ҳолда кислотали таъсир кўрсатиш гидродинамик моделларининг сонли таҳлили**» деб номланган бешинчи бобида карбонат коллекторли нефт қатламларига кислотали ишлов бериш жараёнининг колматацияни ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган гидродинамик модели, масалаларни ечишнинг ўзгартирилган сонли алгоритмлари келтирилган.

Абсолют ўтказувчанликни ҳисоблаш учун қуйидаги эмперик муносабатдан фойдаланилади:

$$K = K_0 \left(\frac{m}{m_0} \right)^n \exp(-a\sigma^\omega),$$

бу ерда

$$\sigma = \sigma_G + \sigma_B, \sigma_B = \begin{cases} \int_0^t \chi_B V_W c_B dt & , x \leq x_F \\ 0 & , x > x_F \end{cases}, \sigma_G = \begin{cases} \int_0^t \chi_G V_W c_G dt & , x \leq x_F \\ 0 & , x > x_F \end{cases}, n,$$

$a, \omega, \chi_G, \chi_B$ - тажриба маълумотлари асосида аниқланувчи ўзгармаслар.

Ҳосил бўлаётган чўкма учун баланс тенгламаси қуйидагича

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_B c_B S_W) + \nabla \cdot (\rho_B c_B V_W) = J_B,$$

$$J_B = \gamma_B J_A - \rho_B \frac{\partial \sigma_B}{\partial t},$$

$$\frac{\partial \sigma_B}{\partial t} = \chi_B V_W c_B.$$

Ҳосил бўлаётган газ учун баланс тенгламаси қуйидагича

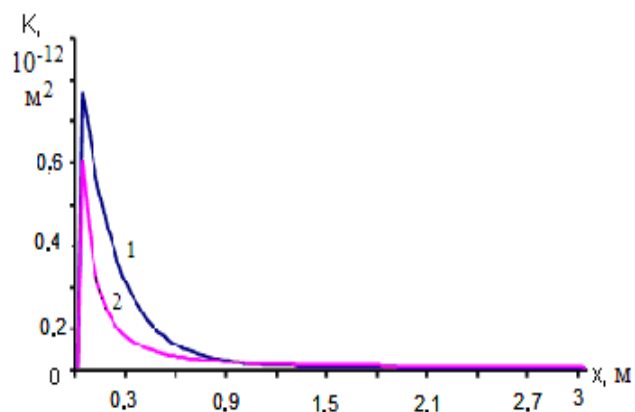
$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_G c_G) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_G c_G V_W) = J_G,$$

$$J_G = \gamma_G J_A - \rho_G \frac{\partial \sigma_G}{\partial t},$$

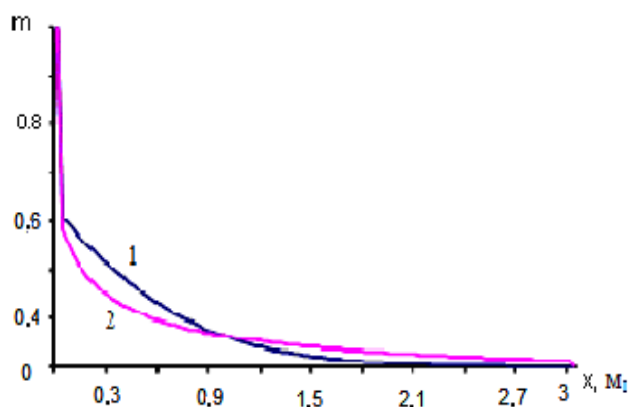
$$\frac{\partial \sigma_G}{\partial t} = \chi_G V_W c_G.$$

Қолган тенгламалар тўртинчи бобдаги билан бир хил.

Карбонат коллекторли нефт қатламларига колматацияни ҳисобга олган ҳолда кислотали ишлов бериш масаласини ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган. Кислотали ишлов бериш жараёнига кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўлаётган, қотирувчи материал ва газ пуфакчаларининг пайдо бўлиши оқибатида ғовак деворларига қаттиқ заррачаларнинг ўтириб қолиши (колматация) нинг таъсирини ўрганиш мақсадида нефтсиз қатламга тузли кислотанинг совуқ эритмасини ҳайдаш бўйича ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди. Аниқландики, зарраларнинг ғовак деворларига ўтириши ва ғовакларнинг газ пуфакчалари билан тўлиб қолиши абсолют ўтказувчанлик (5,а-расм) ва ғоваклик (5,б-расм) ўзгаришига ҳам миқдор жиҳатидан, ҳам ювилувчанлик жиҳатидан сезиларли таъсир ўтказди.



a)



b)

5-Расм. Коллекторга совуқ кислота ҳайдашда а) ўтказувчанлик, б) ғовакликнинг ўзгариши: 1 - колматацияни ҳисобга олмаганда, 2 - колматацияни ҳисобга олганда.

Агар қудуққа яқин соҳада бу сезилмасада, кислота фронтининг қатлам бўйлаб ҳаракатида бу ортади. Зарраларнинг ғовак деворларига ўтириши ва ғовакларнинг газ пуфакчалари билан тўлиб қолиши кислота fronti ҳаракатини секинлаштиради. Зарраларнинг ғовак деворларига ўтириши ва ғовакларнинг газ пуфакчалари билан тўлиб қолиши натижасида сизиш характеристикаларининг ёмонлашиши муҳит сизиш қаршилигининг ортишига олиб келади, бу эса қаралаётган ҳайдаш режимида босим ортишига олиб келади.

ХУЛОСА

«Ғовак муҳитларда кўп фазали, кўп компонентали суёқликларнинг сизиши гидродинамик моделларининг сонли таҳлили» мавзусидаги докторлик диссертациясида олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги асосий хулосаларга келинди:

1. Ғовак муҳитларда нефтгазконденсатли аралашалар сизиши жараёнининг, конденсат гидродинамикасини ҳисобга олувчи гидродинамик модели ишлаб чиқилди.

2. Ғовак муҳитларда нефтгазконденсатли аралашалар сизиши гидродинамик моделларини ечиш учун ўзгартирилган ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилди.

3. Нефтгазконденсат конлардан фойдаланишнинг бир нечта режимлари учун ҳисоблаш тажрибалари натижалари келтирилган, жумладан СНК остига сув ҳайдаш, бир вақтнинг ўзида СНК остига ва ГСК устига сув ҳайдаш, ГШга йўлдош газларни ҳайдаш, бир вақтнинг ўзида СНК остига сув ва ГШга газ ҳайдаш, хулосалар ва тавсиялар ишлаб чиқилган. Аниқландики, бир вақтнинг ўзида СНК остига сув ва ГШга газ ҳайдаш режимида табиий режимда таъсир доирасига кирмай қолган соҳалардан ҳам қазиб олиш мумкин бўлади, нефт билан тўйинганлик текис тақсимланади, бу эса нефтнинг текис қазиб олиниши, қатламдаги босим юқорироқ бўлади, нефт берувчанлик 5%га ортишига олиб келади. Лекин, сув ва газ ҳайдаш жараёнида жараённи доимий назорат қилиш керак бўлади, сув ёки газ эксплуатацион қудуққа ўриб ўтиши ҳайдаш эффективлигини камайишига олиб келади. Шунинг учун конлардан фойдаланишда сув ва газ ҳайдаш жадаллигини бошқариб туриш лозим.

4. Карбонат коллекторли нефт қатламларига кислотали ишлов беришнинг турли типдаги коллекторлар учун кимёвий кинетикани ҳисобга олган ҳолда комплекс математик моделлари ишлаб чиқилди.

5. Бу моделлар асосида масалаларни ечиш учун “катта зарралар” усулига асосланган ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган.

6. Турли типдаги коллекторлар учун нефт қатламларига кислотали ишлов бериш бўйича ҳисоблаш экспериментлари ўтказилди. Аниқландики, иссиқлик ва кислотали ишлов бериш усуллари биргаликда қўллаш нефт қатлами сизиш характеристикаларини ошириш учун нисбатан самарали усул бўлади.

Зарраларнинг ғовак деворларига ўтириши ва ғовакларнинг газ пуфакчалари билан тўлиб қолиши абсолют ўтказувчанлик ва ғоваклик ўзгаришига ҳам миқдор жиҳатидан, ҳам ювилувчанлик жиҳатидан сезиларли таъсир ўтказди.

Ишлаб чиқилган математик, дастурий таъминот ва технологиялар нефт ва газ конларини қатламга турли шароитларда таъсир кўрсатишни лойиҳалаштириш ва фойдаланишда бошқариш бўйича қарорлар қабул қилиш ва ғовак муҳитнинг гидрогеологик ва геофизик хусусиятларидан келиб чиқиб аниқ амалий тавсиялар ишлаб чиқиш имкони беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.08.2018.FM/Т.02.09
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
САМАРКАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БУРНАШЕВ ВЛАДИМИР ФИДРАТОВИЧ

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ФИЛЬТРАЦИИ МНОГОФАЗНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ**

01.02.05 - Механика жидкости и газа

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА НАУК (DSc) ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Самарканд – 2019

Тема диссертации доктора наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2018.4.DSc/FM127.

Докторская диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.samdu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный консультант: Хужаёров Бахтиёр Хужаёрович
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Нормурадов Чори Бегалиевич
доктор физико-математических наук

Равшанов Нормаммад
доктор технических наук, профессор

Худайкулов Совет Ишонкулович
доктор технических наук


Ведущая организация: Институт механики и сейсмостойкости сооружений
АН РУз


Защита диссертации состоится «17» мая 2019 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc. 30.08.2018.FM/T.02.09 при Самаркандском государственном университете (Адрес: 140104, г.Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (+99866) 239-11-40, 239-12-47, факс: (+99866) 239-11-40, e-mail: devonxona@samdu.uz).


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета (регистрационный номер 2). (Адрес: 140104, Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (+99866) 239-17-25).

Автореферат диссертации разослан «3» мая 2019 года.
(реестр протокола рассылки № 4 от «3» мая 2019 года.)




Р.И.Халмуралов
Председатель научного совета по присуждению
ученых степеней, доктор технических наук, профессор


А.Абдирашидов
Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней,
доктор физико-математических наук, доцент


Ж.Акилов
Заместитель председателя научного семинара при
научном совете по присуждению ученых степеней,
доктор физико-математических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире важным является повышение эффективности извлечения углеводородов из продуктивных пластов нефтяных и газовых месторождений. Основным способом добычи нефти, обеспечивающим достаточно высокую нефтеотдачу залежей, является заводнение. В связи с этим анализ практического применения и теоретических исследований методов заводнения в США, Великобритании, Саудовской Аравии, Российской Федерации и других развитых странах показывает, что эффективность метода зависит от правильного выбора объекта и соответствующей технологии его применения. В этом направлении, гидродинамические модели многофазных многокомпонентных жидкостей и методы их реализации имеют важное значение для правильного выбора объектов и технологий, а также для совершенствования теоретических основ разработки и оптимизации плана геолого-технических мероприятий.

В мире ведутся научные исследования, направленные на повышение добываемости углеводородного сырья в виду того, что вводимые в эксплуатацию новые месторождения, как правило, имеют сложные геолого-физические условия (низкую проницаемость, неоднородность, расчлененность коллектора), кроме того, в процессе эксплуатации месторождений основной проблемой, снижающей эффективность добычи нефти, является засорение призабойной зоны пласта различными веществами. В этом направлении исследование различных способов кислотного воздействия на нефтяные и газовые пласты для увеличения их проницаемости является важной задачей. Вместе с этим необходимо разработать математические модели, методы их численной реализации, компьютерные программы для расчета технологических показателей кислотного воздействия.

В нашей республике особое внимание уделяется удовлетворению растущей потребности республики в нефтепродуктах. Однако из-за малости открытия новых нефтяных месторождений, переходом на стадию падающей добычи многих действующих отмечается снижение добычи нефти. В стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы особо подчеркивается необходимость реализации целевых программ «...обеспечение устойчиво высоких темпов роста валового внутреннего продукта за счет углубления структурных и институциональных преобразований на основе реализации принятых среднесрочных программ... дальнейшая модернизация и диверсификация промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленные на опережающее развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей»³. Для реализации данной задачи, в частности, необходимо стабилизировать, а в дальнейшем увеличить годовой объем добычи нефти.

³ Указ Президента Республики Узбекистан ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

В определенной степени, данное диссертационное исследование служит осуществлению задач, определяемых в нормативно – правовых документах касательно данной деятельности, в частности, к таковым относятся Указ «Об усовершенствовании системы управления нефтегазодобывающей промышленности» № ПП-3107 от 30 июня 2017 года, Постановление Президента №-ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №675 “О мерах по дальнейшему совершенствованию порядка формирования государственных программ развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы по системе государственного комитета Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам” от 27 августа 2017 года, а также иные нормативно – правовые документы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Математика, механика и информатика».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации⁴.

Исследования фильтрации многофазных многокомпонентных жидкостей в пористых средах проводятся ведущими мировыми научными центрами и высшими образовательными учреждениями, такими, как The American Petroleum Institute, The University of Texas at Austin (США), Institute of Petroleum Engineering (Германия), Norwegian University of Science and Technology (Норвегия), Oil & Gas Institute (Шотландия), Delft University of Technology (Нидерланды), Oxford Institute for Energy Studies (Англия), China University of Petroleum (Китай), The University of Adelaide, University of New South Wales (Австралия), Universiti Teknologi PETRONAS (Малазия), Mexican Institute of Petroleum (Мексика), King Fahd University of Petroleum & Minerals (Саудовская Аравия), Институт химии нефти СО РАН, Всероссийский нефтегазовый научно-исследовательский институт, Российский государственный университет нефти и газа, Тюменский государственный университет, Грозненский нефтяной институт, Казанский федеральный университет, Кубанский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный горный институт (Технический университет), Уфимский государственный нефтяной технический университет (Россия), Институт нефтехимических процессов (ИНХП), Нефтегазовый научно-исследовательский проект (Азербайджан); Узбекский научно-

⁴ В обзоре международных научных исследований по теме диссертации использовались <http://www.mathnet.ru>; <https://www.api.org/>; <https://www.utexas.edu/>; <http://link.springer.com>; <http://www.sciencedirect.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; <https://www.adelaide.edu.au/>; <https://www.unsw.edu.au/>; <https://www.ite.tu-clausthal.de/en/>; <https://www.ntnu.edu/>; <https://www.strath.ac.uk/research/oilgasinstitute/>; Predicting temperature distribution in the waxy oil-gas pipe flow//Journal of Petroleum Science and Engineering. 101:28-34. January 2013; Two-phase flow (oil-water) in petroleum reservoir with irregular geometry including water injection: Effect of porosity on the oil recovery factor//Defect and Diffusion Forum 326-328:181-186 April 2012; Two-phase flow of an oil-water system in porous media with complex geometry including water flooding: Modeling and simulation//JPor-Media.v14.i7.20.pages 579-592; и другие источники.

исследовательский и прикладной институт нефтяной и газовой промышленности, Ташкентский государственный технический университет, Самаркандский государственный университет, Каршинский государственный университет, Ташкентский филиал Московского университета нефти и газа им. акад. И.Губкина (Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире по моделированию фильтрации многофазных многокомпонентных жидкостей в пористых средах были получены следующие научные результаты: созданы математические модели нестационарных процессов фильтрационного движения жидкостей и газа в пористых средах с учетом растворения газа в жидкостях (Institute of Petroleum Engineering, The American Petroleum Institute, США); разработаны алгоритмы решения задач фильтрации нефтегазовой смеси, основанные на методе конечных элементов (The Japan Petroleum Institute, Япония; SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Китай); созданы математические модели химического воздействия на нефтяные пласты с учетом химической реакции (Институт нефти и газа, Институт химии нефти СО РАН, Россия); разработаны численные алгоритмы оценок химического воздействия на нефтяные пласты, основанные на методе конечных разностей (Всероссийский нефтегазовый научно-исследовательский институт, Институт проблем нефти и газа РАН, Россия); усовершенствованы математические модели и численные методы оценки химического воздействия на нефтяные пласты с учетом образования нерастворимых частиц и коагуляции ими породы (УзНИПИнефтегаз, Самаркандский государственный университет, Узбекистан).

В мире ведутся исследования по приоритетным направлениям, связанным с разработкой теории и эффективных методов решения проблемы повышения нефтеотдачи, в частности: совершенствования теории, описывающей фильтрацию многофазных многокомпонентных жидкостей в пористых средах; разработке эффективных технологий заводнения нефтяных пластов для искусственного поддержания пластового давления; развитию методов физико-химического воздействия на нефтяные и газовые пласты с целью повышения эффективности разработки нефтяных и газовых месторождений.

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, Golfier F., Pongraz R., Panga M. K., А. Дарси, Л. С. Лейбензон, А. Х. Мирзаджанзаде, М. М. Хасанов, Б. Б. Лапук, И. А. Чарный, Х. Азиз, Э. Сеттари, С. Н. Закиров, А. Н. Коновалов, К. С. Басниев, Нигматулин Р. И., Н. Т. Данаев, А. Калтаев, Д. Ж. Ахмед-Заки, А. В. Ахметзянов, А. В. Цапаев, Б. В. Шалимов и др.

В Узбекистане существенную лепту в разработку математических моделей и вычислительных методов для исследования, прогнозирования и

управления процессами в пористых средах внесли такие отечественные ученые, как В.К.Кабулов, Ф.Б.Абуталиев, Э.Б.Абуталиев, Ж.Ф.Файзуллаев, Н.М.Муридинов, Ж.Акилов, Р.Садуллаев, И.Алимов, Б.Х.Хужаёров, У.С.Назаров, И.К.Хужаев, Н.Равшанов, Я.Ярбеков, Ш.Каюмов 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 темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в которой выполняется диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Самаркандского государственного университета №19.12 «Разработка математических моделей и численных анализ инженерных и природных процессов» (2000-2018), а также грантами №А-12-088 «Разработка эффективных технологий применения вторичных методов увеличения нефтеотдачи на месторождениях Бухара-Каршинского нефтегазаностного региона» (2007-2009), №ФА-А5-Ф023 «Выбор объектов и разработка высокоэффективных технологий заводнения нефтяных месторождений Бухара-Каршинской нефтегазоносной области» (2009-2011), №А13-Ф081 «Разработка эффективных методов физико-химического воздействия на нефтяные пласты с целью повышения интенсивности добычи и конечной нефтеотдачи» (2012-2014), №А-13-10 «Разработка методики расчета и эффективных технологий кислотного воздействия на призабойные зоны нефтяных и газовых пластов с трещиновато-пористыми карбонатными коллекторами» (2015-2017).

Цель исследования состоит в разработке усовершенствованных гидродинамических моделей фильтрации нефтегазоконденсатной смеси в пористой среде с учетом фазового перехода конденсата, кислотного воздействия на кальцидный и доломитовый коллектор нефтяного пласта с учетом химической реакции, кислотной обработки карбонатного коллектора нефтяного пласта с учетом коагуляции породы.

Задачи исследования:

разработка математических моделей, численного алгоритма на основе метода «крупных частиц», программных средств для решения задач фильтрации нефтегазоконденсатной смеси и технологий заводнения нефтегазоконденсатных месторождений;

разработка математических моделей и численного алгоритма на основе метода «крупных частиц» для решения задач кислотного воздействия на кальцидный коллектор нефтяного пласта;

разработка математических моделей и численного алгоритма на основе метода «крупных частиц» для решения задач кислотного воздействия на доломитовый коллектор нефтяного пласта;

разработка математических моделей и численного алгоритма на основе метода «крупных частиц для решения задач кислотного воздействия на карбонатный коллектор нефтяного пласта с учетом кольматации породы;

разработка методик, соответствующих программных средств расчета и технологий кислотного воздействия на нефтяные и нефтегазоконденсатные пласты.

Объектом исследования являются процессы физико-химического воздействия на нефтяные и нефтегазоконденсатные пласты с целью повышения нефтеотдачи.

Предмет исследования – математическое моделирование процессов фильтрации многофазных многокомпонентных систем в пористых средах.

Методы исследования. Фундаментальные балансовые законы физики и гидродинамики, феноменологические законы, математическое моделирование, вычислительный эксперимент и численное моделирование.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе теории движения жидкости и газа усовершенствованы математическая модель процесса фильтрации нефтегазоконденсатной смеси и вычислительный алгоритм решения соответствующей задачи на основе метода «крупных частиц»;

используя физико-химический подход, разработаны математическая модель кислотного воздействия на кальцидный коллектор нефтяного пласта и вычислительный алгоритм решения задачи на основе метода «крупных частиц»;

составлены математическая модель кислотного воздействия на доломитовый коллектор нефтяного пласта и вычислительный алгоритм решения задачи на основе метода «крупных частиц»;

созданы математическая модель кислотного воздействия на карбонатный коллектор нефтяного пласта с учетом кольматации породы и вычислительный алгоритм решения задачи на основе метода «крупных частиц»;

на основе созданных численных моделей разработаны методики расчёта и пакеты прикладных программ с графическим интерфейсом, позволяющие проводить многовариантные расчеты с использованием персональных компьютеров средней мощности.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны математические модели и вычислительные алгоритмы для процессов фильтрации в нефтяных и нефтегазоконденсатных пластах;

создано программное средство «Расчет технологических показателей нефтяных и нефтегазовых месторождений»;

для расчета технологических показателей кислотной обработки призабойной зоны нефтяного пласта разработано программное средство «Расчет показателей кислотной обработки призабойной зоны нефтяного пласта»;

для расчета технологических показателей кислотного воздействия на трещиновато-пористые газовые пласты создано программное средство «Расчет

показателей кислотного воздействия на трещиновато-пористые газовые пласты».

разработана технология кислотного воздействия на нефтяные пласты «Способ кислотной обработки призабойной зоны нефтяных пластов».

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 нефтяных, нефтегазовых и нефтегазоконденсатных пластах. Разработанные модели и вычислительные алгоритмы позволяют проектировать разработку нефтяных и нефтегазовых месторождений, осуществлять правильный выбор объема дебита и оптимально располагать скважины, а также выполнять прогноз.

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

Внедрение результатов исследования. На основе разработанных математических моделей, вычислительных методов, алгоритмов и программного обеспечения для численного анализа гидродинамических моделей многофазных многокомпонентных жидкостей в пористых средах:

дано заключение, что полученные в результате исследований усовершенствованные математические модели фильтрации нефтегазо-конденсатной смеси и кислотного воздействия на карбонатные коллектора нефтяного пласта, разработанные вычислительные алгоритмы решения соответствующих задач на основе метода «крупных частиц» и программы использованы в исследованиях фундаментального гранта под номером БВ-М-ФА-001 «Математические модели и эффективные распределенные вычислительные алгоритмы для решения многомерных задач сложного теплообмена» при усовершенствовании моделей и разработки алгоритмических методов решения сложных многомерных задач тепло- и массообмена (Министерство высшего и среднего специального образования, справка №89-03-4213 от 5 декабря 2018

г.). Применение этих научных результатов позволило усовершенствовать математические модели сложных многомерных задач тепло- и массообмена и провести вычислительные эксперименты;

получен патент на изобретение «Способ кислотной обработки призабойной зоны нефтяного пласта» (№ IAP 05492, Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан, в г.Ташкент 20.10.2017 г.). Способ кислотной обработки призабойной зоны нефтяных пластов, включающий предварительную очистку коллектора призабойной зоны от асфальто-смолопарафиновых отложений, отличающийся тем, что предварительную очистку осуществляют путем нагнетания в скважину горячей воды с температурой, превышающей температуру пласта, объемом $3/4$ объема пор призабойной зоны, с последующей закачкой раствора кислоты позволил увеличить эффективность кислотной обработки;

результаты исследований по кислотной обработке призабойной зоны пласта использованы на объектах АО «Узнефтегаздобыча» для условий месторождений Северный Уртабулак (скважина №3), Южный Кемачи (скважина №118), Шуртепа (скважина №102) и Сарикум (скважина №22), Шуртан (скважина №11), Южный Тандырча (скважина №6) и др (АО «Узбекнефтегаз», справка №02/14-2-478 от 18 апреля 2018 года). Использование предлагаемых методик способствовало оптимизации плана геолого-технических мероприятий по кислотному воздействию на скважинах и за счет более точного прогноза проведения солянокислотной обработки появляется возможность увеличения дебита нефти и газа из добывающих скважин;

усовершенствованные математические модели фильтрации нефтегазоконденсатной смеси использовались в ведущих международных научных журналах (Chemical Engineering Science. 59 (2004), IF=1.04) для моделирования процессов конденсации органических соединений в пористых средах, (Journal Pet. Sci. and Eng. 61 (2008), IF=0.78) численного моделирования относительных фазовых проницаемостей без использования результатов экспериментов, (Journal Pet. Sci. and Eng. 101 (2013), IF=0.78) вывода уравнения энергии течения высоковязкой нефти и газа в трубопроводах. Применение научных результатов дало возможность улучшить математические модели вышеупомянутых процессов и разработать методы их решения.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 9 международных и 9 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 49 научных работ. Из них 2 монографии, 1 патент, 14 научных статей, 2 - в зарубежных, 12 - в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объём диссертации. Диссертация, объем которой составляет 185 страниц, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается востребованность и актуальность темы диссертации в соответствии с направлениями приоритетного развития технологий и науки Республики Узбекистан, представлены задачи и цель, указаны предмет и объект исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта практическая и теоретическая значимость результатов, представлен перечень внедрений результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Физические основы многофазной многокомпонентной фильтрации**» приводится системный анализ физических основ многофазной многокомпонентной фильтрации. Рассматриваются теоретические основы многофазной многокомпонентной фильтрации, гидродинамические модели фильтрации многофазных многокомпонентных систем, методы их численной реализации.

Во второй главе диссертации под названием «**Численный анализ гидродинамических моделей фильтрации нефтегазоконденсатной смеси**» приведены усовершенствованная гидродинамическая модель фильтрации нефтегазоконденсатной смеси, численный алгоритм решения задачи фильтрации нефтегазоконденсатной смеси, численное исследование процессов воздействия на нефтегазоконденсатные пласты водой и газом.

Для описания фильтрации нефтегазоконденсатной смеси используется следующий подход: нефтегазоконденсатная смесь представлена как четырехфазная система, состоящая из нефтяной, водяной, конденсатной и газовой фаз. Причем вода и нефть считаются нелетучими жидкостями, газ - растворимым в жидкостях, а конденсат может находиться как в жидком, так и газообразном состоянии.

Основные уравнения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_1}{B_1}(1-C\gamma) + \frac{mS_2R_2}{B_2} + \frac{mS_3R_3}{B_3} + \frac{mS_4R_4}{B_4} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_1}{B_1}(1-C\gamma) + \frac{W_2R_2}{B_2} + \frac{W_3R_3}{B_3} + \frac{W_4R_4}{B_4} \right] &= Q_1, \\ \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_2}{B_2} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_2}{B_2} \right] &= Q_2, \quad \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_3}{B_3} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_3}{B_3} \right] &= Q_3, \\ \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{mS_4}{B_4} + \frac{mS_1C}{B_1} \right] + \nabla \cdot \left[\frac{W_4}{B_4} + \frac{W_1C}{B_1} \right] &= Q_4, \end{aligned}$$

где: индексы 1, 2, 3, 4 - соответствуют газу, воде, нефти и конденсату; S_α, Q_α ($\alpha = \overline{1,4}$) - насыщенности и суммарный дебит скважин; $B_1 = \frac{[V_1 + V_{14}]_{ny}}{[V_1]_{cy}}$,

$B_2 = \frac{[V_2 + V_{21}]_{ny}}{[V_2]_{cy}}$, $B_3 = \frac{[V_3 + V_{31}]_{ny}}{[V_3]_{cy}}$, $B_4 = \frac{[V_4 + V_{41}]_{ny}}{[V_4]_{cy}}$ - объемные коэффи-

циенты, m - пористость пласта, $R_2 = \frac{[V_{21}]_{ny}}{[V_2]_{cy}}$, $R_3 = \frac{[V_{31}]_{ny}}{[V_3]_{cy}}$, $R_4 = \frac{[V_{41}]_{ny}}{[V_4]_{cy}}$ - растворимость газа в воде, нефти и конденсате, C - содержание конденсата в газовой фазе, $\bar{\gamma} = \frac{\gamma_4}{M_4} 22.41 \frac{293}{273}$ (отношение удельных весов конденсата в жидкой и газовой фазах), M_4 - молекулярная масса конденсата, t - время, W_α - вектор фазовых скоростей, $[V_\alpha]_{ny}$ - объем, занятый фиксированной массой фазы α ($\alpha = 1, 2, 3$), $[V_\alpha]_{cy}$ - объем, занятый фазой α при нормальных условиях; $[V_{21}]_{ny}$, $[V_{31}]_{ny}$, $[V_{41}]_{ny}$ - объемы растворенного газа соответственно в воде, нефти и конденсате в пластовых условиях,

$$W_\alpha = -\frac{Kk_\alpha}{\mu_\alpha} (\nabla p_\alpha - \gamma_\alpha \nabla Z),$$

где K - абсолютная проницаемость пласта; k_α - относительные фазовые проницаемости; μ_α - вязкость; γ_α - удельный вес; p_α - давление в фазах.

Для замыкания этой системы, кроме вытекающих из соотношения $\sum_{\alpha=1}^4 S_\alpha = 1$ и зависимостей $k_\alpha = F_\alpha(S_1, S_2, S_3, S_4)$, требуется знание сложных многопараметрических зависимостей $B_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3, S_4)$, $\mu_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3, S_4)$, $R_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3, S_4)$.

Для решения задачи фильтрации нефтегазоконденсатной смеси разработан численный алгоритм на основе метода «крупных частиц», состоящий из следующих этапов:

1 этап - пренебрегая эффектами, связанными с перемещением элементарной ячейки, определяется давление из следующего конечно-разностного уравнения

$$E_i^\sim p_{i-1}^\sim - I_i^\sim p_i^\sim + O_i^\sim p_{i+1}^\sim = -F_i^\sim,$$

где

$$\begin{aligned} E_i^\sim &= [H_{1i}^\sim C_{i-1/2}^\sim - (1 - C\bar{\gamma})_{i-1/2}^\sim] \left(\frac{Z_1}{B_1} \right)_{i-1/2}^\sim + [H_{2i}^\sim - R_{2i-1/2}^\sim] \left(\frac{Z_2}{B_2} \right)_{i-1/2}^\sim + \\ &+ [H_{3i}^\sim - R_{3i-1/2}^\sim] \left(\frac{Z_3}{B_3} \right)_{i-1/2}^\sim + [H_{4i}^\sim - R_{4i-1/2}^\sim] \left(\frac{Z_4}{B_4} \right)_{i-1/2}^\sim, \\ O_i^\sim &= [H_{1i}^\sim C_{i+1/2}^\sim - (1 - C\bar{\gamma})_{i+1/2}^\sim] \left(\frac{Z_1}{B_1} \right)_{i+1/2}^\sim + [H_{2i}^\sim - R_{2i+1/2}^\sim] \left(\frac{Z_2}{B_2} \right)_{i+1/2}^\sim + \\ &+ [H_{3i}^\sim - R_{3i+1/2}^\sim] \left(\frac{Z_3}{B_3} \right)_{i+1/2}^\sim + [H_{4i}^\sim - R_{4i+1/2}^\sim] \left(\frac{Z_4}{B_4} \right)_{i+1/2}^\sim, \quad I_i^\sim = E_i^\sim + O_i^\sim, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_i^{\sim} &= A_i \frac{\Delta x^2}{\Delta t} \left\{ [G_1(1-C\gamma)]_i^{\sim} - [G_1(1-C\gamma)]_i^n - h_i^{\sim} \left[(G_1 C)_i^{\sim} - (G_1 C)_i^n \right] + G_{2i}^{\sim} \left[(h_{2i}^{\sim} - h_{2i}^n) + \right. \right. \\
&+ h_i^{\sim} (b_{2i}^{\sim} - b_{2i}^n) \left. \right] + G_{3i}^{\sim} \left[(h_{3i}^{\sim} - h_{3i}^n) + h_i^{\sim} (b_{3i}^{\sim} - b_{3i}^n) \right] + G_{4i}^{\sim} \left[h_i^n (b_{4i}^{\sim} - b_{4i}^n) \right] \left. \right\} - Q_i^{\sim} \Delta x^2 + \Phi_i^{\sim}, \\
\Phi_i^{\sim} &= \left\{ \left[H_{1i}^{\sim} C_{i-1/2}^{\sim} - (1-C\bar{\gamma})_{i-1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_1}{B_1} \gamma_1 \right)_{i-1/2}^{\sim} + \left[H_{2i}^{\sim} - R_{2i-1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_2}{B_2} \gamma_2 \right)_{i-1/2}^{\sim} + \right. \\
&+ \left. \left[H_{3i}^{\sim} - R_{3i-1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_3}{B_3} \gamma_3 \right)_{i-1/2}^{\sim} + \left[H_{4i}^{\sim} - R_{4i-1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_4}{B_4} \gamma_4 \right)_{i-1/2}^{\sim} \right\} (D_i - D_{i-1}) + \\
&+ \left\{ \left[H_{1i}^{\sim} C_{i+1/2}^{\sim} - (1-C\bar{\gamma})_{i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_1}{B_1} \gamma_1 \right)_{i+1/2}^{\sim} + \left[H_{2i}^{\sim} - R_{2i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_2}{B_2} \gamma_2 \right)_{i+1/2}^{\sim} + \right. \\
&+ \left. \left[H_{3i}^{\sim} - R_{3i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_3}{B_3} \gamma_3 \right)_{i+1/2}^{\sim} + \left[H_{4i}^{\sim} - R_{4i+1/2}^{\sim} \right] \left(\frac{Z_4}{B_4} \gamma_4 \right)_{i+1/2}^{\sim} \right\} (D_{i+1} - D_i);
\end{aligned}$$

2 - этап - определяются перетоки масс через границы элементарной ячейки

$$\left(\frac{u_\alpha}{B_\alpha} \right)_{i+1/2}^{\sim} = \begin{cases} \left(\frac{1}{B_\alpha} \right)_i^{\sim} u_{\alpha i+1/2}^{\sim}, & \text{если } u_{\alpha i+1/2}^{\sim} \geq 0 \\ \left(\frac{1}{B_\alpha} \right)_{i+1}^{\sim} u_{\alpha i+1/2}^{\sim}, & \text{если } u_{\alpha i+1/2}^{\sim} < 0 \end{cases}; \quad \alpha = \overline{1,4};$$

3 - этап - определяются искомые насыщенности из

$$\begin{aligned}
A_i \Delta x &\left\{ \left[\frac{m}{B_1} (1-C\gamma) \right]_i^n S_{1i}^{n+1} - \left[\frac{m}{B_1} (1-C\gamma) \right]_i^{n-1} S_{1i}^n + \left(\frac{mR_3}{B_3} \right)_i^n S_{3i}^{n+1} - \left(\frac{mR_3}{B_3} \right)_i^{n-1} S_{3i}^n + \right. \\
&+ \left. \left(\frac{mR_2}{B_2} \right)_i^n S_{2i}^{n+1} - \left(\frac{mR_2}{B_2} \right)_i^{n-1} S_{2i}^n + \left(\frac{mR_4}{B_4} \right)_i^n S_{4i}^{n+1} - \left(\frac{mR_4}{B_4} \right)_i^{n-1} S_{4i}^n \right\} + \\
&+ \Delta t^n \left\{ \left[(1-C\bar{\gamma}) \frac{u_1}{B_1} \right]_{i+1/2}^n - \left[(1-C\bar{\gamma}) \frac{u_1}{B_1} \right]_{i-1/2}^n + \left(R_3 \frac{u_3}{B_3} \right)_{i+1/2}^n - \left(R_3 \frac{u_3}{B_3} \right)_{i-1/2}^n + \right. \\
&+ \left. \left(R_2 \frac{u_2}{B_2} \right)_{i+1/2}^n - \left(R_2 \frac{u_2}{B_2} \right)_{i-1/2}^n + \left(R_4 \frac{u_4}{B_4} \right)_{i+1/2}^n - \left(R_4 \frac{u_4}{B_4} \right)_{i-1/2}^n \right\} = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{1k} \delta_{1k}, \\
A_i \Delta x &\left[\left(\frac{m}{B_2} \right)_i^n S_{2i}^{n+1} - \left(\frac{m}{B_2} \right)_i^{n-1} S_{2i}^n \right] + \Delta t^n \left[\left(\frac{u_2}{B_2} \right)_{i+1/2}^n - \left(\frac{u_2}{B_2} \right)_{i-1/2}^n \right] = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{2k} \delta_{1k}, \\
A_i \Delta x &\left[\left(\frac{m}{B_3} \right)_i^n S_{3i}^{n+1} - \left(\frac{m}{B_3} \right)_i^{n-1} S_{3i}^n \right] + \Delta t^n \left[\left(\frac{u_3}{B_3} \right)_{i+1/2}^n - \left(\frac{u_3}{B_3} \right)_{i-1/2}^n \right] = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{3k} \delta_{1k},
\end{aligned}$$

$$A_i \Delta x \left[\left(\frac{m}{B_4} \right)_i S_{4i}^{n+1} - \left(\frac{m}{B_4} \right)_i S_{4i}^n + \left(\frac{mC}{B_1} \right)_i S_{1i}^{n+1} - \left(\frac{mC}{B_1} \right)_i S_{1i}^n \right] + \\ + \Delta t^n \left[\left(\frac{u_4}{B_4} \right)_{i+1/2} - \left(\frac{u_4}{B_4} \right)_{i-1/2} + \left(\frac{u_1}{B_1} \right)_{i+1/2} C_{i+1/2}^n - \left(\frac{u_1}{B_1} \right)_{i-1/2} C_{i-1/2}^n \right] = \Delta t^n A_i \sum_k Q_{4k} \delta_{1k}.$$

Определив S_{α}^{n+1} переходим к следующему временному шагу и т.д.

Приведены результаты вычислительных экспериментов по различным режимам эксплуатации нефтегазоконденсатной залежи, включая закачку воды под водо-нефтяной контакт (ВНК), одновременную закачку воды под ВНК и над газо-жидкостный контакт (ГЖК), закачку попутного газа в газовую шапку (ГШ), одновременную закачку воды под ВНК и газа в ГШ, выводы и рекомендации.

Выявлено, что основной объем нефти добывается из области ниже добывающего ряда. Нефть добывается намного больше, чем при естественном режиме эксплуатации (Рис.1,а). В окрестности добывающего ряда образуется характерный конус нефтенасыщенности. За счет нагнетаемой воды под ВНК происходит вытеснение нефти из области ниже добывающего ряда (Рис.1,б).

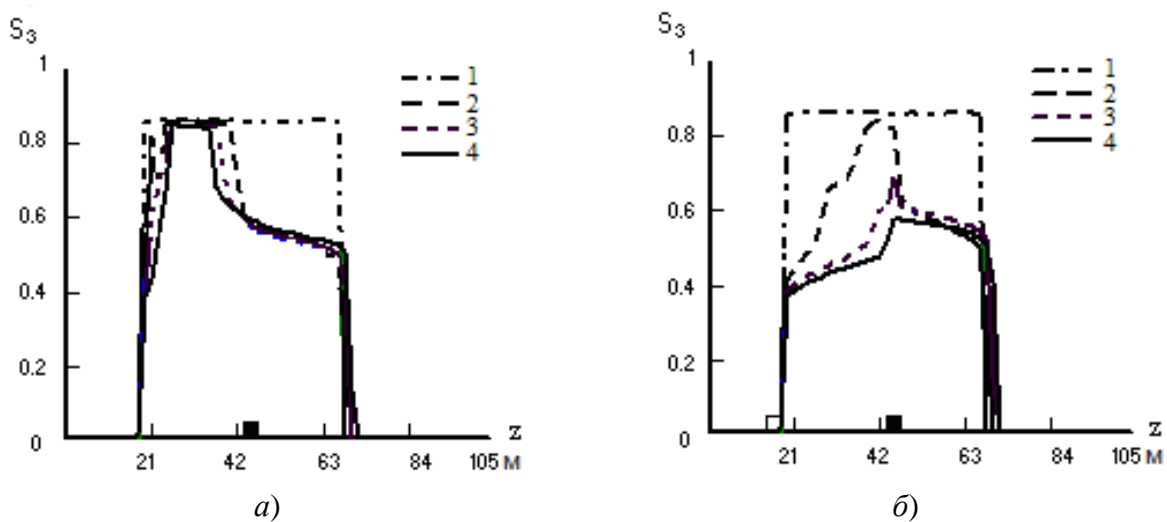


Рис. 1. Распределение нефтенасыщенности: а) режим истощения, б) закачка под ВНК; □ - нагнетательный ряд, ■ - добывающий ряд, 1 - начальное, 2 - 10 лет, 3 - 20 лет, 4 - 30 лет эксплуатации.

Продвижение нефти в газовую шапку связано с подпором воды и перетоком части газа в нефтяной пласт.

После 13 лет эксплуатации наблюдается появление воды в добывающем ряду, т.е. передний фронт водонасыщенности (значение водонасыщенности выше остаточной) доходит до добывающего ряда и происходит его резкое обводнение. В дальнейшем вся поступающая вода извлекается вместе с нефтью. Наблюдается появление газа по всей области нефтяного пласта. Зона конденсатонасыщенности расширяется (Рис.2), так как среднее давление здесь выше. Характер изменения давления в пласте тот же, что и в режиме естественной эксплуатации, но на более высоком уровне. Давление в

окрестности добывающего ряда превышает давление добывающего ряда во всем рассматриваемом временном отрезке. Период интенсивного извлечения нефти больше, чем при естественном режиме эксплуатации.

При закачке воды под ВНК и над ГЖК за счет нагнетаемой воды происходит вытеснение нефти из всей области, а период интенсивного извлечения нефти увеличивается.

Наблюдается появление газа по всей области нефтяного пласта. Увеличение газонасыщенности в зоне конденсата связано с падением давления, и как следствие, разгазированием конденсата, а также механизмом межфазного перехода. Зона конденсатонасыщенности постоянно расширяется за счет ГШ с понижением уровня концентрации. Распределение давления более равномерное и в середине элемента пласта больше давления добывающего ряда в течение всего периода эксплуатации.

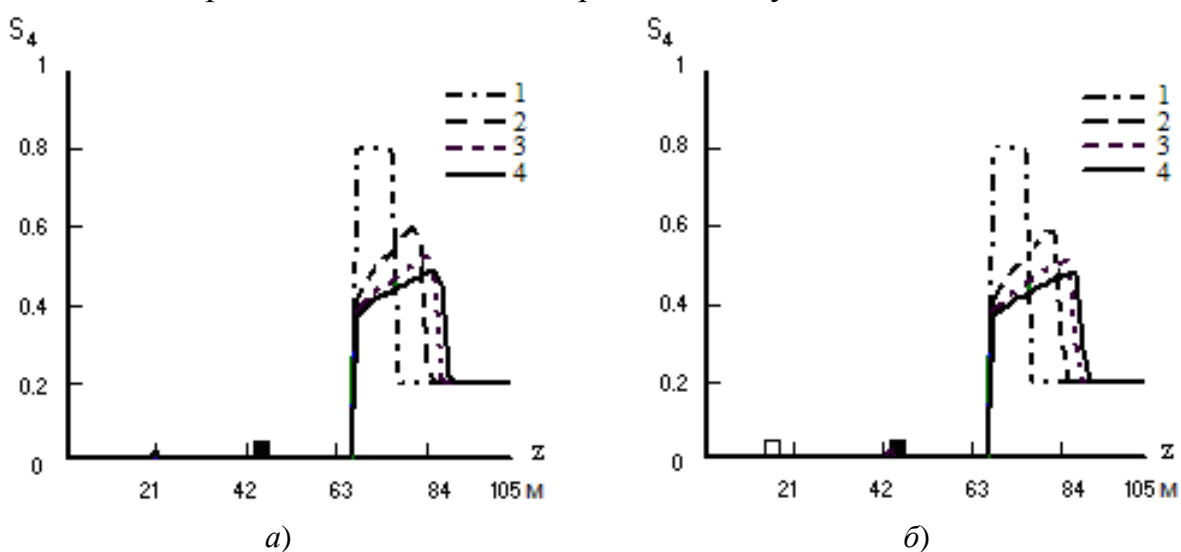


Рис. 2. Распределение конденсатонасыщенности: а) режим истощения, б) закачка под ВНК, □ - нагнетательный ряд, ■ - добывающий ряд, 1 - начальное, 2 - 10 лет, 3 - 20 лет, 4 - 30 лет эксплуатации.

При закачке газа в ГШ распределение нефтенасыщенности более равномерное, что свидетельствует о равномерном извлечении нефти из нефтяной оторочки, среднее давление в пласте поддерживается на более высоком уровне, нефтеотдача увеличивается на 5%. Таким образом, подтверждается факт положительного влияния закачки газа в ГШ, как на гидродинамику пласта, так и на технологические показатели.

В режиме закачки воды под ВНК и газа в ГШ происходит более равномерное вытеснение нефти. К концу периода эксплуатации из области, ниже добывающего ряда нефти извлекается больше, чем при режиме истощения. Наблюдается появление газа по всей области нефтяного пласта. Зона конденсатонасыщенности расширяется за счет зоны газовой шапки с понижением уровня концентрации конденсатонасыщенности. Падение давления более равномерное и в середине элемента пласта больше давления добывающего ряда в течение всего периода эксплуатации.

Этим подтверждается положительное влияние закачки воды и газа, на гидродинамические и технологические показатели.

В третьей главе диссертации под названием «**Численный анализ гидродинамических моделей кислотного воздействия на кальцидный коллектор нефтяного пласта**» приведены усовершенствованная гидродинамическая модель кислотной обработки, модифицированный численный алгоритм решения задачи и численное исследование процесса кислотной обработки кальцидного коллектора нефтяного пласта.

Общий вид химической реакции взаимодействия соляной кислоты с известняком имеет вид:



Хлористый кальций ($CaCl_2$) – хорошо растворимая в воде соль. Углекислый газ (CO_2) при пластовом давлении хорошо растворяется в воде.

Считается, что в процессе фильтрации в нефтеводонасыщенной пористой среде участвуют водная и нефтяная фаза, причем водная фаза состоит из кислотной, соляной ($CaCl_2$), водной компонент и нерастворимых частиц породы, образующихся в результате химической реакции. Углекислый газ полностью растворяется в воде и ввиду его малой концентрации в модели не учитывается. С учетом влияния нефти и температуры на процесс взаимодействия кислоты с породой, зависимости плотности и вязкости кислотного раствора от его компонентного состава система уравнений, описывающих процессы кислотной обработки кальцидного коллектора нефтяного пласта, может быть представлена в виде:

- Уравнение сохранения массы кислотной компоненты, внедряемой в пласт

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_A c_A S_w) + \nabla \cdot (\rho_A c_A V_w) = -J_A + \nabla \cdot (\rho_A Dm \nabla c_A S_w),$$

где $J_A = \begin{cases} 0 & , s_o > 0 \\ M_A a_v R_A & , s_o = 0 \end{cases}$ - масса кислоты, израсходованной в единицу

времени в единице объема, $R_A = E_f \left(\frac{c_A \rho_A}{M_A} \right)$ - скорость химической реакции,

$E_f = E_f^0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right)$ - константа скорости реакции определяется соотношением

Аррениуса (ΔE - энергия активации, R - газовая постоянная), V_w - скорость фильтрации водной фазы, m - пористость, ρ_A - истинная плотность кислоты, c_A - массовая концентрация кислоты, S_w - насыщенность порового пространства водой, D - коэффициент молекулярной диффузии, t - время, $a_v = s/v$ удельная поверхность реакции, s - площадь поверхности реакции, v - объем пласта, M_A - молекулярный вес кислоты;

- Уравнение сохранения массы растворенной в воде соли, образующейся в результате химической реакции

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_S c_S S_W) + \nabla \cdot (\rho_S c_S V_W) = J_S,$$

где $J_S = \gamma_S J_A$ - масса соли хлористого кальция, возникшей в результате реакции в единицу времени в единице объема, γ_S - количество переходящей в воду массы соли хлористого кальция при химической реакции на единицу массы кислоты, c_S - массовая концентрация соли хлористого кальция, ρ_S - плотность соли хлористого кальция.

- Уравнение сохранения массы водной компоненты, образующейся в результате химической реакции и внедряемой в пласт

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_W^0 c_w S_W) + \nabla \cdot (\rho_W^0 c_w V_W) = J_W^0,$$

где $J_W^0 = \gamma_W J_A$ - масса воды, возникающей в результате реакции в единицу времени в единице объема, γ_W - количество переходящей в воду массы при химической реакции на единицу массы кислоты, c_w - массовая концентрация воды, ρ_W^0 - плотность воды;

- Уравнение сохранения массы взвешенных частиц, образующихся в результате химической реакции

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_B c_B S_W) + \nabla \cdot (\rho_B c_B V_W) = J_B,$$

где c_B - массовая концентрация взвешенных частиц в воде; ρ_B - истинная плотность взвешенных частиц, $J_B = \gamma_B J_A$ - масса взвешенных частиц (взвеси), образованных в единицу времени в единице объема, γ_B - количество не переходящей в жидкость массы взвеси при химической реакции на единицу массы кислоты;

- Уравнение сохранения массы водной фазы

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_W S_W) + \nabla \cdot (\rho_W V_W) = J_W,$$

где $J_W = -J_A + J_S + J_W^0$, $\rho_W = c_A \rho_A + c_S \rho_S + c_w \rho_W^0 + c_B \rho_B$;

- Уравнение сохранения массы нефтяной фазы

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_o S_o) + \nabla \cdot (\rho_o V_o) = 0,$$

где S_o - насыщенность порового пространства нефтью, ρ_o - плотность нефти;

- Уравнение изменения пористости

$$\frac{\partial}{\partial t}((1 - m)\rho_M) = -J_M,$$

где $J_M = \gamma_M J_A$ - масса минерала, растворенного в единицу времени в единице объема, γ_M - количество растворенного минерала при химической реакции на единицу массы кислоты, ρ_M - истинная плотность породы.

Положение фронта кислоты определяется по уравнению

$$\frac{dx_F}{dt} = \gamma_M \frac{\rho_A}{\rho_M} V_{FA} c_{FA},$$

где V_{FA} и c_{FA} - скорость потока и концентрация кислоты на фронте кислоты.

Законы фильтрации водной и нефтяной фаз принимаются в виде

$$V_W = -\frac{Kk_W}{\mu_W} \nabla p, \quad V_O = -\frac{Kk_O}{\mu_O} \nabla p,$$

где K, k_W, k_O - абсолютная и относительные фазовые проницаемости воды и нефти, $\mu_W = c_A \mu_A + c_S \mu_S + c_B \mu_B + c_W \mu_W^0$ - вязкость водной фазы, $\mu_A, \mu_S, \mu_W^0, \mu_B$ - вязкости соответственно кислоты, соленной и чистой воды, взвеси, μ_O - вязкость нефтяной фазы, p - давление.

Для вычисления абсолютной проницаемости, следуя зависимостям Кольрауша и Козени-Кармана, используется следующая эмпирическая

$$\text{зависимость: } K = K_0 \left(\frac{m}{m_0} \right)^n.$$

Для описания изменения удельной поверхности реакции используется соотношение $a_v = a_0 \frac{(1-m)}{(1-m_0)}$, где a_0 - начальная удельная поверхность.

Уравнение изменения температуры имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} [((1-m)C_M \rho_M + mS_W (\rho_A c_A C_A + \rho_S c_S C_S + \rho_W^0 c_W C_W + \rho_B c_B C_B) + m\rho_O S_O) T] = \\ = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) - \nabla \cdot [T ((\rho_A c_A C_A + \rho_S c_S C_S + \rho_W^0 c_W C_W + \rho_B c_B C_B) V_W + \rho_O V_O)],$$

где C_M, C_A, C_S, C_W, C_B - удельная теплоемкость соответственно породы, кислоты, соленной и чистой воды, взвешенных частиц, $\lambda = (1-m)\lambda_M + mS_W (\lambda_A c_A + \lambda_S c_S + \lambda_W c_W + \lambda_B c_B) + mS_O \lambda_O$ - эффективный коэффициент теплопроводности, характеризующий молекулярный перенос тепла через скелет пористого тела и содержащихся в нем жидкость и взвешенные частицы, $\lambda_M, \lambda_A, \lambda_S, \lambda_W, \lambda_O, \lambda_B$ - коэффициент теплопроводности соответственно породы, кислоты, соленной и чистой воды, нефти и взвешенных частиц.

Добавляя соответствующие уравнения состояния, начальные и краевые условия, получаем замкнутую систему уравнений, описывающих физико-химические процессы, происходящие в нефтяном пласте при его кислотной обработке, с учетом химической кинетики.

Для решения задачи кислотной обработки кальцидного коллектора нефтяного пласта разработан численный алгоритм на основе метода «крупных частиц». Нестационарная система уравнений расщепляется по физическим процессам и в области

$$\Omega = \{(x, t) : 0 \leq x \leq L_1, \quad 0 \leq t \leq \tau\}$$

строится пространственно-временная эйлерова сетка

$$\Omega_{nj} = \{t_{n-1} = t_n - \Delta t, n = \overline{1, N_t}; x_{j-1} = x_j - \Delta x, j = \overline{1, N_x}\}.$$

Среду моделируем системой из жидких частиц, совпадающих в данный момент времени с ячейкой эйлеровой сетки. Расчет каждого временного шага разбивается на три этапа:

I этап - пренебрегая эффектами, связанными с перемещением элементарной ячейки, аппроксимируются уравнения в момент времени t_n

$$\begin{aligned} (m\rho_A c_A S_W)_j &= (m\rho_A c_A S_W)_j^n + \Delta t (J_A)_j^n + \\ &+ \Delta t D \frac{(m\rho_A)_{j-1/2}^n (c_A S_W)_{j-1}^n - [(m\rho_A)_{j-1/2}^n + (m\rho_A)_{j+1/2}^n] (c_A S_W)_j^n + (m\rho_A)_{j+1/2}^n (c_A S_W)_{j+1}^n}{\Delta x}, \\ (m\rho_\beta c_\beta S_W)_j &= (m\rho_\beta c_\beta S_W)_j^n + \Delta t (J_\beta)_j^n, \beta = \{S, W, B\}, \\ (m\rho_\alpha S_\alpha)_j &= (m\rho_\alpha S_\alpha)_j^n + \Delta t (J_\alpha)_j^n, \alpha = \{W, O\}, \tilde{T}_j = \{(\rho C)_j^n T_j^n + \Delta t [(A^h T)_j^n]\} / (\rho C)_j^n, \\ (A^h T)_j &= \frac{\lambda_{j-1/2}^n T_{j-1}^n - (\lambda_{j-1/2}^n + \lambda_{j+1/2}^n) \Gamma_j^n + \lambda_{j+1/2}^n T_{j+1}^n}{\Delta x^2}, (m\rho_M)_j = (m\rho_M)_j^n + \Delta t (J_M)_j^n, \\ (K)_j &= K_0 \left[\frac{(m)_j}{m_0} \right]^n, (x_F)_j = (x_F)_j^n + \Delta t \left(\gamma_M \frac{\rho_A V_{FA} c_{FA}}{\rho_M} \right)_j, \\ \tilde{\alpha}_{j-1/2} \tilde{p}_{j-1} - (\tilde{\alpha}_{j-1/2} + \tilde{\alpha}_{j+1/2}) \tilde{p}_j + \tilde{\alpha}_{j+1/2} \tilde{p}_{j+1} &= -\tilde{F}_j, \\ \tilde{\alpha}_{j-1/2} &= \left(\frac{\rho_W K k_W}{\mu_W} + \frac{\rho_O K k_O}{\mu_O} \right)_{j-1/2}, \tilde{F}_j = -(\rho_W S_W + \rho_O S_O)_j (m_j - m_j^n) \Delta x^2 / \Delta t, \\ (V_W)_j &= - \left(\frac{K k_W}{\mu_W} \right)_o \frac{\tilde{p}_{ij+1/2} - \tilde{p}_{ij-1/2}}{\Delta x}, (V_O)_j = - \left(\frac{K k_O}{\mu_O} \right)_o \frac{\tilde{p}_{ij+1/2} - \tilde{p}_{ij-1/2}}{\Delta x}; \end{aligned}$$

II этап - вычисляется перенос массы и энергии каждой фазы и компоненты через границы ячеек. Поток фаз через границы ячеек рассчитываются по формулам

$$\begin{aligned} \Delta(M c_\beta)_{j+1/2} &= \begin{cases} (\rho_\beta c_\beta)_j (V_W)_{j+1/2} \Delta t, & (V_W)_{j+1/2} > 0 \\ (\rho_\beta c_\beta)_{j+1} (V_W)_{j+1/2} \Delta t, & (V_W)_{j+1/2} < 0 \end{cases}, \\ \Delta(M_\alpha)_{j+1/2} &= \begin{cases} (\rho_\alpha)_j (V_\alpha)_{j+1/2} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2} > 0 \\ (\rho_\alpha)_{j+1} (V_\alpha)_{j+1/2} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2} < 0 \end{cases}, \\ \Delta(M C_\alpha T)_{j+1/2} &= \begin{cases} ((\rho C)_\alpha T)_j (V_\alpha)_{j+1/2} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2} > 0 \\ ((\rho C)_\alpha T)_{j+1} (V_\alpha)_{j+1/2} \Delta t, & (V_\alpha)_{j+1/2} < 0 \end{cases}; \\ \alpha &= \{W, O\}, \beta = \{A, W, S, B\}; \end{aligned}$$

III этап - на основе законов сохранения находятся значения параметров фаз и их компонент на новом временном слое

$$\begin{aligned}
(m\rho_\beta c_\beta S_W)_j^{n+1} &= (m\rho_\beta c_\beta S_W)_j^{\sim} + \frac{1}{\Delta x} [\Delta(Mc_\beta)_{j-1/2} - \Delta(Mc_\beta)_{j+1/2}], \\
(m\rho_\alpha S_\alpha)_j^{n+1} &= (m\rho_\alpha S_\alpha)_j^{\sim} + \frac{1}{\Delta x} [\Delta(M_\alpha)_{j-1/2} - \Delta(M_\alpha)_{j+1/2}], \\
\alpha &= \{W, O\}, \beta = \{A, W, S, B\}, \\
T_{ij}^{n+1} &= \left\{ (\tilde{\rho}\tilde{c})_j \tilde{T}_j + \frac{1}{\Delta x} [\Delta(MC_W T)_{j-1/2} - \Delta(MC_W T)_{j+1/2} + \right. \\
&\quad \left. \Delta(MC_O T)_{j-1/2} - \Delta(MC_O T)_{j+1/2}] \right\}, (m\rho_M)_j^{n+1} = (m\rho_M)_j^{\sim} + \Delta t (J_M)_j^{n+1}, \\
(x_F)_j^{n+1} &= (x_F)_j^{\sim} + \Delta t \left(\gamma_M \frac{\rho_A}{\rho_M} V_{FA} c_{FA} \right)_j^{n+1}.
\end{aligned}$$

Доказана следующая теорема.

Теорема. Разностная схема устойчива при выполнении условий

$$\begin{aligned}
\frac{\Delta x}{2} |V| - \frac{\Delta x^2}{4} V_x + \Delta t \left[\left(\frac{\Delta x}{2} |V| - \frac{\Delta x^2}{4} V_x \right) J_\rho - \frac{1}{2} (V + \rho V_\rho)^2 \right] &> 0, \\
\frac{\Delta x}{2} |V| - \frac{\Delta x^2}{4} V_x - \frac{\Delta t \lambda}{\rho c} V_x - \frac{\Delta t}{2} \left[- [V + (\rho c T) V_{\rho c T}]^2 \left[1 + \frac{1}{(\rho c)_x} \right] \right] &> 0.
\end{aligned}$$

С целью изучения влияния нефти на процесс кислотной обработки нефтяного пласта проведены вычислительные эксперименты по закачке раствора соляной кислоты в коллектор без нефти и с нефтью.

Выявлено, что увеличение абсолютной проницаемости при закачке раствора кислоты в коллектор с нефтью существенно ниже, чем при закачке раствора кислоты в коллектор без нефти, как по величине, так и по простиранию (Рис. 3,а). Аналогичные процессы происходят и с пористостью (Рис. 3,б). При одном и том же темпе нагнетания раствора кислоты давление при закачке холодного раствора кислоты в коллектор с нефтью выше, чем при закачке холодного раствора кислоты в коллектор без нефти.

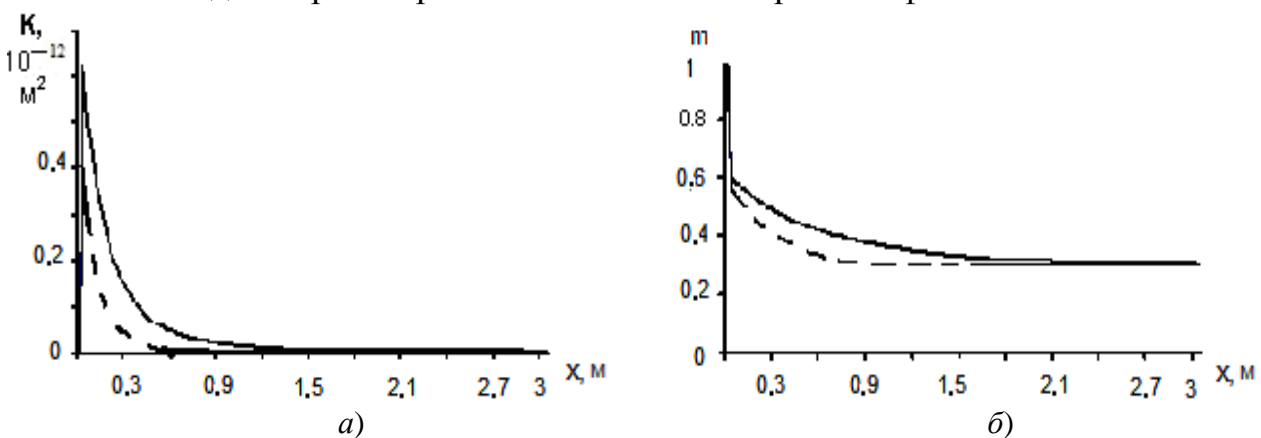


Рис 3. Изменение: а) проницаемости, б) пористости при закачке кислоты в коллектор: — без нефти, - - с нефтью.

С целью изучения влияния температуры на процесс освобождения породы от нефти, экранирующей ее от кислоты, были проведены

вычислительные эксперименты по прокачке горячей воды объемом 3/4 от объема пор с последующей закачкой раствора кислоты. Выявлено, что за счет увеличения температуры при прокачке горячей воды происходит интенсивное (практически поршневое) вытеснение нефти (Рис.4,а) и на 24-е сутки от нефти освобождается 3/4 объема пор и затем начинается закачка раствора кислоты, при этом температура быстро снижается до начальной. При закачке раствора кислоты без предварительной тепловой обработки давление превышает более чем в 2 раза давления, наблюдаемого при закачке горячей воды. Существенное увеличение абсолютной проницаемости (Рис.4,б) при прокачке горячей воды объемом 3/4 от объема пор с последующей закачкой раствора кислоты связано с освобождением породы от нефти и увеличением пористости пласта. Из-за наличия нефти при закачке раствора без предварительной тепловой обработки, кислота, не реагируя с породой, быстро продвигается, взаимодействие кислоты с породой охватывает лишь небольшую зону вокруг скважины с относительно низкой нефтенасыщенностью.

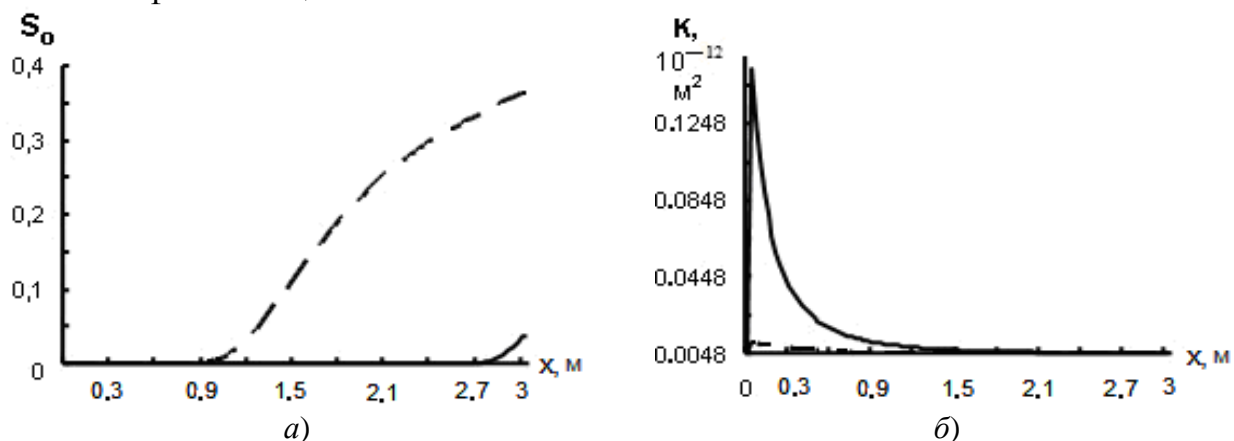


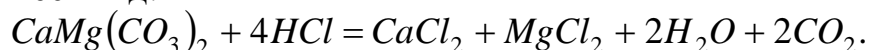
Рис. 4. Распределение нефтенасыщенности а), абсолютной проницаемости б) при: — прокачке горячей воды 3/4 объема пор с последующей закачкой раствора кислоты, — — закачке раствора кислоты без предварительной тепловой обработки; $t=60$ сут.

При прокачке горячей воды с последующей закачкой раствора кислоты область взаимодействия породы с кислотой охватывает всю зону. При этом фронт кислоты достигает границы зоны лишь в конце периода закачки, а поступающая кислота практически вся используется для растворения породы.

Таким образом, полученные результаты показывают, что сочетание тепловой и кислотной обработки является более эффективным для увеличения фильтрационных характеристик нефтяного пласта.

В четвертой главе диссертации под названием «**Численный анализ гидродинамических моделей кислотного воздействия на доломитовый коллектор нефтяного пласта**» приведены усовершенствованная гидродинамическая модель кислотной обработки, модифицированный численный алгоритм решения задачи и численное исследование процесса кислотной обработки доломитового коллектора нефтяного пласта.

Общий вид химической реакции взаимодействия соляной кислоты с доломитом имеет вид:



Система уравнений, представленная в третьей главе, дополняется уравнением сохранения массы соли хлористого магния, образующейся в результате химической реакции

$$\frac{\partial}{\partial t}(m\rho_{SM}c_{SM}S_w) + \nabla \cdot (\rho_{SM}c_{SM}V_w) = J_s, \quad J_{SM} = \gamma_{SM}J_A.$$

Вводятся соответствующие изменения в уравнения для плотности и вязкости раствора и уравнения сохранения энергии.

Для решения задачи кислотной обработки доломитового коллектора нефтяного пласта разработан численный алгоритм на основе метода «крупных частиц».

Проведено исследование влияния концентрации кислоты в нагнетаемом растворе, скорости химической реакции и темпа нагнетания раствора кислоты на основные характеристики призабойной зоны пласта (ПЗП). В частности, рассматривается добывающая скважина нефтяного пласта, сложенного из доломитовых пород, остановленная из-за низкого дебита, возникшего в результате засорения ПЗП вследствие коагуляции минеральными частицами, принесенными жидкостью из удаленных зон пласта. Пористость ПЗП неоднородна по пространству. Ее распределение имеет вид

$$m = m_0 e^{(x-l)/3},$$

где m, m_0 - текущая и на границе ПЗП пористости, x - текущая координата, l - длина пласта.

Выявлено, что применение кислоты с низкой концентрацией приводит к снижению интенсивности реагирования породы с кислотой и, как следствие, - снижению изменения пористости и проницаемости, вызывает необходимость закачивать в пласт больше воды, в результате чего может осложниться процесс освоения скважины после кислотной обработки. Применение кислоты с высокой концентрацией приводит как к положительным эффектам - увеличению изменения пористости и проницаемости, уменьшению давления за счет более быстрого продвижения кислоты, так и отрицательным - образованию в пористой среде насыщенных высоковязких растворов хлористого кальция и хлористого магния, трудно извлекаемых из пласта.

Применение кислоты с замедлителями, которые уменьшают скорость химической реакции, приводит к снижению интенсивности реагирования породы с кислотой и, как следствие, - снижению изменения пористости и проницаемости, прорыву кислоты за границу ПЗП, уменьшению концентраций солей хлористого кальция, хлористого магния и давления в ПЗП.

Увеличение темпа нагнетания раствора кислоты приводит к увеличению пористости и проницаемости во всей ПЗП, увеличению давления на забое, прорыву кислоты за пределы ПЗП.

Таким образом, увеличение значений исследуемых параметров приводит как к положительным, так и к отрицательным эффектам. Поэтому для оптимизации процесса кислотного воздействия необходим тщательный выбор этих параметров.

В пятой главе диссертации под названием «**Численный анализ гидродинамических моделей кислотного воздействия на карбонатный коллектор нефтяного пласта с учетом кольтматации породы**» приведены усовершенствованная гидродинамическая модель кислотной обработки, модифицированный численный алгоритм решения задачи и численное исследование процесса кислотной обработки карбонатного коллектора нефтяного пласта с учетом кольтматации породы.

Для вычисления абсолютной проницаемости используется следующая эмпирическая зависимость:

$$K = K_0 \left(\frac{m}{m_0} \right)^n \exp(-a\sigma^\omega),$$

$$\text{где } \sigma = \sigma_G + \sigma_B, \sigma_B = \begin{cases} \int_0^t \chi_B V_W c_B dt & , x \leq x_F \\ 0 & , x > x_F \end{cases}, \sigma_G = \begin{cases} \int_0^t \chi_G V_W c_G dt & , x \leq x_F \\ 0 & , x > x_F \end{cases}, n,$$

$a, \omega, \chi_G, \chi_B$ - константы, определяемые по экспериментальным данным.

Для образующегося осадка балансовое уравнение имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} (m\rho_B c_B S_W) + \nabla \cdot (\rho_B c_B V_W) = J_B,$$

$$J_B = \gamma_B J_A - \rho_B \frac{\partial \sigma_B}{\partial t},$$

$$\frac{\partial \sigma_B}{\partial t} = \chi_B V_W c_B.$$

Для образующегося газа балансовое уравнение имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} (m\rho_G c_G S_W) + \nabla \cdot (\rho_G c_G V_W) = J_G,$$

$$J_G = \gamma_G J_A - \rho_G \frac{\partial \sigma_G}{\partial t},$$

$$\frac{\partial \sigma_G}{\partial t} = \chi_G V_W c_G.$$

Остальные уравнения аналогичны приведенным в четвертой главе.

Для решения задачи кислотной обработки карбонатного коллектора нефтяного пласта с учетом кольтматации породы разработан численный алгоритм на основе метода «крупных частиц».

С целью изучения влияния осаждения в устьях пор (кольтматации) твердых частиц, образующихся с растворением цементирующего материала и пузырьков газа, образующихся в результате химической реакции кислоты с породой на процесс кислотной обработки, проведены вычислительные эксперименты по закачке холодного раствора соляной кислоты в коллектор без нефти.

Выявлено, что осаждение частиц породы и забивание пор пузырьками газа оказывают существенное влияние на изменение абсолютной

проницаемости (Рис.5,*а*) и пористости (Рис.5,*б*), как по величине, так и по простираню.

Если вблизи скважины оно практически не ощущается, то по мере продвижения фронта кислоты по пласту возрастает. Осаждение частиц породы и забивание пор пузырьками газа приводит к снижению скорости продвижения фронта кислоты. Ухудшение фильтрационных характеристик за счет забивания пор частицами породы и пузырьками газа приводит к увеличению фильтрационного сопротивления среды, что в условиях рассматриваемого режима закачки приводит к увеличению давления.

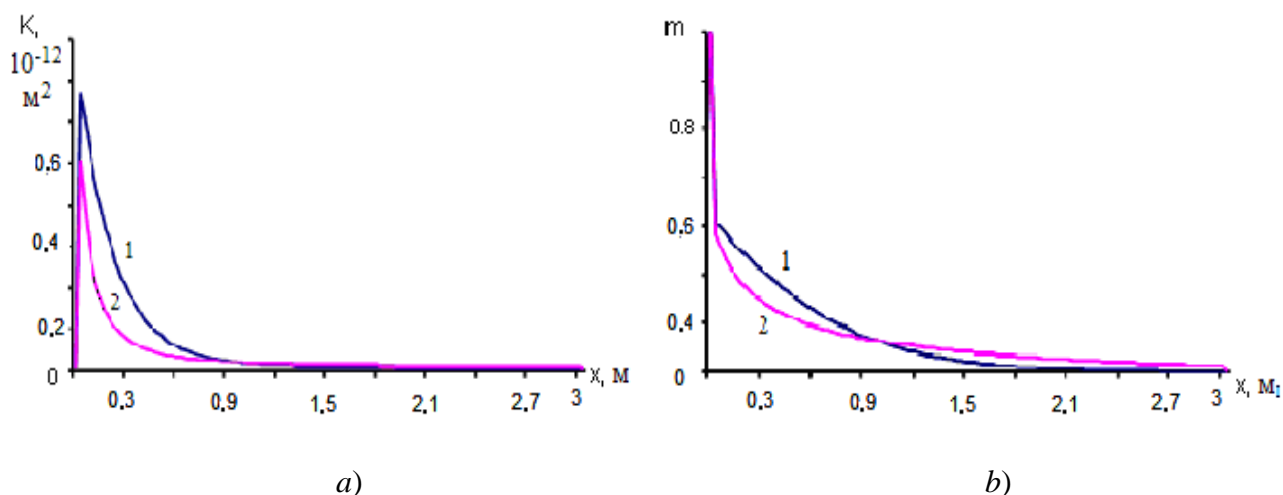


Рис. 5. Распределение проницаемости (*а*), пористости (*б*) при закачке холодного раствора кислоты; 1 – без учета кольтматации породы, 2 – с учетом кольтматации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе на тему «Численный анализ гидродинамических моделей фильтрации многофазных многокомпонентных жидкостей в пористых средах», сводятся к следующим выводам:

1. Разработана гидродинамическая модель фильтрации нефтегазоконденсатной смеси в пористой среде, учитывающая наличие конденсатной фазы.

2. Разработаны модифицированные численные методы реализации гидродинамических моделей фильтрации нефтегазоконденсатной смеси в пористой среде.

3. Проведены вычислительные эксперименты для различных режимов эксплуатации нефтегазоконденсатной залежи, включая закачку воды под ВНК, закачку воды под ВНК и выше ГЖК, закачку газа в ГШ, одновременную закачку воды под ВНК и газа в ГШ. Выявлено, что закачка воды под ВНК и газа в ГШ позволяет извлечь нефть из областей, остающихся не охваченными воздействием в режиме истощения, распределение нефтенасыщенности более равномерное, что свидетельствует о равномерном извлечении нефти из нефтяной оторочки, среднее давление в пласте поддерживается на более высоком уровне, нефтеотдача увеличивается на 5%. Однако при применении

этого режима необходимо постоянно контролировать процесс, так как при прорыве воды и газа к эксплуатационным скважинам эффективность закачки падает. Поэтому при разработке месторождений с использованием закачки воды и газа необходимо регулирование темпов нагнетания.

4. Разработан комплекс математических моделей кислотной обработки карбонатного коллектора нефтяного пласта, основанных на химической кинетике с учетом различных типов коллекторов.

5. Разработаны численные алгоритмы реализации этих моделей, основанные на методе «крупных частиц».

6. Проведены вычислительные эксперименты по кислотной обработке нефтяного пласта для различных типов коллекторов. Выявлено, что сочетание тепловой и кислотной обработки является наиболее эффективным для увеличения фильтрационных характеристик нефтяного пласта, осаждение частиц породы и забивание пор пузырьками газа оказывают существенное влияние на изменение абсолютной проницаемости и пористости, как по величине, так и по простирацию.

Составленные математическое, программное обеспечение и технологии обеспечивают возможность принятия управленческих решений по разработке и проектированию нефтегазовых месторождений при различных условиях воздействия на продуктивный пласт и принятия конкретных практических рекомендаций в зависимости от геолого-физических свойств пласта и гидродинамических условий их эксплуатации.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc. 30.08.2018.FM/T.02.09 AT SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

BURNASHEV VLADIMIR FIDRATOVICH

**NUMERICAL ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC FILTRATION MODELS
OF MULTIPHASE MULTICOMPONENT LIQUIDS IN POROUS MEDIA**

01.02.05 – Fluid and gas mechanics

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Samarkand – 2019

The subject of doctor of sciences (DSc) dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, number B2018.4.DSc/FM127.

The dissertation has been prepared the Samarkand State University.

The abstract of the dissertation is three languages (uzbek, russian, english (resume)) is posted on the website Scientific Council (www.samdu.uz) and the "Ziyonet" Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant: **Khuzhayorov Bakhtiyor**
Doctor of physical and mathematical sciences, professor

Official opponents: **Normurodov Chori Begaliyevich**
Doctor of physical and mathematical sciences

Ravshanov Normahmad
Doctor of technical sciences, professor

Khudaykulov Savet Ishankulovich
Doctor of technical sciences


Leading organization: **Mechanics and seismic resistance of buildings of the Academy of Sciences of Uzbekistan**


Defense will take place « 17 » may 2019 at 14⁰⁰ at the meeting of Scientific Council number DSc. 30.08.2018.FM/T.02.09 Samarkand State University. (Address: University str. 15, Samarkand, 140104, Uzbekistan, tel.: (+99866) 239-11-40, 239-12-47, fax: (+99866) 239-11-40, e-mail: devonxona@samdu.uz).


Dissertation is possible to review in Information-resource centre at Samarkand State University (is registered № 2) (Address: University str. 15, Samarkand, 140104, Uzbekistan, tel: (+99866) 239-17-25).

Abstract of dissertation sent out on « 3 » may 2019 year
(Mailing report № 4 on « 3 » may 2019 year)




R.I. Khalmuradov
Chairman of scientific council
on award of scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor


A. Abdirashidov
Scientific secretary of scientific council
on award of scientific degrees, doctor of physical and
mathematical sciences, docent


J. Akilov
Vice-chairman of scientific Seminar under scientific
council on award of scientific degrees,
doctor of physical and mathematical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of the DSc dissertation)

The aim of research is to develop improved hydrodynamic models for oil and gas condensate mixture filtration in a porous medium, taking into account the phase transition of condensate, acid effects on the calcidic and dolomite collectors of the oil reservoir, taking into account the chemical reaction, acid treatment of the carbonate rocks of oil reservoirs, taking into account the colmatation of rock.

The object of research is the processes of physico-chemical action on oil and oil, gas, condensate reservoirs with the aim of increasing oil recovery.

The subject of research mathematical modeling of filtration processes of multiphase multicomponent media in porous media.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

on the basis of the theory of liquid and gas motion, a mathematical model of the process of filtering an oil and gas condensate mixture and a computational algorithm for solving the corresponding problem based on the "large particles" method have been improved;

using a physico-chemical approach, a mathematical model of acid effects on the calcid reservoir of the oil reservoir and a computational algorithm for solving the problem based on the method of "large particles" have been developed;

a mathematical model of the acid impact on the dolomite reservoir of the oil reservoir and a computational algorithm for solving the problem based on the method of "large particles" were compiled;

created a mathematical model of acid exposure to the carbonate reservoir of the oil reservoir taking into account colmatage of media and a computational algorithm for solving the problem based on the method of "large particles";

based on numerical numerical models, calculation methods and program complex with a graphical interface have been developed that allow multivariate calculations using personal computers of average power.

Implementation of research results.

On the bases of the developed mathematical models, computational methods, algorithms and software for the numerical analysis of hydrodynamic models of multiphase multicomponent liquids in porous media:

it is concluded that the improved mathematical models of filtering oil and gas condensate mixtures and acid effects on the carbonate reservoir of the oil reservoir, developed computational algorithms for solving relevant problems based on the large particles method and the program used in the research of the fundamental grant number BV-M-FA-001 "Mathematical models and effective distributed computational algorithms for solving multidimensional problems of complex heat and mass transfer" during the improvement of models and the development of algorithmic methods for solving problems of complex multidimensional problems of heat and mass transfer (Ministry of Higher and Secondary Special Education, reference No. 89-03-4213 of December 5, 2018). The application of these scientific results allowed to improve the mathematical models of complex multidimensional problems of heat and mass transfer and conduct computational experiments;

a patent was obtained for the invention “Method for acid treatment of the bottomhole zone of an oil reservoir” (No. IAP 05492, Registered in the state register of inventions of the Republic of Uzbekistan, in Tashkent on 10/20/2017). The method of acid treatment of the bottomhole zone of oil reservoirs, including pre-cleaning of the bottomhole collector from asphalt-resin-paraffin deposits, characterized in that pre-cleaning is carried out by injection into the well of hot water with a temperature exceeding the temperature of the reservoir with a volume of 3/4 of the bottom-hole pore volume, followed by injection of acid solution allowed to increase the efficiency of acid treatment;

the results of studies on the acid treatment of the bottomhole formation zone were used at the facilities of JSC “Uzneftegazdobycha” for the conditions of the North Urtabulak (well # 3), South Kemachi (well # 118), Shurtepa (well # 102) and Sarikum (well # 22) fields, Shurtan (well # 11), Southern Tandyrcha (well # 6) and others (Uzbekneftegaz JSC, certificate No. 02 / 14-2-478 of April 18, 2018). The use of the proposed methods helps to optimize the plan of geological and technical measures for acid effects at the wells and due to a more accurate prediction of hydrochloric acid treatment, it made possible to increase the flow rate of oil and gas from producing wells;

advanced mathematical models for filtering oil and gas condensate mixtures have been used in leading international scientific journals to simulate the condensation of organic compounds in porous media (Chemical Engineering Science. 59 (2004), IF=1.04), to simulate relative permeability without using experimental results (Journal Pet. Sci. and Eng. 61 (2008), IF=0.78), derivation of the energy equation for the flow of waxy oil and gas in pipelines (Journal Pet. Sci. and Eng. 101 (2013), IF=0.78). The application of scientific results made it possible to improve the mathematical models of the above processes and develop methods for their solution.

Publication of research results. On the topic of the thesis 49 scientific papers were published. Of these, 2 monographs, 1 patent, 14 scientific articles, 2 in foreign, 12 in national journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of doctoral theses, 6 certificates of registration of software for computers were also received.

Structure and volume of the dissertation. The thesis, whose volume is 185 pages, consists of the introduction, five chapters, conclusion, list of references, applications.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; Part I)

1. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Способ кислотной обработки призабойной зоны нефтяных пластов. Патент на изобретение IAP 05492 Агенства по интеллектуальной собственности РУз. Дата регистрации 12.06.2015. Номер заявки IAP 2015 0232.
2. Ирматов Э.К., Хужаёров Б.Х., Агзамов А.А., Бурнашев В.Ф. Динамика фильтрационно-емкостных свойств призабойных зон скважин. -Т: «Fan va texnologiya», Монография, 2015. - 364 с.
3. Ирматов Э.К., Абдуллаев Г.С., Акзамов А.Х., Хужаёров Б.Х., Бурнашев В.Ф. Кислотное воздействие на горные породы. – Т.: «Fan va texnologiya», Монография, 2017. - 320 с.
4. Абуталиев Ф.Б., Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование термокислотной обработки прискваженной зоны // ДАН РУз. – 2011. - №4. - С.34-37. (01.00.00. №7).
5. Бурнашев В.Ф. Модель термокислотной обработки доломитового коллектора призабойной зоны нефтяного пласта с учетом кольтматации породы //Узбекский журнал «Проблемы механики». - 2013. - № 2. - С.19-23. (01.00.00. №4).
6. Ирматов Э.К., Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Влияние кольтматации на соляно - кислотную обработку призабойной корбонатного пласта // Узбекский журнал «Нефть и газ». 2014. -№ 4. С. 20-23. (02.00.00. №7).
7. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х., Ирматов Э.К. О влиянии температуры на соляно-кислотную обработку призабойной зоны пласта корбонатного нефтяного коллектора // Узбекский журнал «Нефть и газ». 2014. № 3. С. 63-68. (02.00.00. №7).
8. Burnahev V.F., Khuzoyorov B.Kh. Modeling the Acid Treatment of the Dolomitic Collector of an Oil Formation Bottom-Hole Zone with Account of Rock Colmatation //Fluid Dynamics, 2015, Vol. 50, No. 1. pp. 71–78. – (№11 – Springer, Impact Factor IF=0,608).
9. Burnahev V.F., Khuzhayorov B.Kh., Irmatov E.K. Thermal Acid Treatment of the Near-Well Zone of the oil Pool // Journal of Engineering Physics and Thermophysics: Volume 88, Issue 3 (2015), Page 610-620. – (01.00.00. №7).
10. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование воздействия на нефтяной пласт растворами полимеров с учетом дисперсного состояния жидкостей // Проблемы вычислительной и прикладной математики. - 2016. - № 2. - С.10-18. (01.00.00. №9).
11. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование кислотного воздействия на ПЗП газовых месторождений с карбонатными коллекторами с учетом трещиноватости породы // Проблемы вычислительной и прикладной математики. - 2017. - № 3. - С.22-29. (01.00.00. №9).

12. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х., Юлдашев Т.Р. Моделирование процессов заводнения нефтяных пластов с применением растворов ПАВ // Узбекский журнал «Нефть и газ». 2016. - № 4. С. 72-75. (02.00.00. №7).
13. Ирматов Э.К., Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Моделирование процессов кислотной обработки карбонатного коллектора призабойной зоны нефтяного пласта // Узбекский журнал «Нефть и газ». 2017. - № 4. С 24-25. (02.00.00. №7).
14. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование кислотного воздействия на призабойную зону пласта нефтяных месторождений с карбонатными трещиновато-пористыми коллекторами // Узбекский журнал «Проблемы механики». - 2018. - № 2. - С.32-38. (01.00.00. №4).

II бўлим (II часть; Part II)

15. Абуталиев Ф.Б., Ербеков Я.Е., Бурнашев В.Ф. О некоторых особенностях нестационарной неизотермической фильтрации в многослойных пластах // Док. АН РУз. - 1994. - N 4. - С.15-16.
16. Абуталиев Ф.Б., Бурнашев В.Ф. Модифицированный метод "крупных частиц" для нестационарной неизотермической многофазной многокомпонентной фильтрации с фазовыми переходами // Док. АН РУз. - 1996. - № 12. - С.22-25.
17. Абуталиев Ф.Б., Бурнашев В.Ф. Исследование устойчивости численных схем метода крупных частиц для нестационарной неизотермической многофазной фильтрации (ННМФ) // Док. АН РУз. - 1997. - № 1. - С.19-25.
18. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование гидротермодинамических процессов в нефтегазоконденсатном пласте // Док. АН РУз. - 1998. - № 1. - С.19-21.
19. Бурнашев В.Ф. Модифицированный метод "крупных частиц" для расчета фильтрации нефтегазоконденсатной смеси // Док. АН РУз. - 2000. - № 5. С. 24-26.
20. Burnashev V.F., Khuzhayorov B.Kh. Modelling the multiphase flow of an oil-gas-condensate system in porous median // Journal of Petroleum Science and Engineering. 29.2001. p.67-82.
21. Бурнашев В.Ф. Математическое моделирование нестационарного неизотермического течения многофазной многокомпонентной смеси в скважине // Док. АН РУз. - 2002. - С. 29-31.
22. Бурнашев В.Ф. Модифицированный метод "крупных частиц" для расчета нестационарного неизотермического течения многофазной многокомпонентной смеси в системе скважина-пласт // Док. АН РУз. - 2002. - С. 21-24.
23. Бурнашев В.Ф. Математическое моделирование нестационарного неизотермического течения многофазной многокомпонентной смеси в системе скважина-пласт // ДАН АН РУз. - 2007. - № 4. - С.45-47.
24. Абуталиев Ф.Б., Ербеков Я.Е., Бурнашев В.Ф. Об одном подходе к численному моделированию нестационарной неизотермической

- многофазной фильтрации // Тез. док. респуб. конф. "Механика многофазных сред, теплообмен и распространение волн в сплошных средах". 26-27 апреля 1994, Ташкент. 1994. - С.3.
25. Абуталиев Ф.Б., Бурнашев В.Ф. Оптимизация процессов нестационарной неизотермической фильтрации // Тез. докл. международной конференции "Математическое моделирование и вычислительный эксперимент". 28-30 ноября 1994, Ташкент. 1994. - С.14.
26. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Об одном подходе к моделированию сложных систем // Тез. докл. международной конференции "Математическое моделирование и вычислительный эксперимент". 28-30 ноября 1994, Ташкент. 1994. - С. 64.
27. Абуталиев Ф.Б., Бурнашев В.Ф. Математическая модель линейной нестационарной неизотермической многофазной многокомпонентной фильтрации // Тез. док. конф. "Проблемы информатики и управления, перспективы их решения" НПО "Кибернетика" АН Руз. 18.04.96, Ташкент. 1996. С. 78-79.
28. Бурнашев В.Ф., Джафаров К.М. Зайналов Н.Р. Графический анализ вычислительного эксперимента // Тез. док. конф. "Проблемы информатики и управления. Перспективы их решения". НПО "Кибернетика" АН РУз. 18.04.96, Ташкент. 1996. - С.6.
29. Burnahev V.F., Khuzoyorov B.Kh. On dynamics of Perturbations at the Filtration of Oilgascondensate Mixtures // Waves in two-phase flows. Euromuh Colloquium 376. April 27-30 1998. Istanbul.
30. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Об одном подходе к моделированию фильтрации нефте-газо-конденсатной смеси // Материалы VI Казахстанско - Российской международной научно - практической конференции. 12 – 13 октября 2007, Астана. 2007. – С.20-28.
31. Бурнашев В.Ф. Об одном подходе к моделированию фильтрации многофазных многокомпонентных систем // Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики». 28-29 июня 2007, Самарканд. 2007. - С.24-26.
32. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Исследование гидродинамических процессов, происходящих в нефтегазоконденсатном пласте при заводнении // Материалы международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании». 10-14.09.2008, Алматы. 2008 - С.298-304.
33. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Исследование гидродинамических процессов, происходящих в нефте-газо-конденсатном пласте, при закачке газа в газовую шапку и воды под водонефтяной контакт // Материалы Международной науч.-тех. Конф. «Современные проблемы механики», 23-24.10.2009, Ташкент. 2009. - С.67-72.
34. Burnahev V.F., Khuzoyorov B.Kh. Mathematical modeling filtration processes oil reservoirs with horizontal wells // Of the third congress of the world mathematical society of Turkic countries June 30 – July 4, 2009. p.136.

35. Бурнашев В.Ф. Численное моделирование процессов многофазной фильтрации в нефтяном пласте с горизонтальными скважинами // Материалы Международной науч.-тех. Конф. «Современные проблемы механики», 23-24.10.2009, Ташкент. 2009. - С.62-66.
36. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование термокислотной обработки прискваженной зоны // Труды научной конференции «Проблемы современной математики», 22-23.04.2011, Карши. 2011.- С.359-362.
37. Бурнашев В.Ф. Об одном подходе к моделированию термокислотной обработки прискваженной зоны нефтяного пласта // Республиканская научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы развития информационных технологий». Институт математики и информационных технологий АН РУз. . 5 – 6 сентября 2011, Ташкент. 2011. - С.60-64.
38. Бурнашев В.Ф. Математическая модель термокислотной обработки прискваженной зоны нефтяного пласта с учетом осадкообразования // Труды международной научной конф. «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хорезми 2012», 19-22.12.2012, Ташкент. 2012. Т. I. - С.201-205.
39. Бурнашев В.Ф. О некоторых особенностях взаимодействия кислоты с карбонатными коллекторами // Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики грунтов и сложных реологических систем», 19-20.04.2013, Самарканд. 2013. Книга 2.- С.41-45.
40. Бурнашев В.Ф., Рахимов М. Математическое моделирование полимерного воздействия на нефтяной пласт // «Математика ва уни замонавий педагогик технологиялар ёрдамида ўқитиш муаммолари» Республика илмий амалий конференцияси материаллари. 2015 йил 25 апрель. Навоий, 2015. - С.121-123.
41. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х., Шодмонкулов М.Т. Математическое моделирование воздействия ПАВ на межскважинную зону нефтяного пласта // Международный Научный Институт "Education", Ежемесячный научный журнал № 4 (11) / 2015. - С.9-12.
42. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование кислотного воздействия на ПЗП газовых месторождений с карбонатными коллекторами с учетом трещиноватости породы // Труды международной научной конф. «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – аль-Хорезми 2016». 9–10 нояб. 2016 г. Т. 2 Бухоро. 2016. – С.160-164.
43. Бурнашев В. Ф. Численное исследование процесса кислотной обработки карбонатного коллектора нефтяного пласта с учетом кольматации породы // Сборник докладов республиканской научно-практической конференции «Механика деформируемого твердого тела». 25 октябрь 2018. Ташкент. 2018. - С. 389-396.

44. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б. Х. Расчет технологических показателей нефтяных и нефтегазовых месторождений // Свидетельство DGU 03184 Агентства по интеллектуальной собственности РУз. Дата регистрации 11.06.2015. Номер заявки DGU 2015 0672.
45. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б. Х. Расчет показателей заводнения нефтяных пластов растворами ПАВ // Свидетельство DGU 03467 Агентства по интеллектуальной собственности РУз. Дата регистрации 02.12.2015. Номер заявки DGU 2015 0460.
46. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Расчет показателей мицеллярно-полимерного заводнения нефтяных пластов // Свидетельство DGU 04501 Агенства по интеллектуальной собственности РУз. Дата регистрации 25.05.2017. Номер заявки DGU 2017 0335.
47. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Расчет показателей кислотного воздействия на трещиновато-пористые газовые пласты // Свидетельство DGU 04686 Агенства по интеллектуальной собственности РУз. Дата регистрации 20.07.2017. Номер заявки DGU 2017 0493.
48. Бурнашев В. Ф., Хужаёров Б. Х. Расчет показателей кислотной обработки призабойной зоны нефтяного пласта // Свидетельство DGU 03820 Агенства по интеллектуальной собственности РУз. Дата регистрации 21.04.2016. Номер заявки DGU 2016 0199.
49. Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Расчет показателей заводнения нефтяных пластов полимерными растворами // Свидетельство DGU 03930 Агенства по интеллектуальной собственности РУз. Дата регистрации 27.07.2016. Номер заявки DGU 2016 0434.

Автореферат Самарқанд давлат университетининг
“СамДУ илмий тадқиқотлар ахборотномаси” журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди (22.04.2019 йил).

Гувоҳнома №18-4025.

22.04.2019 йилда босишга рухсат этилди.
Шартли босма табағи 3,25. Қоғоз бичими 60x84_{1/16}.
“Times” гарнитураси. Адади 100 нусха. Буюртма №6/1.

“Nafis poligraf servis” МЧЖ босмахонасида чоп этилди.
Манзил: Самарқанд ш., Буюк ипак йўли кўчаси, 67-А.

