

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАХКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУХАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

САЙДУЛЛАЕВ УСМОНАЛИ ЖУРАЕВИЧ

**СУСПЕНЗИЯНИНГ СУЗИЛИШИ ВА СИЗИШНИНГ
ГИДРОДИНАМИК МОДЕЛЛАРИНИ ТУЗИШ ВА СОНЛИ ТАҲЛИЛ
ЭТИШ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

**ФИЗИКА - МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

**Физика - математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам**

**Contents of Dissertation Abstract of the Doctor of Philosophy (PhD) on
Physical-mathematical Sciences**

Сайдуллаев Усмонали Жураевич

Суспензиянинг сузилиши ва сизишининг гидродинамик моделларини тузиш
ва сонли таҳлил этиш. 3

Сайдуллаев Усмонали Жураевич

Составление и численный анализ гидродинамических моделей фильтрации и
фильтрования суспензий 23

Saydullaev Usmonali Zhuraevich

Derivation and numerical analyses of suspensions filtering and filtration
hydrodynamic models. 41

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 45



**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАХКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУХАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

САЙДУЛЛАЕВ УСМОНАЛИ ЖУРАЕВИЧ

**СУСПЕНЗИЯНИНГ СУЗИЛИШИ ВА СИЗИШНИНГ
ГИДРОДИНАМИК МОДЕЛЛАРИНИ ТУЗИШ ВА СОНЛИ ТАҲЛИЛ
ЭТИШ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

**ФИЗИКА – МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.3.PhD/FM125 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Самарқанд Давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tiiame.uz) ва "Ziyonet" ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	Хўжаёров Бахтиёр Хўжаёрович физика-математика фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Худайкулов Совет Ишанқулович физика-математика фанлари доктори Далабоев Умридин физика-математика фанлари номзоди, доцент
Етакчи ташкилот:	Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион маркази

Диссертация ҳимояси ЎЗР ФА Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ва Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти ҳузуридаги DSc.28.02.2018. Т/FM.61.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил 15 май соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниёзий кўчаси, 39, 4-мажлислар зали. Тел: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiiame.uz).

Диссертация билан Тошент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (68-рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниёзий кўчаси, 39. Тел: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Диссертация автореферати 2019 йил 26 апрель куни тарқатилди.
(2019 йил 25 апрелдаги 1 рақамли реестр баённомаси)

М.М.Мирсаидов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор, академик

Ш.О.Худайназаров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н., доцент

И.Қ.Хўжаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда нефть-газ саноати давлатлар иқтисодиётининг ривожланишига катта таъсир қилади ва ўз навбатида нефть-газ саноатининг ривожланишида ер ости қатламларидаги нефть ва газ захираси тузилиши, қатламлар орасидаги нефть ва газ конденсатлар ҳаракатини ўрганиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада, жумладан Малайзия, Индонезия, БАА, Қувайт ва бошқа иқтисодиётининг асосий бўғини нефть-газ саноати бўлган давлатларда нефть, газ ва газ конденсатларни қазиб олиш жараёларини лойиҳалаштириш, жумладан сув ҳайдаш билан боғлиқ усулнинг кўпроқ ишлатилаётганлиги сабабли ер ости қатлам ва қатлам ораларида нефть, газ ва газ конденсатлар сизиши ва сузилиши жараёнларга таъсир этувчи барча асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда сизиш назариясини ривожлантириш, ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш ва тадқиқ этишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда нефть-газ конларида суюқликдаги қаттиқ заррачаларнинг қудуқ туби зоналарида чўкма ҳосил қилишини инобатга олган ҳолда биржинсли бўлмаган суюқликлар сузилиши жараёни механизмларини баҳоловчи самарали усуллари, хусусан ташқи босим таъсири остида ёки суюқлик тезлиги ўзгармаслигида чўкма ҳосил бўладиган филтрлаш усуллар қўлланилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан суспензиядаги қаттиқ заррачаларнинг ғовак муҳитлар сиртида ўтириб қолиш жараёнларининг математик моделларини такомиллаштириш, заррачаларнинг ғовак муҳит сиртида чўкма ҳосил қилиши билан ўзаро таъсирлашув ҳолатини баҳолашнинг самарали усулларини ҳамда ҳисоблаш алгоритм ва дастурларини ишлаб чиқиш каби йўналишлардаги мақсадли илмий изланишларни амалга оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга ғовак муҳитларда релаксацион кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензия сузилиш ва сизиш жараёнини ифодаловчи математик моделлар йўқлиги инобатга олиб янги математик моделлар, ҳисоблаш усуллари, алгоритм ва дастурларини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизнинг нефть, газ ва газ конденсатини қазиб олиш, табиий газни қайта ишлаш билан шуғулланувчи корхоналарида нефть ва газ конларини ўзлаштириш, нефть ва газ қудуқларда кунлик олинаётган нефть ва газ миқдори ҳамда конларни ишлатиш самарадорлигини ошириш мақсадида замонавий технологияларни тадбиқ этиш туфайли муҳим натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...юқори технологияли қайта ишлаш тармоқларини, энг аввало, маҳаллий хомашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган ... саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш; ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган

технологияларни кенг жорий этиш,...»¹ вазифалари белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни бажаришда нефть ва газ конларига сув ҳайдаш, нефть ва газ конларида қувурларида чўкма ҳосил бўлиши, суспензияларни филтрлаш жараёнларини моделлаштириш ва ҳисоблаш экспериментларини ўтказиш имкониятини берувчи дастурий мажмуалар яратиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2008 йил 15 июлдаги ПҚ-916-сон «Инновацион лойиҳалар ва технологияларни ишлаб чиқаришга татбиқ этишни рағбатлантириш борасидаги кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида», 2017 йил 30 июндаги ПҚ-3107-сон «Нефть ва газ саноатини бошқариш тизимини мукамаллаштириш тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сўнгги йилларда суспензияларнинг ғовак муҳитларда сузилишида қаттиқ заррачаларнинг ўтириб қолишидан ҳосил бўладиган чўкмани ҳисобга олган ҳолатини баҳолаш бўйича тадқиқотлар олиб борилган, жумладан, И.М. Федоткин, Е.И. Воробьев, Н.А.Слезкин, Ф.И.Франкль, Х.А.Рахматулин, Р.И.Нигматулин, С.И.Криль, В.И.Вьюн, В.А.Жужиков, Н.Р.Grace, К.Atsumi, Т. А.Akiyama, R.G.Wakeman, P.Bedrikovetsky, B.V.Ramarao, D.E.Smilesларнинг ишларида. Кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларни филтрлаш ҳолати С. Тien, R.Bai, M.A.Khan, R.Burger, F. Concha ва К.Н.Karlsenларнинг илмий ишларида тадқиқ қилинган. Ҳисоблашлар асосан бир нечта соддалаштирувчи гипотезалар асосида қурилган филтрлаш назарияси асосида бажарилган.

Маҳаллий олимлардан Ф.Б.Абуталиев, Ж.Ф.Файзуллаев Н.М.Мухидинов, Р.Садуллаев, И.Алимов, Ж.Акилов, Н.Равшанов, И.К.Хужаев, Ш.Қаюмов, Б.Х.Хўжаёров, В.Ф.Бурнашевлар суюқликларнинг ғовак муҳитларда сизиши билан боғлиқ бўлган масалалар ва уларнинг ечимлари устида изланишлар олиб борганлар. Филтрларда суспензияларнинг сузилиши муаммолари билан Н.Равшанов, И.К.Хужаев ва бошқа олимлар шуғулланишган.

Бугунги кунда суспензияларнинг ғовак муҳитларда сузилишида қаттиқ заррачаларнинг ўтириб қолишидан ҳосил бўладиган чўкмада консолидациянинг чизиқсиз, экспоненциал хоссаларини ҳисобга олган жараёнларда ва чўкма қатлам орқали филтрлашнинг аномал хоссалари,

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

жумладан, релаксацион филтрлаш масалаларини ечиш усули ва алгоритмларни ишлаб чиқишдаги муаммолар етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Самарқанд давлат университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг №Ф4-Ф078 “Биржинслимас суюқликларнинг ғовак муҳитларда сузилиши ва сизишининг гидродинамик масалалари. Суспензияларнинг ноньютон хоссаларини, чўкманинг эластик-пластик хоссаларини, филтрларнинг кўп қатламлилигини ва бошқаларни ҳисобга олган ҳолда сизиш ва филтрлаш моделларни тузиш” (2012-2016) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ноньютон хоссали суспензияларнинг чўкма консолидациясини ҳисобга олган ҳолда сизишининг ва сузилишининг гидродинамик моделларини такомиллаштириш ва сонли ечиш усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

консолидациянинг чизиксиз, экспоненциал қонунлари асосида филтр сиртида чўкма ҳосил бўлиши билан биржинслимас суюқликларни филтрлашнинг математик моделларини такомиллаштириш;

кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларнинг ғовак муҳитларда сузилишида модда кўчишини ҳисобга олган ҳолда математик модели такомиллаштириш;

филтр сиртида кейк-қатлам ҳосил бўладиган филтрлашнинг релаксацион математик моделини ишлаб чиқиш;

филтр сиртида кейк-қатлам ҳосил бўладиган филтрлашнинг релаксацион моделлари асосида масалаларни ечиш усулларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида бир жинслимас суюқликлар ва уларни филтрловчи ғовак муҳитлар олинган.

Тадқиқотнинг предметини ғовак муҳитларда суспензиялар сизиши ва сузилиши жараёнларининг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари, дастурий воситалари ва гидродинамик жараёнларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида суспензияларнинг филтрацияси ва филтрланиши назарияси, математик анализ, математик физика усуллари, сонли усуллар, математик моделлаштириш, алгоритмлаш назариялари усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларнинг сузилишида консолидациянинг чизиксиз ва экспоненциал қонунлари асосида математик модели такомиллаштирилган;

кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларнинг ғовак муҳитларда сузилишида модда кўчишини ҳисобга олган ҳолда математик модели такомиллаштирилган;

Дарсининг умумлашган релаксация қонуни асосида фильтр сиртида чўкма ҳосил бўладиган суспензияларнинг сузилиш математик модели ишлаб чиқилган;

суспензияларнинг сузилишининг релаксацион таъсирини ҳисобга олиб филтрат сарфи ўзгармаслик шартида дифференциал тенгламалар системаси келтириб чиқарилган, ҳамда релаксация вақтининг турли қийматларида сонли ечилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

кўзғалувчан чегаравий шартли дифференциал тенгламалар асосида берк ингичка толали филтрларда суспензиялар сизиши жараёнларининг математик модели Стефан шартини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган ҳамда уларнинг ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

суспензия билан чўкма қатлами чегарасида номаълум кўзғалувчан фронтни тутиб олишни ҳисобга олган ҳолда консолидациянинг чизиқсиз ва экспоненциал характеристикалари баҳолаш, “чўкма-фильтр” чегараси яқинида чўкма консолидацияси қийматини характерловчи релаксация вақтининг турли қийматларида чўкма қатламида қаттиқ зарралар концентрациялари аниқлаш учун дастурий восита ишлаб чиқилган;

релаксация вақтининг ошиши билан чўкма қалинлигини баҳолашда ҳамда филтрат сарфи қиймати ҳисоблашда кейк-қатлам ҳосил бўладиган релаксацион филтрлашнинг ҳисоби методи ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги суспензиядаги муаллақ заррачаларнинг ғовак муҳитлар ичида ёки ғовак муҳитлар сиртида ўтириб қолишидан боғлиқ сизиш ва сузилиш назарияси, математик анализ, математик физика курсидаги кўзғалувчан чегарали дифференциал тенгламалар системаси усулларини қўллаш ва математик амалларнинг қатъийлиги орқали масалаларнинг тўғри қўйилиши ҳамда релаксацион филтрлаш назариясининг ҳисоблаш усуллари ва аниқ ҳисоб усуллари бўйича олинган натижаларни ўзаро солиштириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ғовак муҳитларда биржинсли бўлмаган суюқликлар сизиши ва сузилиши назариясини консолидациянинг чизиқсиз, экспоненциал қонунларини ва релаксация таъсирини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштириш ҳамда уларга нисбатан номаълум кўзғалувчан чегарага эга дифференциал тенгламаларини ишлаб чиқиш филтрация назариясини ва туташ муҳитлар механикаси фанини ривожлантириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти нефть ва газни қазиб олишнинг кейк-қатлам ҳосил бўладиган филтрлашнинг релаксацион модели, шунингдек суспензияларнинг сизиши ва сузилиши назариясининг ҳисоблаш усуллари, алгоритмлари, дастурлари, консолидациянинг чизиқсиз ва экспоненциал қонунларини ҳисобга олган ҳолда лойиҳалашда

параметрларнинг оптимал қийматларини аниқлаш ва баҳолаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларини жорий қилиниши. Кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларнинг сузилиш ва сизиш жараёнларининг такомиллаштирилган моделларини сонли тадқиқ этиш бўйича ишлаб чиқилган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалари асосида:

кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларнинг сузилиш моделининг сонли ечиш алгоритми ва дастурий воситаси “Ўзнефтвазқазибчиқариш” АЖ тасарруфидаги “Муборакнефтваз” МЧЖга қарашли Қашқадарё вилояти Муборак тумани Шимолий Ўртабўлоқ конидаги №3, Шарқий Кемачи конидаги №118, Шуртепа конидаги №102 ва Сарикум конидаги №22 қудуқларда кислота билан таъсир этиш геологик-техник тадбирлар режасини оптималлаштириш ва қатламга кислота билан ишлов беришни аниқ башорат қилишни таъминлайдиган ҳисоб ишларига жорий этилган (“Ўзнефтвазқазибчиқариш” АЖнинг 2018 йил 27 сентябрдаги 04/17-434ж-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида қудуқларда кунлик олинаётган нефть ва газ миқдори ҳамда конларни ишлатиш самарадорлигини ошириш жараёнига қўлланилиши орқали ҳисоблаш ишлари аниқлигини 5%га ошириш ва қудуқларда кислота билан таъсир этиш геологик-техник тадбирлар режасини тузишга кетадиган вақт 30%га қисқартиш имконини берган;

кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларнинг ғовак муҳитларда сузилишида модда кўчишини ҳисобга олган ҳолда математик модели сонли ечиш усули ва дастурий воситаси “Ўзнефтвазқазибчиқариш” АЖ тасарруфидаги “Муборакнефтваз” МЧЖнинг №3, №118, №102 ва №22 қудуқларда хлор-кислотали ишлов бериш геологик - техник режасини тузиш ишларига жорий этилган (“Ўзнефтвазқазибчиқариш” АЖнинг 2018 йил 27 сентябрдаги 04/17-434ж-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаси қудуқлар дебити 3-4%га ошириш имконини берган;

Дарсининг умумлашган релаксация қонуни асосида фильтр сиртида чўкма ҳосил бўладиган суспензияларнинг сузилиш ва сизиш математик моделлари ва ҳисоблаш алгоритмлари Иркутск техник тадқиқот миллий университети “Мега-сети” халқаро лабораторияси илмий техника дастури доирасида № ВР.20.2016-5 «Междисциплинарные подходы повышения продуктивности нефтегазовых скважин» грант лойиҳасида турли геологик ва техник шароитларда нефть-газ қазиб олиш ва сув ҳайдаш қудуқларида кум ва кум-суюқлик тикинлари ҳосил қиладиган биржинслимас ғовак муҳитларда биржинслимас суюқликларнинг мураккаб динамик сузилиш жараёнлари модели ва тармоқ онтологияларини қуришда фойдаланилган (Россия, Иркутск техник тадқиқот миллий университети, 2018 йил 10 сентябрдаги И-3667/18-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши мазкур грант иш режасининг бир қисми сифатида нефть-газ қазиб олиш ва сув қудуқларида кум тикинларини олиб ташлаш учун самарали технологияларни яратиш имконини берган;

суспензиянинг сузилиши ва сизишининг гидродинамик моделларини тузиш ва сонли таҳлил этиш бўйича олинган натижалари Самарқанд давлат университети Давлат илмий техника дастури доирасида № Ф2-15 «Оғир элемент атомларининг ионланиш чегараси атрофидаги лазер-ионизацион спектроскопияси» (2012-2015 йй.) фундаментал грант лойихасида даврий системадаги оғир элемент атомлар (Pt, Au, Hg, Tl, Pb) нинг юқори ўйфонган ҳолатларидаги квант ўтишларнинг эҳтимолиятларини ҳисоблашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил 11 августдаги 89-03-2800-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши квант ўтишлар ва уларнинг самарадорлигига таъсир қилувчи спектроскорик параметрларни ҳисобга оладиган масалаларни сонли ечиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 5 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш чоп этилган бўлиб, жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола (9 таси республика ва 1 таси хорижий журналларда) чоп этилган ҳамда 1 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситани қайд қилиш гувоҳномаси (№ DGU 05382) олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, урта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 112 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, тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Суспензияни филтрлаш жараёнларининг математик ифодаси**» деб номланувчи **биринчи бобида** ғовак муҳитларда биржинсли бўлмаган суюқликларнинг сузилиши жараёнларини моделлаштириш муаммоларининг таҳлили ўтказилган. Ғовак муҳитларда биржинсли бўлмаган суюқликларнинг сузилиши масалаларини сонли ечиш усуллари таҳлил қилинган.

1.1 параграфда филтрлаш жараёнининг физик асослари, суспензиянинг суюқ ва қаттиқ фазалари характеристикалари келтирилган.

1.2 параграфда суспензиянинг сизиши ва филтрланишининг математик моделлари қаралган. Бунда чўкма ҳосил бўладиган филтрлаш, классик тўлиқ тиқин ҳосил бўладиган сизиш моделлари келтирилган. Кўп тезликли континуумлар тенгламаси, хусусан икки фазали оқим ҳаракат тенгламаси қаралган.

1.3 параграфда сузилиш жараёни учун бир ўлчамли ясси ва ўққа нисбатан симметрик бўлган Стефан типдаги масалалар қаралган.

1.4 параграфда муҳит ичида чўкма ҳосил бўладиган сизиш жараёнлари, хусусий ҳолда икки хил зарралар суспензиянинг сизиши кўрсатилган.

1.5 параграфда берк ингичка толали филтрларнинг ташқи сиртида чўкма массасининг ортиш тезлигининг математик модели келтирилган. Зарраларнинг ўтириб қолиш тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзамиз

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} = (\beta + k_3 V_p) c - \alpha \Gamma, \quad (1)$$

бунда Γ - мембранинг ташқи 1 м^2 сиртидаги чўкманинг солиштирма массаси; c - қаттиқ зарралар концентрацияси; α , β - ўзгармаслар бўлиб, мос равишда пептизация ва адсорбция коэффицентлари деб аталади; k_3 - ўзгармас, t - вақт; z - координата; $V_p = p / (\mu(R_m + r_c \Gamma))$ - филтрланган пермеат тезлиги; p - трансмембрана босим; μ - суюқликнинг динамик ковушқоқлиги; $R_m = p / (\mu V_0)$ - мембрананинг соф қаршилиги; r_c - чўкманинг солиштирма гидравлик қаршилиги; V_0 - пермеатнинг бошланғич тезлиги.

(1) даги $k_3 V_p c$ ташкил этувчини биз қўшдик, у мембрана ўтказувчанлигидан боғлиқ зарраларнинг ўтириб қолиш тезлигининг ортишини билдиради.

Диффузия эффектларини ҳисобга олмагандаги масса сақланишининг дифференциал шакли қуйидаги кўринишда ёзилади

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial (cw)}{\partial z} = -s \frac{\partial \Gamma}{\partial t}, \quad (2)$$

бунда w - суюқлик тезлиги.

Узлуксизлик тенгламасининг интеграл шаклини қуйидагича ёзамиз:

$$w = \int_z^d s V_p dz. \quad (3)$$

Агар жараённинг бошланишида филтр тоза бўлса, филтрга киришда суспензия концентрацияси ўзгармас ҳолда берилади. Бошланғич ва чегаравий шартлар қуйидагича

$$t = 0, z > 0 \text{ бўлганда } c = 0, \Gamma = 0, \quad (4)$$

$$z = 0, t > 0 \text{ бўлганда } c = c_0. \quad (5)$$

Сонли ҳисоблашлар асосида филтр чуқурлиги бўйича чўкманинг солиштирма массаси ва қаттиқ зарралар концентрациясининг тарқалиши аниқланган. Вақт ўтиши давомида қаттиқ зарралар концентрацияси c ва

чўкманинг солиштирма массаси Γ нинг қийматлари ортиб боради. k_3 коэффицентнинг турли қийматларида қаттиқ зарралар концентрацияси ва чўкманинг солиштирма массаси ҳисобланган. Бу ҳисоблашлардан кўриш мумкинки, k_3 нинг қиймати ортиши билан қаттиқ зарралар концентрацияси камайиб боради ва чўкманинг солиштирма массаси ортиб борар экан.

Диссертациянинг «**Ночизикли сиқиладиган чўкма қатлами ҳосил бўладиган суспензияларни филтрлашнинг гидродинамик назарияси**» деб номланувчи **иккинчи боб** бошланишида кейк қатлам ҳосил бўладиган филтрлаш тенгламалари келтирилган. Кейин конвектив ҳадни эътиборга олгандаги ва эътиборга олмагандаги кейк қатлам консолидациясини ҳисобга олгандаги филтрлаш масаласи ечилган. Алоҳида параграфда пульсацион тебранма босим режими қаралган. Кейк қатлам ҳосил бўладиган филтрлашнинг ўққа симметрик масаласи тадқиқ қилинган.

2.1 параграфда кейк-филтрлаш тенгламаси келтирилган. Кейк қатлам ҳосил бўладиган суспензияларни филтрлашда ҳаракатланаётган муҳитни суспензия фазалари, яъни суюқлик ва суюқликдаги муаллақ қаттиқ зарралар ташкил этади. Бинобарин, суспензия икки фазали суюқлик деб қаралади. Филтрлаш тенгламаларини келтириб чиқаришда бу фазалар континуумлар деб қаралган, яъни суспензия икки фазали ўзаро аралашган муҳитни ташкил этади. Филтрлаш соҳасининг ҳар бир нуқтасига иккита сизиш ва гидродинамик характеристикалари: сизиш тезлиги, ғоваклик, босим ва бошқалар киритилган. Кейк қатлам ҳосил бўладиган филтрлашнинг асосий тенгламаси келтирилган. У мос равишда қўшимча тенгламадан аниқланиши керак бўлган, хусусан, $x = L(t)$ кўзғалувчан чегарада берилган бошланғич ва чегаравий шартларда ечилади.

2.2 параграфда ночизикли сиқиладиган чўкма қатлами ҳосил бўладиган суспензияларни филтрлашнинг математик модели келтирилган.

Филтрлашнинг математик модели қуйидаги кўринишда ёзалади:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = b(p) \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}, \quad 0 < t \leq T, \quad z \in \Omega_2, \quad (6)$$

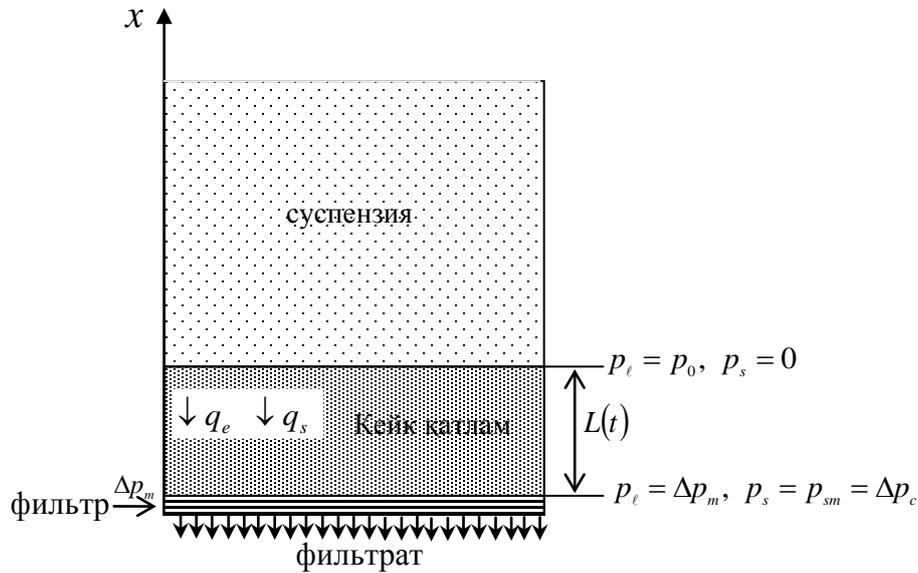
$$p(z, 0) = p_0(z), \quad z \in \Omega_1, \quad p(0, t) = p_2, \quad p[L(t), t] = p_1, \quad 0 < t \leq T, \quad (7)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\nu \mu}{u} \frac{dL}{dt}, \quad 0 < t \leq T, \quad (8)$$

бунда p - ғовакликдаги босим; p_0, p_1, p_2 - мос равишда суюқликнинг бошланғич моментдаги, чўкма қатламига киришдаги, филтрланган қатламдан чиқиш босимлари; $L(0) = z_0$; $b(p) = b_0 e^{\lambda(p-p_1)}$ - консолидация коэффиценти; $p_0 = p_2 + \frac{z(p_1 - p_2)}{z_0}$, $0 \leq z \leq z_0$; ν - чўкманинг солиштирма

қаршилиги; μ - қовушқоқлик коэффиценти; u - чўкма қатламининг ташқи коэффиценти; b_0, λ - берилган параметрлар; $\Omega_1(0, z_0)$ - филтрлайдиган

қатлам соҳаси; $\Omega_2(z_0, L(t))$ - чўкма соҳаси; $z = L(t)$ - кўзгалувчан чегара (1-расм).



1-расм. Кейк қатлам ҳосил бўладиган фильтрлаш схемаси.

(6) - (8) масалалар сонли ечилган. λ нинг қиймати ортиши билан $L(t)$ нинг динамик ортиши кечикишини кузатиш мумкин.

2.3 параграфда зарраларнинг конвектив кўчишларини ҳисобга олгандаги суспензияларни фильтрлаш масаласи қаралган.

Конвектив фильтрлашнинг босимга нисбатан математик модели қуйидагича келтирилган:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = b(p) \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + q_{\text{чик}} \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (9)$$

$$p[L(t), t] = p_1, \quad t > 0, \quad p(0, t) = p_2, \quad p(z, 0) = p_0, \quad (10)$$

$$\left(\frac{1}{\mu v} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right)_{z=h(t)} = \frac{1}{u_0} \frac{dL}{dt}, \quad (11)$$

бунда $b(p) = b_0 + \lambda(p_1 - p)$ - консолидация коэффициенти. «Чўкма – фильтр тўсини» чегарасидаги суюқлик сарфи $q = q_{\text{чик}} = - \left(\frac{1}{\mu v} \frac{\partial p}{\partial z} \right)_{z=0}$ кўринишда берилган.

Вақт ўтиши билан чўкма қатламида босимнинг тарқалиши ночизикли характерга эга эканлиги аниқланган. “чўкма-фильтрловчи элемент” чегарасидаги нисбий суюқлик сарфи интенсив камайиб борар экан. Чўкманинг қалинлиги ночизикли қонуният билан ортиб боради.

2.4 параграфда пульсацион тебранишли босим таъсирида зарраларнинг конвектив кўчишини ҳисобга олгандаги суспензияларни филтрлаш масаласи тадқиқ қилинган.

Босимга нисбатан конвектив филтрлашнинг математик моделини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial p_1}{\partial t} + b(p) \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + q_{\text{чик}} \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (12)$$

$$p(z, 0) = p_0, \quad (13)$$

$$p(0, t) = p_2, \quad (14)$$

$$p[L(t), t] = p_1(t), \quad t > 0. \quad (15)$$

$$\left(\frac{1}{\mu v} \frac{\partial p}{\partial z} \right)_{z=h(t)} = \frac{1}{u_0} \frac{dL}{dt}, \quad (16)$$

бунда $L(0) = z_0$.

Чўкма қатламидан чиқишдаги ва киришдаги босимларни мос равишда $p_0 = 0$ ва $p_1(t) = p_1^0(1 + \psi \cos \chi t)$ деб қабул қиламиз; p_1^0, ψ, χ - ўзгармаслар; $b(p) = b_0 + \lambda(p - p_1(t))$ - ташқи майдон босими таъсирида чўкманинг сиқилиш реакциясини характерловчи консолидация коэффиценти.

Олинган натижалардан кўриш мумкинки, вақт ўтиш давомида босим даврий камайиб рўй беради. «Чўкма-филтрловчи элемент» чегарасида суюқликнинг нисбий сарфи интенсив даврий камаяди. Чўкма қатлами ночизикли қонун бўйича ўсади.

2.5 параграфда кейк қатлам ҳосил бўладиган суспензияларни филтрлашнинг ўққа нисбатан симметрик масаласи кўрилган. Филтрлаш тенгламаси келтирилиб чиқарилган. Цилиндрик координаталарда суюқ ва қаттиқ фазалар учун узлуксизлик тенгламаси қуйидаги кўринишда олинади:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{1}{2\pi r} \frac{\partial q_\ell}{\partial r} = 0, \quad (17)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} + \frac{1}{2\pi r} \frac{\partial q_s}{\partial r} = 0, \quad (18)$$

бунда q_ℓ ва q_s - мос равишда суюқ ва қаттиқ фазалар учун филтрация тезлиги; ε ва ε_s - суюқ ва қаттиқ фазаларнинг нисбий таркиби; t - вақт; r - радиаль координата.

Ўққа нисбатан симметрик филтрлашда Дарси қонунини қуйидаги кўринишда оламиз

$$q_\ell - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_s} q_s = -2\pi r \frac{k}{\mu} \frac{\partial p_\ell}{\partial r}, \quad (19)$$

бунда p_ℓ - суюқ фазанинг босими, k - ўтказувчанлик, μ - қовушқоқлик.

(19) тенгламани r бўйича дифференциаллаб, (17), (18) лардан фойдаланиб ва $\varepsilon_s = \varepsilon_s^0 \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^\beta$, $k = k^0 \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{-\delta}$ (ε_s^0 , k^0 - мос равишда $p_s = 0$ бўлгандаги ε_s , k ларнинг қийматлари, p_A - характерловчи босим; β , δ - ўзгармас катталиклар) ҳисобга олсак, цилинрик координаталарда кейк қатлам ҳосил бўладиган филтрлашнинг асосий тенгласига келамиз

$$\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\varepsilon_s^0 r \frac{k^0}{\mu} \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^0} \right)^{-\delta/\beta} f' \frac{\partial p_s}{\partial r} \right) - \frac{q_{\text{чик}}}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial r}, \quad (20)$$

бунда $q_{\text{чик}} = -\left[2\pi r \frac{k^0}{\mu} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{-\delta} \frac{\partial p_\ell}{\partial r} \right]_{r=R}$ - филтрдан чиқишдаги филтрат сарфи.

Цилинрик кейк-қатлам қалинлигини ифодаловчи кўзгалувчан радиус $R_L(t)$ нинг тенгласини келтирамиз, яъни суспензия ва кейк-қатлам орасидаги чегара радиуси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{dR_L}{dt} = \frac{\varepsilon_s^0}{\varepsilon_s^0 - \varepsilon_{s_0}} \left[\frac{k^0}{\mu} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{-\delta} \frac{\partial p_\ell}{\partial r} \right]_{r=R_L^-} + \frac{1}{2\pi R_L^-} q_{\text{чик}}. \quad (21)$$

$r = R_L^-$ сиртда сиқиладиган заррачаларнинг кучланиши нолга тенг, шунинг учун $\varepsilon_s|_{R_L^-}$ ни ε_s^0 - нолинчи кучланишдаги қаттиқ зарралар ташкил этувчисига тенг деб қабул қилиш мумкин. Иккинчи томондан $\varepsilon_s|_{R_L^+}$ суспензиядаги қаттиқ зарралар концентрацияси ε_{s_0} га тенг.

Агар жараён олдиндан суюқлик бўлмагандаги янги филтрдан бошланса, у ҳолда бошланғич шартни қуйидагича қабул қилиш мумкин

$$R_L(0) = R. \quad (22)$$

Агар филтрлаш жараёни тасодифий қўшимча босим ёки берилган оқим тезлиги билан бошланса, p_ℓ ва p_s нинг бошланғич шартларини нолга тенг деб қабул қилиш мумкин, яъни

$$p_\ell(0, r) = 0, \quad p_s(0, r) = 0. \quad (23)$$

Ўққа нисбатан симметрик масала учун чегаравий шартлар:

$$r = R_L(t) \text{ бўлганда } p_\ell = p_0, \quad p_s = 0, \quad \varepsilon_s = \varepsilon_s^0, \quad (24a)$$

$$r = R \text{ бўлганда } -2\pi r \frac{k}{\mu} \frac{\partial p_\ell}{\partial r} = \frac{-p_\ell}{R_m \mu}. \quad (24б)$$

(20)-(24) масалалар чекли айирмалар усули билан ечилган. Компрессион босимнинг фильтр сиртидан кейк-қатлам ва суспензия чегарасигача камайиб бориши аниқланган. Кейк-қатлам қалинлиги монотон ошиб боради.

Диссертациянинг «Кейк-қатлам ҳосил бўладиган фильтрлашнинг релаксация тенгламаси» деб номланувчи учинчи бобда кейк қатлам ҳосил бўладиган суюқликларни фильтрлашнинг релаксацион математик модели ишлаб чиқилган.

3.1 параграфда суюқлик сизишида релаксация таъсирининг математик моделлари, сонли усуллари таҳлили бўйича эълон қилинган тадқиқот ишларнинг методологияси келтирилган. Одатда релаксацион сизишни ифодалаш сизиш тезлиги ва босим градиенти орасидаги муносабатнинг кечикиши ҳисобидан турли хил феноменологик моделлардан фойдаланилади. Алоҳида ҳолларга кечиши ва ҳолат тенгламалари ҳисобидан келинади. Турли тадқиқотчилар таклиф қилган бир нечта релаксацияли сизишнинг гипотетик моделлари қаралган.

3.2 параграфда кейк-қатлам консолидацияси релаксация тенгламаси келтирилган. Фильтрлашнинг релаксация қонунини қуйидаги кўринишда оламыз

$$\left(1 + \lambda_{q_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{q_\ell}{\varepsilon} - \left(1 + \lambda_{q_s} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{q_s}{\varepsilon_s} = -\frac{1}{\varepsilon \mu} k \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial p_\ell}{\partial x}, \quad (25)$$

бунда λ_{q_ℓ} , λ_{q_s} - мос равишда q_ℓ , q_s сизиш тезликларининг релаксация вақти; λ_{p_ℓ} - босим градиентининг релаксация вақти.

Суюқ фазага нисбатан қаттиқ фазанинг сизиш тезлигининг релаксация эффектини эътиборга олмаса ҳам бўлади. У ҳолда (25) ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$\left(1 + \lambda_{q_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{q_\ell}{\varepsilon} - \frac{q_s}{\varepsilon_s} = -\frac{1}{\varepsilon \mu} k \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial p_\ell}{\partial x}. \quad (26)$$

Соддалик учун босим градиенти релаксацияси ҳолини қарайлик, яъни $\lambda_{q_\ell} = 0$ бўлсин. У ҳолда (26) дан

$$\frac{q_\ell}{\varepsilon} - \frac{q_s}{\varepsilon_s} = -\frac{1}{\varepsilon \mu} k \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial p_\ell}{\partial x} \quad (27)$$

тенгламани оламыз.

Олинган фильтрлаш тенгламаси (27) ни p_s компрессион босим учун ёзиб оламыз

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = \frac{k^0 p_A}{\mu \beta} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{1-\beta} \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{\beta-\delta} \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \left(\frac{\partial p_s}{\partial x}\right) \right] - q_{\ell m} \frac{\partial p_s}{\partial x}, \quad (28)$$

бунда $k^0 - p_s = 0$ бўлгандаги ўтказувчанлик қиймати; $q_{\ell m}$ - фильтр орқали ўтган филтрат оқими:

$$q_{\ell m} = \frac{k}{\mu} \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0}. \quad (29)$$

Кейк-қатлам ва суспензия орасидаги чегара $L(t)$ - қўзғалувчан фронт қуйидагича тенгламадан топилади:

$$\frac{dL}{dt} = - \frac{\varepsilon_s^0}{\varepsilon_s^0 - \varepsilon_{s_0}} \left[\frac{k}{\mu} \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \right]_{L^-} + q_{\ell m}. \quad (30)$$

(28), (30) ларни ечиш учун бошланғич ва чегаравий шартларни қуйидаги кўринишда оламиз:

$$p_s(0, x) = 0, \quad -k \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{P_0 - P_s}{R_m} \Big|_{x=0}, \quad p_s(t, L(t)) = 0. \quad (31)$$

(28)-(31) масалаларнинг сонли ечимлари асосида релаксация вақтининг оширишида бошқа бир хил шартларда чўкма қалинлигининг ортиши тезлашиши аниқланди (2-расм). Бошқача айтганда, релаксация эффектлари филтрация оқимининг босим градендидан боғлиқлиги фильтр сиртида суспензия зарраларининг ўтириб қолиши интенсификацияси чўкма туридан келиб чиқади.

Барча шартлар бир хил бўлган ҳолда релаксация вақтининг ортиши компрессион босим ортининг секинлашишига олиб келади, яъни босим динамикасида кечикишни кузатиш мумкин. Жараён бошланишидан маълум бир вақт ўтишигача филтратнинг сарфланиши релаксация вақтининг ортишида катта қийматларга эга бўлиши кузатилади.

Юқорида таклиф этилган алгоритмлар асосида дастурлар мажмуаси ишлаб чиқилган ва ЎзР Интеллектуал мулк агентлигида қайд этилган ЭВМ (№ DGU 05382).

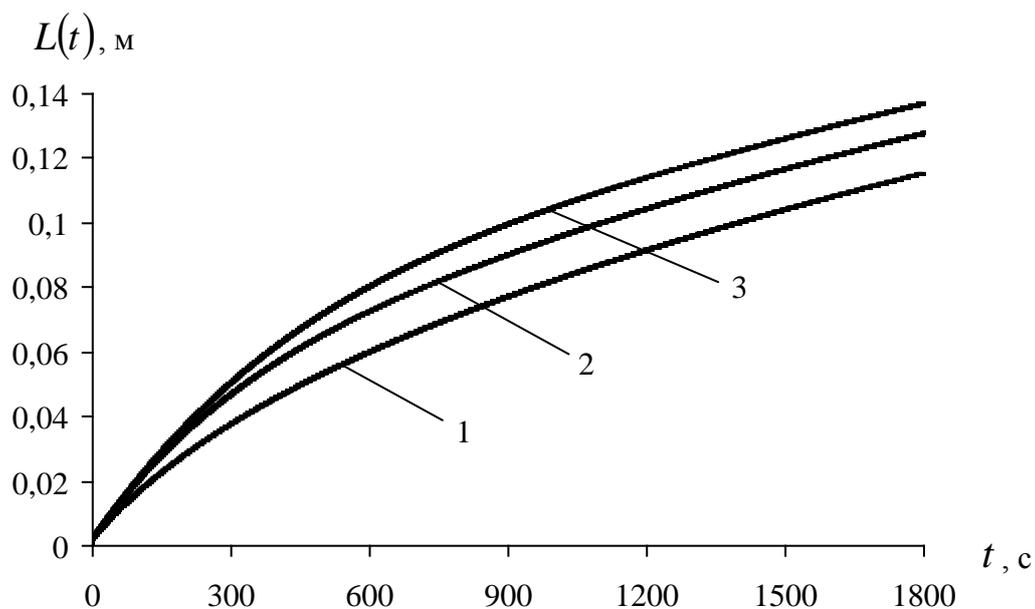
3.3 параграфда сарф ўзгармас бўлганда релаксацион филтрлаш масаласи кўрилган. Бу ерда берилган тезлик $q_\ell + q_s = v_0 = const$ режимидаги масала қаралган. Бу режимда (28), (30) ларни ечиш учун бошланғич ва чегаравий шартлар қуйидаги кўринишда:

$$p_s(0, x) = 0, \quad \frac{k}{\mu} \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0} = - \frac{P_\ell}{\mu R_m} \Big|_{x=0} = -v_0 = const < 0, \quad p_s(t, L(t)) = 0,$$

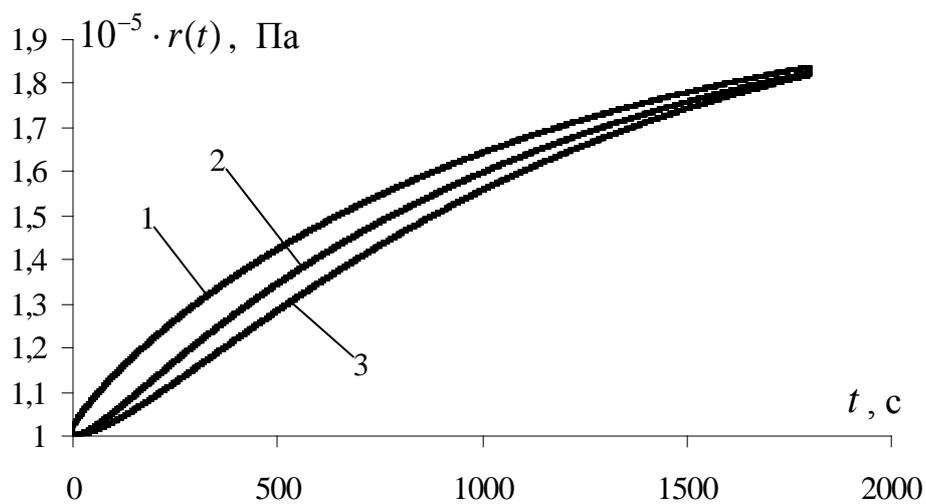
бунда R_m - филтратнинг келтирилган қаршилиги.

Бу ерда берилган босим режимдан фарқли равишда $p_\ell + p_s$ доимий бўлмасдан, $p_\ell + p_s = r(t)$ вақтдан боғлиқ функция бўлади ва у масалаларни ечиш жараёнида аниқланди.

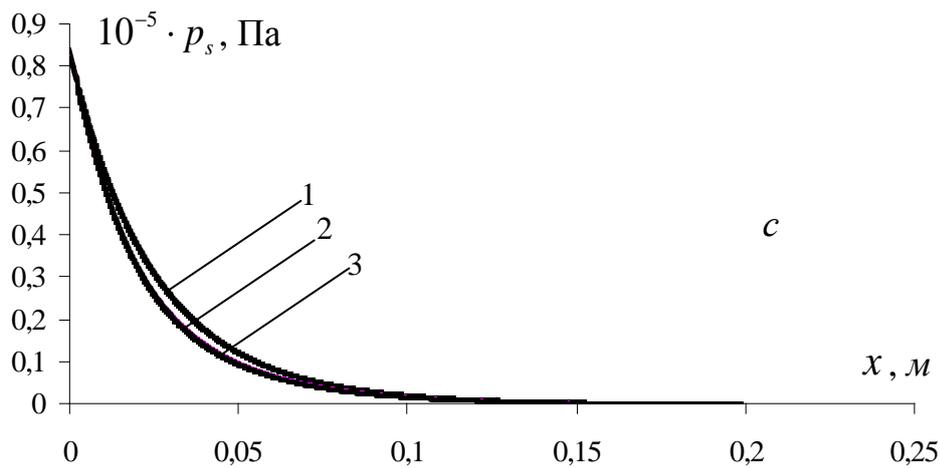
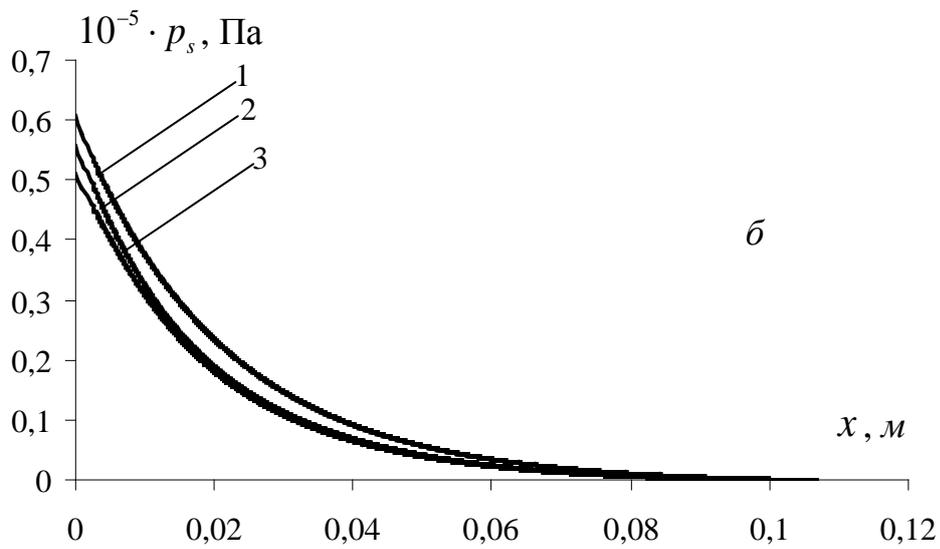
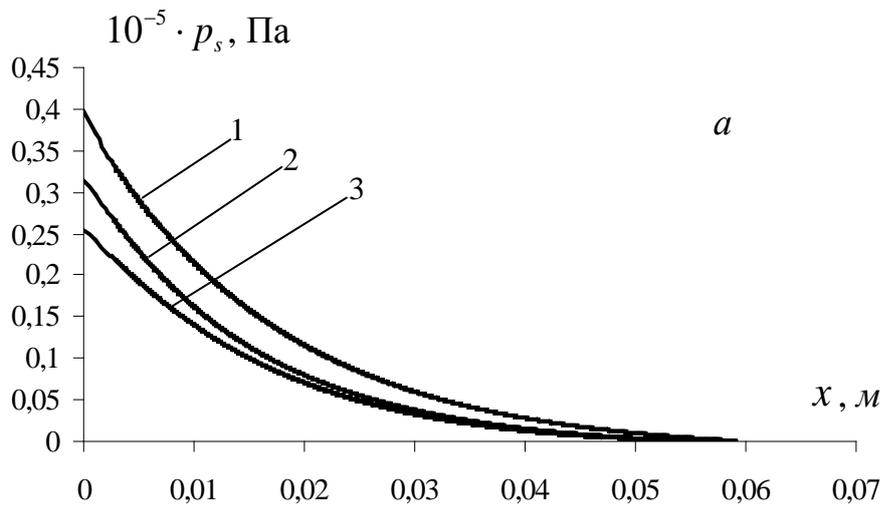
Барча шартлар бир хил бўлган ҳолда релаксация вақтининг ортиши билан чўкма қатлам қалинлиги тезроқ ортишига олиб келади. $x = 0$ нуқтада $r(t) = p_e + p_s$ боғланиш ошувчи динамикага эга бўлади (3-расм). Бундан оқимнинг релаксацион хусусиятлари $r(t)$ динамиканинг кечикишига олиб келади. Релаксация вақти қийматининг ортиши билан компрессион босим қиймати камаяди. Бу камайиш вақтнинг катта қийматларида унчалик сезилмаслиги босим релаксацияси таъсирининг камайишидан тушунтириш мумкин (4-расм). Вақт ўтиш давомида компрессион босим қиймати кейк-қатламнинг ҳамма нуқталарида ортади. Оқимнинг релаксацион характери кейк-қатлам қалинлиги ошишини ва унинг фильтрацион характеристикаларини сезиларли ўзгартиради.



2-расм. $\lambda_{lm} = 0$ (1); 150 (2); 350 (3) с бўлганда фильтр сиртида чўкма қатламининг қалинлиги динамикаси.



3-расм. $\lambda_{pl} = 0$ (1); 150 (2); 350 (3) с бўлганда $x = 0$ нуктада $r(t)$ нинг ўзгариши.



4-расм. $\lambda_{p\ell} = 0$ (1); 150 (2); 350 (3) с бўлганда чўкма қатламида компрессион босимнинг тарқалиши, $t = 450$ (a); 900 (б); 1800 (c) с.

ХУЛОСА

«Суспензиянинг сузилиши ва сизишининг гидродинамик моделларини тузиш ва сонли таҳлил этиш» мавзусидаги фалсафа докторлик (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Ингичка толали фильтрлар орқали суспензияларни филтрлаш модели умумлаштириш асосида такомиллаштирилган. Масалани сонли ечиш асосида кўрсатилганки, k_3 коэффициентнинг ошиши филтр сиртида зарраларнинг ўтириб қолишининг интенсивлашувига олиб келади.
2. Филтрлашнинг биржинсли ночизиқли тенгламаси учун доимий босимлар фарқи шароитида масала қаралган ва сонли ечилган. λ параметр қийматининг ошиши мос равишда консолидация коэффициенти ўзгаришининг юз бериши кўрсатилган. Бу эса ўз навбатида чўкма қатлам қалинлигининг ортишига ва унда босимнинг тақсимланишига олиб келади. λ параметр қийматининг ортиши билан $h(t)$ ошишининг кечикувчи динамикаси кузатилади. Чўкма қатлам қалинлигининг ошиши билан маълум бир нуқталарда босим камаяди.
3. Суспензияларни филтрлаш масаласи зарраларнинг конвектив кўчишини ҳисобга олган ҳолда қаралган ва сонли ечилган. Олинган натижалар асосида чўкма қатламда босим тақсимоти ва чўкма-тўсиқ чегарасида тезлик тақсимоти графиги тузилган. Суспензиянинг қаттиқ зарралари чўкма қатлам ичида филтрловчи тўсиқ йўналиши бўйича ҳаракатланади. Бунинг натижасида сиқилувчан чўкмалар мавжуд бўлганда филтрлашда конвектик ҳадни ҳисобга олиш лозим. Сонли натижалардан келиб чиқадики, конвектив ҳадга суспензия концентрациясининг таъсири асосан сезиларли сиқилувчан чўкмаларда намоён бўлади.
4. Босимнинг пульсацияли ўзгаришида суспензияларни филтрлаш масаласи зарраларнинг конвектив кўчишини ҳисобга олган ҳолда таҳлил қилинган. Кўрсатилганки, вақт ўтиши билан босим даврий равишда камаяди ва унинг қайта тақсимланиши рўй беради. Тақсимотнинг ўзи эса ностационат эффектлар ҳисобига ночизиқли характерга эга бўлади. Суюқликнинг нисбий сарфи “чўкма-филтрловчи элемент” чегарасида интенсив даврий камаяди. Чўкма қатламининг ошиши ночизиқли қонуният билан рўй беради.
5. Дарсининг умумлашган релаксацион қонуни филтр сиртида чўкма ҳосил бўлиши билан суспензияларни филтрлаш тенгламасини келтириб чиқарган. Бу тенгламалар учун филтрлаш масаласи қўйилган ва улар сонли ечилган. Барча шартлар бир хил бўлган ҳолда релаксация вақтининг ортиши билан чўкма қатлам қалинлик интенсивлиги аниқланган. Чўкма қатламидаги маълум бир нуқтада компрессион босим ортишида нисбатан секин динамикага эга бўлади. Сизиш сарф ҳам ортади. “Чўкма-филтр” чегараси яқинида чўкманинг сезиларли

консолидацияси юз беради. Чўкманинг (кейк-қатламнинг) нисбий ўтказувчанлик профиллари кўрсатишича, консолидация натижасида ўтказувчанлик сезиларли камаяди, бу камайиш вақт ўтиши билан орта боради.

6. Сарф ўзгармас бўлганда кейк-қатлам ҳосил бўлиши билан релаксацион филтрлаш масаласи ечилган. Умумий босим $p_\ell + p_s$ ошиб борувчи динамика эга эканлиги аниқланган, оқимнинг релаксацион хусусиятлари қаралаётган нуқтада умумий босим ортишининг секинлашиши аниқланган. Хусусий ҳолда компрессон босим p_s динамикаси кечикувчи характерга эга. p_ℓ учун ҳам худди шунга ўхшаш ходиса рўй беради. Умуман олганда, оқимнинг релаксацион характери кейк-қатлам қалинлиги ошишини ва унинг филтрацион характеристикаларини сезиларли ўзгартиради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ МЕХАНИКИ И
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ И ТАШКЕНТСКОМ
ИНСТИТУТЕ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

САЙДУЛЛАЕВ УСМОНАЛИ ДЖУРАЕВИЧ

**СОСТАВЛЕНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ И
ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИЙ**

01.02.05 - Механика жидкости и газа

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ
НАУКАМ**

Ташкент – 2019



Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.3.PhD/FM125

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

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

Научный руководитель:	Хўжаёров Бахтиёр Хўжаёрович доктор физико-математических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Худайкулов Совет Ишанкулович доктор технических наук Далабоев Умридин кандидат физико-математических наук, доцент
Ведущая организация:	Научно-инновационный центр информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий

Защита диссертации состоится 15 мая 2019 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз и Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (Адрес:100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий, 39, зал заседаний – 4. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79. e-mail: admin@tiame.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (регистрационный номер № 68). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий, 39. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Автореферат диссертации разослан 26 апреля 2019 года.
(реестр Протокола рассылки № 1 от 25 апреля 2019 года.)

М.М.Мирсаидов

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

Ш. Худайназаров

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

И.К.Хужаев

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



ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире нефтегазовая промышленность оказывает огромное влияние на развитие экономики стран. Наличие ресурсов нефти и газа позволяют добиваться значительных успехов в развитии. В развитии нефтяной промышленности важную роль имеет формирование запасов нефти в подземных пластах и изучение движения нефти в пластах. В этой связи, в таких странах как Малайзия, Индонезия, ОАЭ, Кувейт и другие, где основную часть экономики составляет нефтегазовая промышленность, особое внимание уделяется усовершенствованию методов проектирования с учетом факторов, влияющих на процесс фильтрации и фильтрования неоднородных жидкостей в пористых средах.

В мире в нефтегазовых месторождениях при фильтрации с учетом образования песчаных и песчано-жидкостных пробок в скважинах имеет особое значение разработка эффективных методов оценки механизма процессов фильтрования неоднородных жидкостей, учитывая, что частицы задерживаются на поверхности перегородка и образуют слой осадка в пористых средах при постоянном перепаде давления или постоянном расходе жидкости. Особое внимание уделяется созданию научных основ и разработке вычислительных алгоритмов и программ теории фильтрации и фильтрования суспензий, частицы которых задерживаются на поверхности фильтра и образуют слой осадка. В то же время необходимо разработать алгоритмы и методы расчета характеристик и оценки состояний фильтрования и фильтрации суспензий в пористых средах.

В нашей республике на предприятиях, занимающихся добычей нефти, газа и газового конденсата, переработкой природного газа, уделяется большое внимание применению новых технологий при освоении нефтяных месторождений, повышению добычи нефти и газа с применением современных технологий. В «Стратегии развития Республики Узбекистан» на 2017-2021 годы, в частности, отмечается «...дальнейшая модернизация и диверсификация промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленные на опережающее развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, прежде всего по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов; ... сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, ...»². Важно создать программные комплексы, которые позволят проводить очистку осадка на забое в водонагнетательных скважинах, моделировать процессы фильтрации суспензии и проводить вычислительный эксперимент.

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

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по развитию Республики Узбекистан», «О дополнительных мерах по стимулированию внедрения инновационных проектов и технологий в производство» ПК-916 от 15 июля 2008 года, «Об усовершенствовании системы управления нефте-газодобывающей промышленностью» № ПК-3107 от 30 июня 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Настоящее исследование выполнено в рамках программы развития науки и технологий республики IV. «Математика, механика и информатика».

Степень изученности проблемы. В последние годы достаточно интенсивно были проведены исследования процесса фильтрования суспензий через пористое пространство с образованием осадка из твердых частиц, в частности, в работах И.М. Федоткина, Е.И. Воробьева, Н.А.Слезкина, Ф.И.Франкля, Х.А.Рахматулина, Р.И.Нигматулина, С.И.Криля, В.И.Вьюна, В.А.Жужикова, Н.Р.Grace, К.Atsumi, Т. А.Akiyama, R.G.Wakeman, P.Bedrikovetsky, B.V.Ramarao, D.E.Smiles. Процессы фильтрации суспензий с образованием кейк-слоя приведены в работах С. Tien, R.Bai, M.A.Khan, R.Burger, F. Concha и К.Н.Karlsen. Вычисления выполнены с использованием нескольких упрощённых гипотез теории фильтрации.

Отечественные ученые Ф.Б.Абуталиев, Ж.Ф.Файзуллаев, Н.М.Мухидинов, Р.Садуллаев, И.Алимов, Ж.Акилов, Н.Равшанов, И.К.Хужаев, Ш.Каюмов, Б.Х.Хужаёров, В.Ф.Бурнашев проводили исследования, связанные с решением задач фильтрования суспензий через пористые среды. Вопросами фильтрования суспензий в фильтре занимались Н.Равшанов, И.К.Хужаев и др.

В настоящее время проблема решения задачи взвешенных частиц в пористых средах с учетом нелинейных, экспоненциальных свойств изменения пористости, а также проблема учета аномальных свойств фильтрации через осадочный слой, включая релаксацию скорости фильтрации и градиента давления, проблемы разработки алгоритмов недостаточно изучена.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Тема диссертационной работы связана с планами НИР по следующим темам: «Гидродинамические задачи фильтрования и фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах», Этап III – «Составление моделей фильтрования и фильтрации суспензий с учетом неньютоновских свойств суспензии, упруго-пластических свойств осадка, многослойности фильтра и др.», выполненная на основе гранта по контракту ФА-Ф078 в 2014-2016 гг. в СамГУ.

Цель исследования. Разработка гидродинамических моделей фильтрования и фильтрации суспензий с учетом консолидации осадка, неньютоновских свойств суспензии и их численный анализ.

Задачи исследования:

усовершенствование математических моделей фильтрования неоднородных жидкостей с образованием осадка на поверхности фильтра на основе экспоненциальных, нелинейных законов консолидации;

усовершенствование математической модели фильтрования суспензий с образованием кейк-слоя в пористой среде с учетом конвективного переноса;

разработка релаксационной математической модели фильтрования с образованием кейк-слоя на поверхности фильтра;

разработка методов решения задач на основе релаксационных моделей фильтрования с образованием кейк-слоя на поверхности фильтра и обоснование методов решения поставленных в работе задач.

Объектом исследования являются пористые среды и осадкообразующие неоднородные жидкости, фильтрующиеся в пористой среде.

Предмет исследования. Математические модели, вычислительные алгоритмы, программные средства и гидродинамический анализ процессов фильтрации суспензии в пористой среде.

Методы исследования. В ходе исследовательской работы использованы теория фильтрации и фильтрования суспензий, методы математического моделирования, математического анализа, математической физики, численные методы и вычислительный эксперимент.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствована математическая модель фильтрования неоднородных жидкостей с образованием осадка на поверхности фильтра на основе экспоненциальных, нелинейных законов консолидации;

усовершенствована математическая модель фильтрования суспензий с образованием кейк-слоя на поверхности фильтра с учетом конвективного переноса;

разработана математическая модель процессов фильтрации и фильтрования суспензий с образованием осадка на поверхности фильтра для обобщенного релаксационного закона Дарси

выведена система дифференциальных уравнений релаксационного фильтрования суспензий с образованием кейк-слоя на поверхности фильтра при постоянном расходе фильтрата, которым численно решена при разных значениях времени релаксации.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

усовершенствована математическая модель фильтрования суспензий через тупиковые половолоконные фильтры с учетом условия Стефана на основе дифференциальных уравнений с подвижными граничными

условиями, а также разработаны соответствующие вычислительные алгоритмы;

разработаны программные средства для оценки нелинейных и экспоненциальных характеристик консолидации осадка методом ловли подвижного неизвестного фронта – границы раздела между суспензией и слоем осадка, для определения концентрации твердых частиц в слое осадка при различных значениях релаксационного времени вблизи границы «осадок – фильтр».

разработаны программные средства для оценки толщины слоя осадка и расхода фильтрата с увеличением релаксационного времени в процессе релаксационного фильтрования с образованием кейк-слоя.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновываются методами теории фильтрации и фильтрования твёрдых частиц, содержащихся в суспензии, которые задерживаются на поверхности перегородки и образуют слой осадка, соответствием характера расчетных результатов реальным физическим процессам и подробным физическим анализом полученных результатов, строгостью математических выкладок, а также использованием аппроксимаций с требуемой точностью, сопоставлением с результатами других авторов, осуществлявших исследования в данной области.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость проведенных исследований заключается в усовершенствовании теории фильтрации и фильтрования суспензий через пористое пространство с учетом экспоненциальных, нелинейных законов консолидации и релаксационных законов, а также выводом для них дифференциальных уравнений с подвижной границей, что вносит большой вклад в развитие теории фильтрации и механики сплошных сред.

Практическая ценность работы заключается в разработке модели релаксационного фильтрования суспензий с образованием осадка при добыче нефти и газа, в использовании численных методов, алгоритмов и программ для определения оптимальных параметров при проектировании с учетом экспоненциальных и нелинейных законов консолидации в теории фильтрации и фильтрования.

Внедрение результатов исследования. На основе вычислительных алгоритмов и программных средств, разработанных по усовершенствованным моделям процессов фильтрации и фильтрования суспензий с образованием кейк-слоя на поверхности фильтра:

численное решение алгоритмов и программных средств по образованию кейк-слоя при фильтрации смесей, суспензий, в частности, пробок из твердых частиц на забое нагнетательных скважин использованы при расчете характеристик кислотного воздействия на призабойную зону и оптимизации планов геолого-технических мероприятий по кислотной обработке призабойной зоны пласта на скважинах №3 месторождения Северный Уртабулак, №118 - Южный Кемачи, №102 - Шуртепа и №22 –

Сарикум ООО «Мубарекнефтегаз» АК «Узнефтегаздобыча» Мубарекского района Кашакардарьинской области для использования при расчетах увеличения дебита нефти (справка № 04/17-434ж от 27 сентября 2018 года АО «Узнефтегаздобыча»). От внедрения научных разработок получен эффект повышения точности при определении полей пластовых характеристик по времени и пространству на 5%, а также возможность сократить время составления плана геолого-технических мероприятий по кислотному воздействию на призабойную зону пласта на 30% ;

численное решение математической модели по образованию кейк-слоя при фильтрации суспензий с учетом конвективного переноса и программные средства дали возможность увеличения точности планирования соляно-кислотной обработки применены на скважинах №3, №118, №102 и №22 ООО «Мубарекнефтегаз» АК «Узнефтегаздобыча» Мубарекского района Кашакардарьинской области для увеличения дебита нефти (справка № 04/17-434ж от 27 сентября 2018 года АО «Узнефтегаздобыча»). Внедрение научных разработок позволяет увеличить дебит добывающих скважин на 3-4%;

численные алгоритмы и моделирование процессов фильтрации и фильтрования суспензий с образованием осадка на поверхности фильтра для обобщенного релаксационного закона Дарси использованы в фундаментальном проекте «Междисциплинарные подходы повышения продуктивности нефтегазовых скважин» ВР.20.2016-5 в международной лаборатории «Мега-сети» Иркутского национального исследовательского технического университета при построении сетевых онтологий и моделей сложных динамических процессов фильтрования неоднородных жидкостей в неоднородных пористых средах с образованием песчаных и песчано-жидкостных пробок в нефтегазодобывающих и водонагнетельных скважинах в различных геолого-технических условиях (справка № И-3667/18 от 10 сентября 2018 года, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия). Использование научных результатов дало возможность разработки эффективных технологий удаления песчаных пробок;

результаты научного исследования использованы при моделировании и численном анализе процессов фильтрации и фильтрования суспензий в неоднородных пористых средах в фундаментальных проектах на тему «Околопороговая лазер-ионизационная спектроскопия атомов тяжёлых элементов (Pt, Au, Hg, Tl, Pb)» Ф2-15 алгоритмов расчетов вероятности квантовых переходов сильно возбужденных состояний тяжелых элементов периодической системы (2012-2015 гг) (справка № 89-03-2800 от 11 августа 2018 года Министерства высшего и среднего специального образования РУз). Использование научных результатов дало возможность численного решения задач с учетом спектроскопических параметров, влияющих на квантовые переходы и их эффективность.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования доложены на 5 международных и 5 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано 20 научных труда: 10 научных статей, в том числе 9 в республиканских и 1 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получено 1 свидетельство о регистрации программных продуктов для ЭВМ (№ DGU 05382).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 112 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, приведен обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации и степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, выявлен объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения о внедрении результатов исследования, об опубликованных работах и о структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названной «Математическое описание процессов фильтрации суспензий» приведен краткий аналитический обзор исследований по теме работы и модификация математической модели фильтрации и фильтрования суспензий с учетом новых факторов.

В параграфе 1.1 приведены физические основы процессов фильтрования, характеристики жидкой и твердой фаз суспензий.

В параграфе 1.2 рассматриваются математические модели фильтрации и фильтрования суспензий. Приведены модели классической фильтрации с закупориванием пор, фильтрование с образованием осадка. Также рассмотрены уравнения механики многоскоростных континуумов, частным случаем которых являются уравнения движения двухфазных потоков.

В параграфе 1.3 рассмотрены одномерные плоские и осесимметричные задачи типа Стефана для процесса фильтрования.

В параграфе 1.4 описан процесс фильтрации с образованием осадка внутри среды.

В параграфе 1.5 рассмотрено математическое моделирование скорости прироста массы осадка на внешних поверхностях тупиковых половолоконных фильтров. Уравнение скорости осаждения частиц записываем в виде

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} = (\beta + k_3 V_p) c - \alpha \Gamma, \quad (1)$$

где Γ - удельная масса осадка; c - концентрация; α , β - коэффициенты пептизации и адсорбции; k_3 - константа, t - время; z - координата; $V_p = p/(\mu(R_m + r_c\Gamma))$ - скорость фильтрация; p - давление; μ - динамическая вязкость; $R_m = p/(\mu V_0)$ - сопротивление мембраны; r_c - удельное сопротивление осадка. Увеличение скорости осаждения, зависящей от проницаемости мембран, выражается добавленной нами составляющей $k_3 V_p c$ в (1).

Закон сохранения массы частиц без учета диффузионных эффектов в дифференциальной форме имеет следующий вид

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cw)}{\partial z} = -s \frac{\partial \Gamma}{\partial t}, \quad (2)$$

где w - скорость жидкости.

Уравнение неразрывности в интегральной форме записано в виде

$$w = \int_z^d s V_p dz. \quad (3)$$

Начальные и граничные условия для решения уравнений (1) - (3) следующие

$$c = 0, \Gamma = 0 \text{ при } t = 0, z > 0, \quad (4)$$

$$c = c_0 \text{ при } z = 0, t > 0. \quad (5)$$

Приведены некоторые результаты численных расчетов по определению распределения концентрации взвешенных частиц и удельной массы осадка по глубине фильтра. Результаты расчетов показывают, что с течением времени концентрация взвешенных частиц c и удельная масса осадка Γ за счет накопления частиц суспензии возрастают. С увеличением k_3 концентрация взвешенных частиц в заданных точках и за заданное время уменьшается. Наоборот, удельная масса осадка при этом увеличивается.

Во второй главе диссертации, названной «Гидродинамическая теория фильтрования суспензий с образованием нелинейно сжимаемого осадочного слоя», дается вывод уравнений кейк-фильтрования. Затем решаются задачи фильтрования с учетом консолидации кейк-слоя без и с учетом конвективных эффектов. В отдельном параграфе рассмотрен режим с пульсационным колебанием давления. Исследована осесимметричная задача фильтрования с образованием кейк-слоя.

Параграф 2.1 посвящен выводу уравнений кейк-фильтрования. При фильтровании суспензии с образованием кейк-слоя движущимися средами являются несущая фаза суспензии, т.е. сама жидкость, и взвешенные в жидкости твердые частицы. Следовательно, суспензия рассматривается как двухфазная жидкость. При выводе уравнений фильтрования эти фазы рассматриваются как континуумы, т.е. суспензия представляет собой двухфазную взаимопроникающую среду. В каждой точке области фильтрования вводятся две фильтрационные и гидродинамические

характеристики: скорость фильтрации, пористость, давление и др. Выведено основное уравнение фильтрования с образованием кейк-слоя. Оно решается при соответствующих начальных и граничных условиях, заданных в частности, на подвижной границе $x = L(t)$, которая должна определяться из дополнительного уравнения.

В параграфе 2.2 рассматривается фильтрование суспензий с образованием нелинейно - сжимаемого осадочного слоя. Математическую модель фильтрования записываем следующим образом

$$\frac{\partial p}{\partial t} = b(p) \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}, \quad 0 < t \leq T, \quad z \in \Omega_2, \quad (6)$$

$$p(z, 0) = p_0(z), \quad z \in \Omega_1, \quad p(0, t) = p_2, \quad p[L(t), t] = p_1, \quad 0 < t \leq T, \quad (7)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\nu \mu}{u} \frac{dL}{dt}, \quad 0 < t \leq T, \quad (8)$$

где p - поровое давление, p_0, p_1, p_2 - давление жидкости в начальный момент времени, на входе в слой осадка, на выходе из фильтрующего слоя, соответственно. $L(0) = z_0$, $b(p) = b_0 e^{\lambda(p-p_1)}$ - коэффициент консолидации, $p_0 = p_2 + \frac{z(p_1 - p_2)}{z_0}$, $0 \leq z \leq z_0$, ν - удельное сопротивление осадка, μ - коэффициент вязкости, u - коэффициент наружного отложения осадка, b_0, λ - заданные параметры. $\Omega_1(0, z_0)$ - область фильтрующего слоя, $\Omega_2(z_0, L(t))$ - область осадка. $z = L(t)$ - подвижная граница (Рис.1).

Задача (6) - (8) решена численно. Из полученных результатов видно, что с увеличением значения λ наблюдается отстающая динамика $L(t)$.

В параграфе 2.3 рассмотрен процесс фильтрования суспензий с учетом конвективного переноса частиц. Математическая модель конвективного фильтрования задается в виде

$$\frac{\partial p}{\partial t} = b(p) \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + q_{\text{вых}} \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (9)$$

$$p[L(t), t] = p_1, \quad t > 0, \quad p(0, t) = p_2, \quad p(z, 0) = p_0, \quad (10)$$

$$\left(\frac{1}{\mu \nu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right)_{z=h(t)} = \frac{1}{u_0} \frac{dL}{dt}, \quad (11)$$

где $b(p) = b_0 + \lambda(p_1 - p)$ - коэффициент консолидации. На границе «осадок-перегородка» расход жидкости задается как $q = q_{\text{вых}} = - \left(\frac{1}{\mu \nu} \frac{\partial p}{\partial z} \right)_{z=0}$.

Установлено, что с течением времени происходит перераспределение давления по толщине осадка, что имеет нелинейный характер. Относительный расход жидкости на границе «осадок - фильтрующий элемент» интенсивно уменьшается. Рост слоя осадка происходит по нелинейному закону.

В параграфе 2.4 исследуется задача конвективного фильтрования суспензий при наложении пульсационных колебаний давления.

Математическая модель фильтрования суспензии с учетом конвективного переноса частиц при пульсационных колебаний давления представим в виде

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial p_1}{\partial t} + b(p) \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + q_{\text{вых}} \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (12)$$

$$p(z, 0) = p_0, \quad (13)$$

$$p(0, t) = p_2, \quad (14)$$

$$p[L(t), t] = p_1(t), \quad t > 0. \quad (15)$$

$$\left(\frac{1}{\mu\nu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right)_{z=h(t)} = \frac{1}{u_0} \frac{dL}{dt}, \quad (16)$$

где $L(0) = z_0$, Принимаем $p_0 = 0$, $p_1(t) = p_1^0(1 + \psi \cos \chi t)$;
 $b(p) = b_0 + \lambda(p - p_1(t))$.

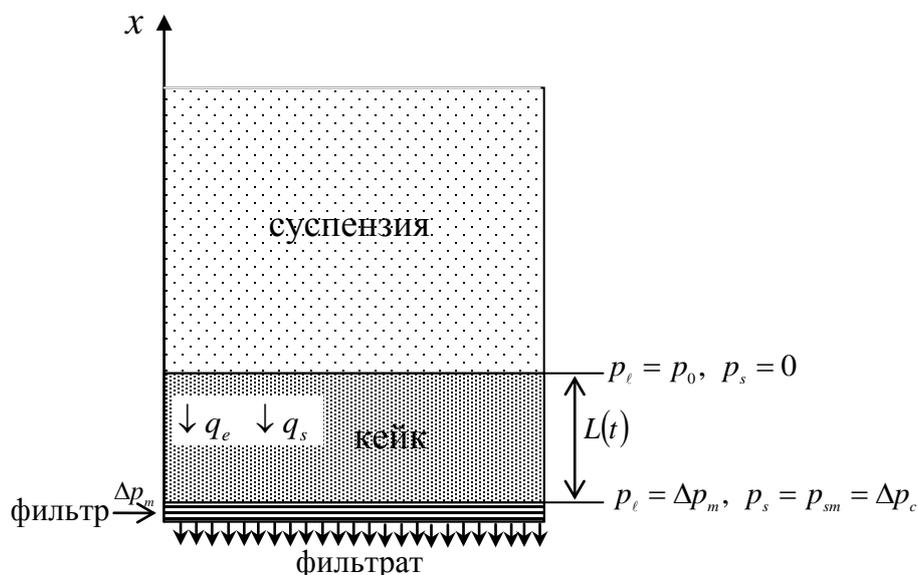


Рис.1. Схема фильтрования с образованием кейк-слоя

Из полученных результатов видно, что с течением времени давление уменьшается периодически. Относительный расход жидкости снижается периодически на границе «осадок - фильтрующий элемент». Рост толщины кейк-слоя имеет нелинейному характер.

В параграфе 2.5 рассмотрена осесимметричная задача фильтрации суспензий с образованием кейк-слоя. Приводится вывод уравнения фильтрования. Уравнения неразрывности для жидкой и твердой фаз в цилиндрических координатах имеют вид:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{1}{2\pi r} \frac{\partial q_\ell}{\partial r} = 0, \quad (17)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} + \frac{1}{2\pi r} \frac{\partial q_s}{\partial r} = 0, \quad (18)$$

где q_ℓ и q_s - соответственно скорости фильтрации для жидкой и твердой фаз, ε и ε_s - относительное содержание жидкой и твердой фаз. t - время, r - радиальная координата,

Закон Дарси для осесимметричного фильтрования запишем в виде

$$q_\ell - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_s} q_s = -2\pi r \frac{k}{\mu} \frac{\partial p_\ell}{\partial r}, \quad (19)$$

где p_ℓ - давление в жидкой фазе, k - проницаемость, μ - вязкости.

Дифференцируя уравнение (19) по r , используя (17), (18) с учетом $\varepsilon_s = \varepsilon_s^0 \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^\beta$, $k = k^0 \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{-\delta}$ (ε_s^0 , k^0 , α^0 - значения ε_s , k , α при $p_s = 0$, соответственно, p_A - характерное давление, β , δ - показатели - постоянные величины) получим основное уравнение фильтрования с образованием кейк - слоя в цилиндрических координатах

$$\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\varepsilon_s^0 \cdot r \frac{k^0}{\mu} \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^0} \right)^{-\delta/\beta} f' \frac{\partial p_s}{\partial r} \right) - \frac{q_{\text{вых}}}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial r}, \quad (20)$$

где $q_{\text{вых}} = - \left[2\pi r \frac{k^0}{\mu} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{-\delta} \frac{\partial p_\ell}{\partial r} \right]_{r=R}$ - расход фильтрата на выходе из фильтра.

Приведём уравнение для подвижного радиуса $R_L(t)$, который выражает толщину цилиндрического кейк - слоя, т.е. радиус границы между суспензией и кейк - слоем в следующем виде:

$$\frac{dR_L}{dt} = \frac{\varepsilon_s^0}{\varepsilon_s^0 - \varepsilon_{s_0}} \left[\frac{k^0}{\mu} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{-\delta} \frac{\partial p_\ell}{\partial r} \right]_{r=R_L^-} + \frac{1}{2\pi R_L^-} q_{\text{вых}}. \quad (21)$$

На поверхности $r = R_L^-$ сжимающие частицы напряжения равны нулю, так что $\varepsilon_s|_{R_L^-}$ можно принять равным ε_s^0 - твердосодержимости при нулевом напряжении. С другой стороны $\varepsilon_s|_{R_L^+}$ равно концентрации твердых частиц в суспензии ε_{s_0} .

Если процесс начинается в новом фильтре без предварительной прокачки жидкости, то можно принять начальное условие

$$R_L(0) = R. \quad (22)$$

Если процесс фильтрования начинается с внезапным приложением давления или заданием скорости потока начальные условия для p_ℓ и p_s можно принять нулевыми, т.е.

$$p_\ell(0, r) = 0, \quad p_s(0, r) = 0. \quad (23)$$

Граничные условия для осесимметричной задачи

$$p_\ell = p_0, \quad p_s = 0, \quad \varepsilon_s = \varepsilon_s^0 \quad \text{при} \quad r = R_L(t), \quad (24a)$$

$$-2\pi r \frac{k}{\mu} \frac{\partial p_\ell}{\partial r} = \frac{-p_\ell}{R_m \mu} \quad \text{при} \quad r = R. \quad (24б)$$

Задача (20) - (24) решена методом конечных разностей. Установлено, что компрессионное давление уменьшается от поверхности фильтра до границы кейк - слоя и суспензии. Толщина кейк - слоя монотонно растет.

В третьей главе диссертации, названной «**Релаксационные уравнения фильтрования с образованием кейк-слоя**», посвящена разработке математических моделей релаксационного фильтрования жидкостей с образованием кейк слоя.

В параграфе 3.1 проведен анализ опубликованных работ по методологии математического моделирования, численных методов анализа релаксационных явлений при фильтрации жидкостей. Обычно при описании релаксационной фильтрации используются различные феноменологические модели, учитывающие запаздывание в соотношениях между скоростью фильтрации и градиентом давления. В отдельных случаях приходится учитывать запаздывание и в уравнениях состояния. Рассмотрены некоторые гипотетические модели релаксационной фильтрации, предложенные разными исследователями.

В параграфе 3.2 приведены релаксационные уравнения консолидации кейк-слоя. Релаксационный закон фильтрования примем в виде

$$\left(1 + \lambda_{q_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{q_\ell}{\varepsilon} - \left(1 + \lambda_{q_s} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{q_s}{\varepsilon_s} = -\frac{1}{\varepsilon \mu} k \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial p_\ell}{\partial x}, \quad (25)$$

где λ_{q_ℓ} , λ_{q_s} - времена релаксации скоростей фильтрации q_ℓ , q_s , соответственно, λ_{p_ℓ} - время релаксации градиента давления.

Пренебрегаем релаксационными эффектами скорости фильтрации твердой фазы по сравнению с жидкой фазой. Тогда (25) можно записать в виде

$$\left(1 + \lambda_{q_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{q_\ell}{\varepsilon} - \frac{q_s}{\varepsilon_s} = -\frac{1}{\varepsilon \mu} k \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial p_\ell}{\partial x}. \quad (26)$$

Для простоты рассмотрим случай с релаксацией градиента давления, т.е. примем $\lambda_{q_\ell} = 0$. Тогда из (26) получим

$$\frac{q_\ell}{\varepsilon} - \frac{q_s}{\varepsilon_s} = -\frac{1}{\varepsilon \mu} k \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial p_\ell}{\partial x}. \quad (27)$$

Для закона (27) получено уравнение фильтрования относительно компрессионного давления p_s .

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = \frac{k^0 p_A}{\mu \beta} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{1-\beta} \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{\beta-\delta} \left(1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t}\right) \left(\frac{\partial p_s}{\partial x}\right) \right] - q_{\ell m} \frac{\partial p_s}{\partial x}, \quad (28)$$

где k^0 - значение проницаемости при $p_s = 0$, $q_{\ell m}$ - поток фильтрата через фильтр:

$$q_{\ell m} = \frac{k}{\mu} \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0}. \quad (29)$$

Подвижный фронт $L(t)$ - граница между суспензией и кейк-слоем определяется из

$$\frac{dL}{dt} = - \frac{\varepsilon_s^0}{\varepsilon_s^0 - \varepsilon_{s_0}} \left[\frac{k}{\mu} \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \right]_{L} + q_{\ell m}. \quad (30)$$

Начальные и граничные условия для решения (29), (30) имеют вид

$$p_s(0, x) = 0, \quad -k \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{P_0 - P_s}{R_m} \Big|_{x=0}, \quad p_s(t, L(t)) = 0. \quad (31)$$

На основе численного решения задачи (28) - (31) установлено, что увеличение времени релаксации при прочих равных условиях приводит к ускоренному росту толщины осадка (Рис.2). Другими словами, релаксационные эффекты в зависимости фильтрационного потока от градиента давления приводят к интенсификации осаждения частиц суспензии на поверхности фильтра в виде осадка.

По предложенным выше алгоритмам разработан программный комплекс, на который получено авторское свидетельство Агентства по интеллектуальной собственности РУз (№ DGU 05382).

В параграфе 3.3 исследуется релаксационная фильтрация при постоянном расходе. Рассматривается задача с заданным скоростным режимом $q_\ell + q_s = v_0 = const$. Для этого режима начальное и граничные условия для решения (28), (30) имеют вид

$$p_s(0, x) = 0, \quad \frac{k}{\mu} \left(1 + \lambda_{p\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0} = - \frac{P_\ell}{\mu R_m} \Big|_{x=0} = -v_0 = const < 0, \quad p_s(t, L(t)) = 0,$$

где R_m - приведенное сопротивление фильтра.

В отличие от режима с заданным давлением здесь $p_\ell + p_s$ не является постоянным, а является функцией времени $p_\ell + p_s = r(t)$, которая определяется в процессе решения задачи.

Увеличение времени релаксации при прочих равных условиях приводит к ускоренному росту толщины осадка. Зависимость $r(t) = p_\ell + p_s$ в точке $x = 0$ имеет возрастающую динамику (Рис.3). При этом, релаксационные свойства фильтрационного потока приводят к запаздывающей динамике $r(t)$. Значения компрессионного давления с увеличением значений времени релаксации уменьшаются. Это уменьшение для больших значений времени становится незначительной, что можно объяснить ослаблением влияния релаксации давления (Рис.4). С течением

времени величина компрессионного давления во всех точках кейк-слоя увеличивается.

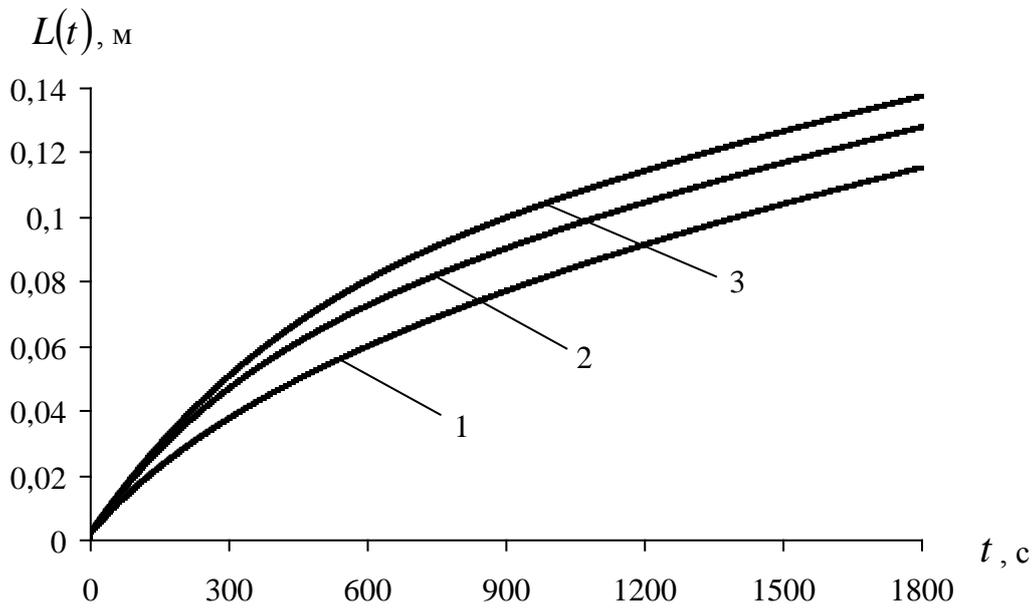


Рис. 2. Динамика толщины слоя осадка на поверхности фильтра при $\lambda_{p\ell} = 0$ (1); 150 (2); 350 (3) с.

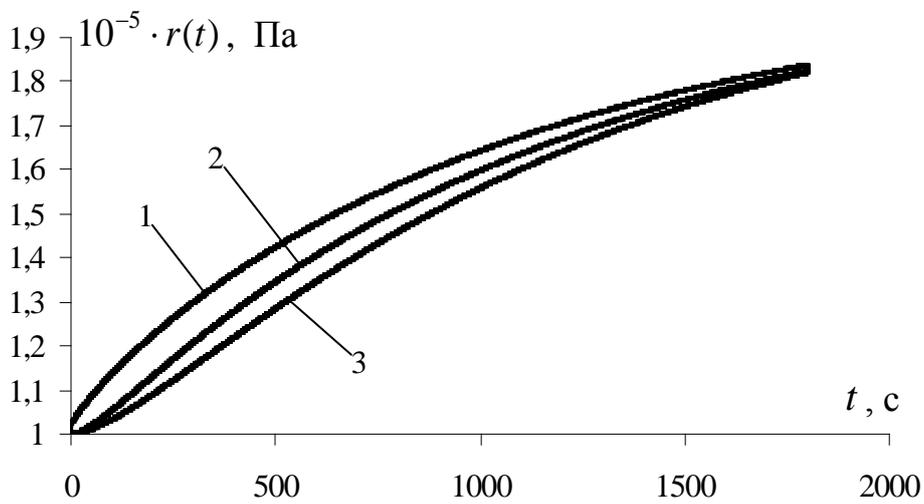


Рис.3. Изменение $r(t)$ в точки $x = 0$ при $\lambda_{p\ell} = 0$ (1);150 (2); 350 (3) с.

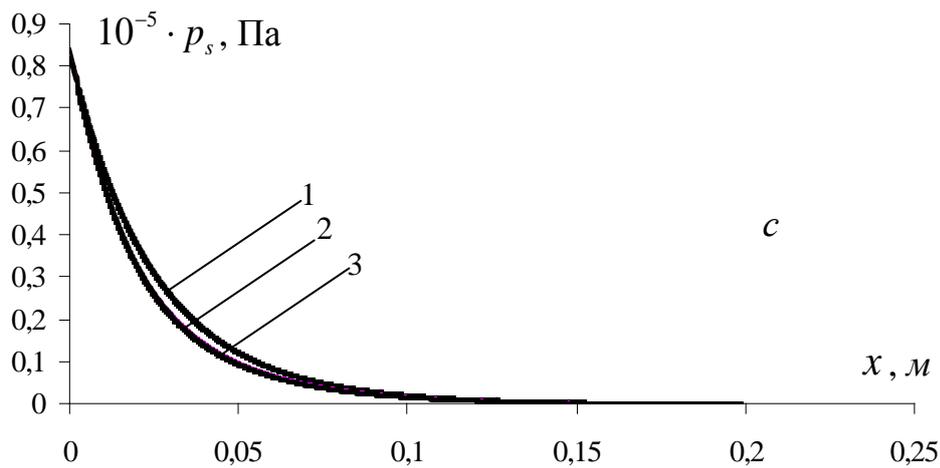
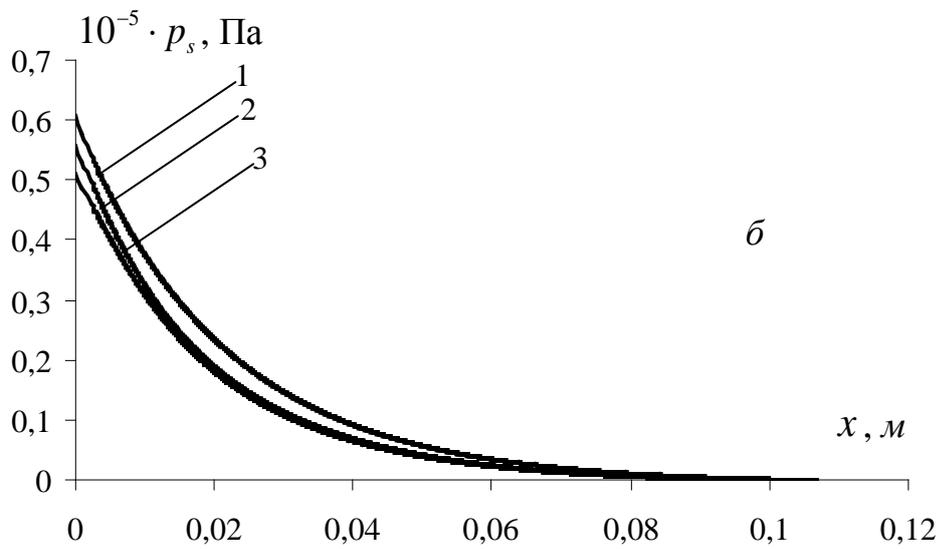
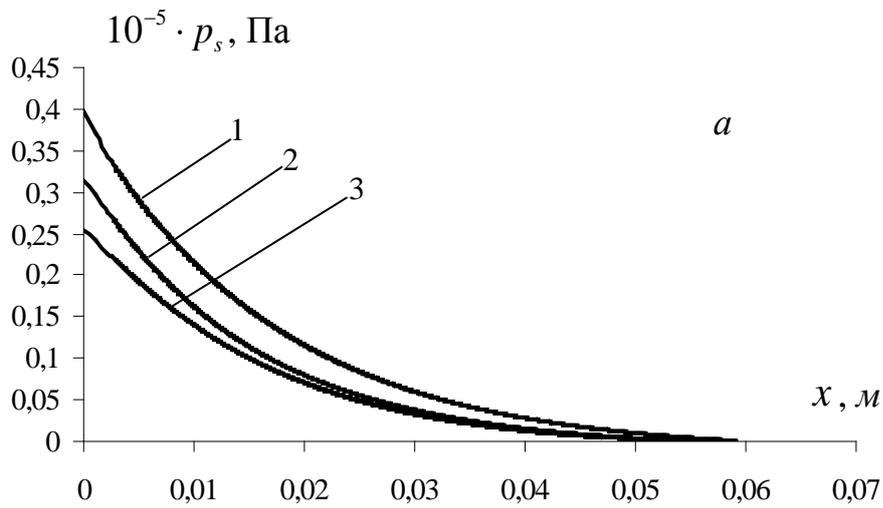


Рис. 4. Распределение компрессионного давления по толщине осадка при $\lambda_{pl} = 0$ (1); 150 (2); 350 (3) с, $t = 450$ (а); 900 (б); 1800 (с) с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных научно-исследовательских работ по теме диссертации доктора философии (PhD) «Составление и численный анализ гидродинамических моделей фильтрации и фильтрования суспензий» сводятся к следующим основным выводам:

1. Обобщена модель фильтрования суспензии через тупиковые половолоконные фильтры. На основе численного решения задачи показано, что увеличение коэффициента k_3 приводит к интенсификации осаждения частиц на поверхности фильтра.
2. Рассмотрена и численно решена задача для одномерного нелинейного уравнения фильтрования при постоянном перепаде давления. Показано, что рост значения параметра λ способствует соответствующему изменению коэффициента консолидации, что в свою очередь влияет на рост слоя осадка и распределение давления в нем. С увеличением значения λ можно наблюдать отстающую динамику роста $h(t)$. По мере роста слоя осадка в фиксированных точках давление уменьшается.
3. Рассмотрена и численно решена задача фильтрования суспензий с учетом конвективного переноса частиц. На основе полученных результатов построены графики распределения давления в слое осадка и скорости на границе осадок-перегородка. Твердые частицы суспензии внутри слоя осадка движутся по направлению к фильтровальной перегородке. Вследствие этого при фильтровании со сжимаемыми осадками стоит учитывать конвективный член. Из численных результатов следует, что влияние концентрации суспензии на конвективный член проявляется в основном для сильно сжимаемых осадков.
4. Анализирована задача фильтрования суспензий с учетом конвективного переноса частиц при пульсационных колебаниях давления. Показано, что с течением времени давление уменьшается периодически и происходит его перераспределение, а само распределение за счет нестационарных эффектов имеет нелинейный характер. Относительный расход жидкости на границе «осадок – фильтрующий элемент» интенсивно уменьшается периодически. Рост слоя осадка происходит по нелинейному закону.
5. Составлены уравнения фильтрования суспензий, описывающие рост кейк-слоя на поверхности фильтра для обобщенного неравновесного закона Дарси. Поставлены и численно решены гидродинамические задачи фильтрования для этих уравнений. На основ численных расчетов показано, что с усилением релаксационных эффектов, при прочих равных условиях, рост слоя осадка станет интенсивнее. В фиксированном месте осадка компрессионное давление изменяется слабо. Расход фильтрата также увеличивается. Установлено также, что происходит значительное уплотнение осадка вблизи границы «осадок – фильтр». Вследствие этого проницаемость кейк-слоя уменьшается, одновременно темп этого уменьшения увеличивается во времени.

6. Решена задача релаксационного фильтрования с образованием кейк-слоя при постоянном расходе. Установлено, что общее давление $p_\ell + p_s$ имеет возрастающую динамику, релаксационные свойства потока задерживают развитие общего давления в заданной точке. В частности, динамика компрессионного давления p_s имеет запаздывающий характер. Аналогичное явление имеет место и для p_ℓ . В целом, релаксационный характер потока существенно изменяет как рост толщины кейк-слоя, так и его фильтрационные характеристики.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES SCIENCES
DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 UNDER INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES AND TASHKENT INSTITUTE
OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL MECHANIZATION
ENGINEERS**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

SAYDULLAEV USMONALI ZHURAEVICH

**DERIVATION AND NUMERICAL ANALYSES OF SUSPENSIONS
FILTERING AND FILTRATION HYDRODYNAMIC MODELS**

01.02.05 – Mechanics of liquid and gas

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSIC AND MATHEMATICS SCIENCES**

TASHKENT – 2019

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.3.PhD/FM125

The dissertation has been prepared at the Samarkand State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.tiame.uz and on the Information and Educational Portal "ZiyoNet" at www.ziyo.net.

Scientific adviser: **Khuzhayorov Bakhtiyor Khuzhayorovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Official opponents : **Khudaykulov Savet Ishankulovich**
Doctor of Technical Sciences

Dalaboev Umridin
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, docent

Leading organization: **Scientific and innovation center of information and communication technologies at the Tashkent university of information technologies**

The defense will take place 15 May 2019 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of Scientific Council DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of AS RUz and Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (Address 100000, Tashkent, Kari Niyaziy street, 39, Conference hall-4. Tel: (99871) 237-46-68; fax: (99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiame.uz).

The thesis is available in the Information Resource Center of Tashkent Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (registration number 68). Address 100000, Tashkent, Kari Niyaziy street, 39, Conference hall-4. Tel: (99871) 237-46-68; fax: (99871) 237-38-79.

Abstract of the dissertation sent out on 26 April 2019 y.
(Mailing report No. 1 on 25 April 2019 y.).

M.M.Mirsaidov
Chairman of the Scientific Council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor, academician

Sh.Khudaynazarov
Scientific secretary of Scientific Council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, docent

I.K.Khuzhaev
Chairman of the council seminar at the Scientific Council for the awarding degrees, doctor of technical sciences

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work. Development of hydrodynamic models of filtration and filtration of suspensions, taking into account sediment consolidation, non-Newtonian properties of the suspension and their numerical analysis.

The object of the research work. The object of the study is porous media through which non-uniform liquids are filtered, in particular, suspensions.

The scientific novelty of the research is as follows:

improved mathematical model of filtering suspensions through dead-end hollow fiber filters, taking into account the rate of sediment mass, depending on the permeability of the membranes;

improved mathematical model of filtering inhomogeneous liquids with the formation of sediment on the surface of the filter based on the exponential, nonlinear laws of consolidation;

improved mathematical model of filtering suspensions with the formation of sediment in a porous medium, taking into account convective transfer;

a system of differential equations for the filtration of suspensions with the formation of a cake layer on the surface of the filter under different boundary conditions and different values of the relaxation time has been developed.

The application of research results. Based on the results of the research, software products, mathematical models, and numerical algorithms that were also produced based on improved models of filtering and filtering suspensions in a porous medium were compiled:

The outcomes of the study were implemented, applied and executed for calculating the characteristics of acid impact on the bottom-hole zone and optimizing plans for geological and technical measures for acid treatment of the bottom hole formation zone in wells No. 3 of the North Urtabulak field, No. 118 - South Kemachi, No. 102 - Shurtepa, and No. 22 - Sarikum Mubarekneftegaz LLC, JSC" Uzneftegazdobycha "of the Mubarak district of the Kashakadarya region for use in calculating the increase in oil production (reference number 04/17-434zh dated September 27, 2018, Uzneftegazdobycha JSC). After the introduction of scientific developments, the accuracy of determining the fields of reservoir characteristics in time and space increased by 5%;

Methods for calculating and gathering more substantiated geological and technical measures for acid treatment of the bottom-hole formation zone were used in wells No. 3, No. 118, No. 102 and No. 22 of Mubarekneftegaz LLC, JSC Uzneftegazdobycha of Mubarak District of the Kashakadaryo Region to increase oil production (reference No.04/17-434ж dated September 27, 2018, JSC "Uzneftegazdobycha");

Methods of increasing the accuracy of hydrochloric acid treatment planning were applied at wells No. 3, No. 118, No. 102 and No.22 of Mubarekneftegaz LLC, JSC Uzneftegazdobycha of Mubarek District, Kashakadarya Region to increase oil production rate (reference No.04/17-434zh dated September 27, 2018

year JSC "Uzneftegazdobycha"). The introduction of scientific developments can increase the flow rate of producing wells by 3-4%;

The results of scientific research were used to solve problems, as well as to simulate the processes of filtering and filtering suspensions in inhomogeneous porous media in fundamental projects on the topic "About threshold laser-ionization spectroscopy of heavy elements (Pt, Au, Hg, Tl, Pb)", F2- 15 algorithms for calculating the probability of quantum transitions of highly excited states of the heavy elements of the periodic system (2012-2015) (reference number 89-03-2800 of August 11, 2018 of the Ministry of Higher and Secondary Special Education). The use of scientific results made it possible to numerically solve problems, taking into spectroscopic parameters, affecting quantum transitions and their efficiency;

The results of the research were utilized to solve issues, as well as to simulate the processes of filtering and filtering suspensions with the formation of sediment on the filter surface for the generalized Darcy relaxation law in fundamental projects on the topic "Interdisciplinary approaches to increasing oil and gas well productivity" BP.20.2016-5 in the international laboratory "Mega - networks" of the Irkutsk National Research Technical University when building network ontologies and models of complex dynamic processes filtration of inhomogeneous liquids in inhomogeneous porous media with the formation of sand and sand-liquid plugs in oil and gas producing and water-injection wells in various geological and technical conditions (reference No.I-3667/18 dated September 10, 2018 Irkutsk National Research Technical University, Russia). The use of scientific results made it possible to develop efficient technologies for the removal of sand stoppers;

Structure and scope of the dissertation. The thesis consists of an introduction, three chapters, a conclusion with main conclusions, results and a list of literature. The total amount of work includes 112 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М. Математическое моделирование скорости прироста массы осадка на внешних поверхностях тупиковых половолоконных фильтров // Узбекский журнал: Проблемы механики. – 2011. – №3-4. – С. 34-37. (01.00.00; № 4).
2. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж. Фильтрация суспензий с учетом конвективного переноса частиц // Узбекский журнал: Проблемы механики. – 2013. – №2. – С. 89-93. (01.00.00; № 4)
3. Сайдуллаев У.Ж. Фильтрация суспензий с образованием нелинейно сжимаемого осадочного слоя // Научный вестник СамГУ. – 2013. – №2. – С. 35-38. (01.00.00; № 2)
4. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Сайдуллаев У.Ж. Уравнения фильтрации суспензий с образованием релаксирующего кейк-слоя // Узбекский журнал: Проблемы механики. – 2014. – №3-4. – С. 69-72. (01.00.00; № 4)
5. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж. Фильтрация суспензий с учетом конвективного переноса частиц при пульсационных колебаниях давления // Узбекский журнал: Проблемы механики. – 2014. – № 2. – С. 61-65. (01.00.00; № 4)
6. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Сайдуллаев У.Ж. Численное решение задачи фильтрации суспензий с образованием релаксирующего кейк-слоя // Научный вестник СамГУ. – 2014. – №5(87). – С. 30-36. (01.00.00; № 2)
7. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М. Численное решение задачи релаксационного фильтрации суспензий с образованием кейк-слоя // Узбекский журнал: Проблемы механики. – 2016. – № 2. – С. 92-97. (01.00.00; № 4)
8. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж. Задачи релаксационного фильтрации суспензий с образованием кейк-слоя // Доклады АН РУз. – 2017. – № 3. – С. 92-97. (01.00.00; № 7)
9. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж. Осесимметричная задача фильтрации суспензий с образованием кейк-слоя // Узбекский журнал: Проблемы механики. – 2017. – № 3. – С. 110-113. (01.00.00; № 4).
10. Khuzhayorov B.Kh., Saydullayev U.J. Numerical solution of relaxation filtration equations with forming a consolidating cake layer // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2018. – Vol 5. – P. 5102-5110. (05.00.00; № 8).

II бўлим (II часть; II part)

11. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Рахимов Ш.И. Математическое моделирование скорости прироста массы осадка на внешних поверхностях тупиковых половолоконных фильтров // Труды научной конференции «Проблемы современной математики». – Карши, 2011. – С.550-553.
12. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж. Численное решение линейной задачи конвективного фильтрования // Материалы Республиканской научной конференции «Актуальные вопросы математики, математического моделирования и информационных технологий». – Термиз, 2012. – С.159-162.
13. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж. Фильтрование суспензий с учетом конвективного переноса частиц при пульсационных колебаниях давления // Труды международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий - Аль-Хорезми 2014». – Самарканд, 2014. – С.172-175.
14. Сайдуллаев У.Ж., Шадмонов И.Э. Численное решение задачи фильтрования суспензий при пульсационных колебаниях давления // Тезисы докладов VIII Казахстанско-Российской международной научно-практической конференции «Математическое моделирование в научно-технических и экологических проблемах нефтегазовой отрасли» (Сборник трудов). – Атырау, 2014. – С.298-302.
15. Saydullayev U.J. Numerical solution of the suspensions filtering problem at pulsing vibration of the pressure // Международная конференция «Прикладной и геометрический анализ». – Самарканд, 2014. – С.26-27.
16. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М. Решение задачи фильтрования суспензий с образованием релаксирующего кейк-слоя // Тезисы докладов республиканской научной конференции с участием зарубежных ученых «Современные методы математической физики и их приложения». – Тошкент, 2015. – С. 238-240.
17. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М. Численное решение задачи фильтрования суспензий с образованием релаксирующего кейк-слоя // Материалы Республиканской научной конференции. – Навоий, 2015. – С.123-127.
18. Сайдуллаев У.Ж., Алавиддинов Н. Релаксационное фильтрование суспензий при постоянном расходе // Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых. – Термиз, 2016. – С.94-96.
19. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М. Численное моделирование фильтрации слабосжимаемой суспензии с образованием осадка внутри фильтра // Труды международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологии-Аль-Хорезми 2016». – Бухара, 2016. – С.152-155.

20. Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М., Усанов Ё.У. Задача Стефана по фильтрованию суспензий с образованием релаксирующего кейк-слоя // Труды международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологии-Аль-Хорезми 2016». – Бухара, 2016. – С.135-137.
21. Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М. Расчет процесса релаксационной фильтрации суспензии с образованием кейк-слоя, № DGU 05382, Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал Мулк Агентлиги, Тошкент, 2018.

Автореферат “Самарқанд давлат университети таҳририй – нашриёт бўлими” таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз (резюме) тилларидаги матнлари мослиги текширилди (24.04.2019 й.)

Бичими 60x84 1/16 «Times» гарнитураси. Офсет усулида босилди.
Шартли босма табағи 3 Тиражи 100.
Буюртма: № 15
«ЎзР фанлар академияси асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилди.
Босмохона манзили: 100170, Тошкент шаҳри, Зиёлилар кўчаси, 13 уй.