

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018.Т/ФМ.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ДЖИЯНОВ ТУРСУНПУЛОТ ОРТИКОВИЧ

**БИРЖИНСЛИМАС СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ҒОВАК МУҲИТЛАРДА
АНОМАЛ СИЗИШИ МОДЕЛЛАРИНИ ТУЗИШ
ВА ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

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

Тошкент – 2018

**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 doctor of philosophy (PhD) on
physical–mathematical sciences**

Джиянов Турсунпулот Ортикович

Биржинслимас суюкликларнинг ғовак муҳитларда аномал сизиши
моделларини тузиш ва тадқиқ қилиш.....3

Джиянов Турсунпулот Ортикович

Разработка и анализ моделей аномальной фильтрации неоднородных
жидкостей в пористых средах.....21

Dzhiyanov Tursunpulot Ortikovich

Development and analysis of models of anomal filtration of inhomogeneous fluids
in porous media.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works.....43

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018.Т/ФМ.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ДЖИЯНОВ ТУРСУНПУЛОТ ОРТИКОВИЧ

**БИРЖИНСЛИМАС СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ҒОВАК МУҲИТЛАРДА
АНОМАЛ СИЗИШИ МОДЕЛЛАРИНИ ТУЗИШ
ВА ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

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

Тошкент – 2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/FM234 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Самарқанд Давлат университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Хўжаёров Бахтиёр Хўжаёрович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Хўжаев Исматулла Қўшаевич
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Равшанов Нормакмат
физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Термиз давлат университети

Диссертация ҳимояси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ва Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти ҳузуридаги DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил “___” “_____” соат ___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@tiame.uz).

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

Диссертация автореферати 2018 йил «___» _____ куни тарқатилди.
(2018 йил «___» _____даги _____ рақамли реестр баённомаси)

М.М.Мирсаидов

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

Б.А.Худаяров

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

И.Қ.Хўжаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳон миқёсида нефть қазиб олиш саноатида нефть қатламларига иккиламчи ва учламчи усуллари билан таъсир этишнинг такомиллашган лойиҳасини ишлаб чиқиш етакчи ўринни эгалламоқда. Сўнги йилларда кўпгина ривожланган мамлакатларда нефтни қазиб олиш саноатида, ғовак муҳитларда модда кўчиши жараёнини ифодаловчи классик моделлар ўрнига модданинг аномал кўчиши жараёнини ифодаловчи ноклассик моделлар қўлланилмоқда. Шу жиҳатдан нефть қатламларига иссиқлик усули билан таъсир этиш технологиясида, нефть қатламларидаги ғовак муҳитларда иссиқликни ҳисобга олган ҳолда модданинг аномал кўчиши жараёнини ифодаловчи ноклассик моделларни қўллаш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада, жумладан АҚШ, Россия, Хитой ва бошқа ривожланган давлатларнинг нефть ва газни қазиб олиш саноатларида, нефть қатламларидаги ғовак муҳитларда биржинслимас суюқликлар сизиши ва модданинг аномал кўчиши жараёнларига таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда лойиҳалаш усуллари такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилган.

Жаҳонда нефть қазиб олиш саноатида қатламларнинг нефть берувчанлигини ошириш учун нефть қатламларига таъсир қилишнинг турли усуллари, хусусан нефть ҳаракатчанлигини оширишга ёрдам берувчи иссиқлик, қатламлар орасидаги босимни ушлаб турувчи турли усуллар қўлланилмоқда. Термогидродинамик жараёнларнинг илмий асослари яратилмоқда. Бу йўналишда, хусусан ёриқ ғовак муҳитларда модда кўчиши жараёнларининг математик моделларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан ёриқ ғовак муҳитларда аномал кўчиш жараёнини адекват ифодаловчи математик моделлар йўқлиги инobatга олиб янги математик моделлар, ЭҲМ учун дастур ва алгоритмларни ишлаб чиқиш зарур ҳисобланмоқда.

Республикамиз нефть қазиб олиш саноатида нефть қатламларини ўзлаштиришда янги технологияларни қўллашга катта эътибор қаратилиб, мазкур йўналишда амалга оширилган дастурий чора тадбирлар асосида, жумладан, нефть қазиб олишни ошириш ва замонавий технологияларни қўллаш туфайли муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... ишлаб чиқаришни модернизация қилиш, техник ва технологик жиҳатдан янгилаш, ишлаб чиқариш ..., ... замонавий тежамкор ва самарали технологияларни босқичма-босқич жорий этиш орқали қишлоқ жойларида аҳолини тоза ичимлик суви билан таъминлашни тубдан яхшилаш»¹ вазифаси белгиланган. Мазкур вазифани амалга ошириш, жумладан аҳоли ичимлик суви билан таъминлаш, ер ости сув ҳавзаларини муҳофаза қилиш ҳамда нефть қазиб олишни ошириш мақсадида

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

биржинслимас суюқликлар сизиши, модданинг аномал кўчиши жараёнларини ифодаловчи такомиллашган математик моделларни яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 25 сентябрдаги ПҚ-3286-сон «Сув объектларни муҳофаза қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора тадбирлари тўғрисида», 2017 йил 30 июндаги ПҚ-3107-сон «Нефть ва газ саноатини бошқариш тизимини мукамаллаштириш тўғрисида», 2017 йил 8 ноябрдаги ПҚ-3379-сон «Энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишни таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида» ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ёриқ ғовак муҳитларда модда ва иссиқликнинг аномал кўчиши ҳамда ҳар хил характеристикаларга эга бўлган икки соҳали муҳитда модда кўчиши масалаларини A.Suzuki, A.S.Fomin, V.A.Chugunov, T.Hashida, Y.Nibori, A.S.Bredford, F.J.Leij, H.Makita, J.Simunek, N.Toride, S.E.Silliman ва бошқа олимлар томонидан илмий тадқиқотлар олиб борилган.

Биржинслимас ёриқ ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши масалалари бўйича таниқли олим ва тадқиқотчилардан A.D.Benson, M.M.Meerschaert, W.S.Wheatcraft, F.Huang, F.Liu, M.Sahimi, R.Schumer, B.Baeumer, N.R.Horne, H.Zhan, B.F.A.Tompson, Ж.Акилов, Б.Х.Хўжаёров, В.Ф.Бурнашев ва бошқалар томонидан изланишлар олиб борилган ва маълум даражада ижобий натижаларга эришилган.

Бугунги кунда биржинслимас ғовак муҳитларда модда ва иссиқликнинг аномал кўчиши масалалари тўлиқ ўрганилмаган. Шунингдек, ёриқ ғовак муҳитларда модданинг кўчишига температуранинг таъсири икки соҳали ғовак муҳитлар орасидаги иссиқлик ва масса алмашинуви жараёнларини математик моделлаштиришда каср ҳосиллали дифференциал тенгламалар имкониятларидан етарли даражада фойданилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Самарқанд Давлат университетининг илмий-тадқиқот ишлар режасининг № Ф4-Ф078-«Биржинслимас суюқликларнинг ғовак муҳитларда сузилиши ва сизишининг гидродинамик масалалари» (2014-2016) мавзусидаги лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши моделларини такомиллаштиришдан ва кўчиш характеристикасида аномалликни баҳолашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

биржинслимас ғовак муҳитларда модда аномал кўчишининг математик моделларига асосан масалаларни ечиш усулларини ишлаб чиқиш;

биржинслимас ғовак муҳитларда модда аномал кўчишининг математик моделларини такомиллаштириш;

икки соҳали биржинслимас ғовак муҳитларда модда кўчишининг математик моделларини такомиллаштириш;

атроф муҳит билан масса алмашув ҳисобга олинган ҳолда биржинслимас ғовак муҳитда номувозанат адсорбцияли модда кўчишининг математик моделларини такомиллаштириш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида биржинслимас суюқликлар, хусусан суспензияларни филтрловчи ғовак муҳитларда кўчиш модели олинган.

Тадқиқотнинг предмети биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши жараёнининг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва компьютерда сонли тажрибалар ўтказиш учун дастурий мажмуалари ва гидродинамик таҳлил жараёнларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида ер ости суюқлик ва газ механикаси усуллари, математик моделлаштириш усуллари, математик физика усуллари, сонли усуллар, алгоритмлаш, ҳисоблаш эксперименти усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

биржинслимас ғовак муҳитда модданинг ноизотермик аномал кўчишининг математик модели ички ва ташқи масса алмашинувини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган;

биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши жараёнида ҳароратнинг таъсирини ҳисобга олган ҳолда математик модел ишлаб чиқилган;

икки соҳали ғовак муҳитда модда кўчишининг математик модели қайтариловчи коллоид заррачаларнинг тутилишини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган;

иккинчи соҳа таъсирини кўчиш тенгламасида манба ҳади билан алмаштирилиши ва атроф муҳитга масса кўчишини ҳисобга олган ҳолда икки соҳали биржинслимас ғовак муҳитда модда кўчишининг математик модели такомиллаштирилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

каср ҳосилали янги дифференциал тенгламалар асосида модданинг аномал кўчиши жараёнининг математик модели, ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

атроф муҳит билан масса алмашинувини ҳисобга олиб биржинслимас ғовак муҳитларда номувозанат адсорбцияли модда кўчиш жараёнини ҳисоблаш учун дастурий восита ишлаб чиқилган;

икки соҳали муҳитда ночизиқли кинетика асосида модда кўчиши жараёнини ҳисоблаш учун дастурий восита ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги математик физика курслари усуллари қўлланганлиги, ҳисоблаш тажриба натижалари ушбу тадқиқот йўналишидаги бошқа муаллифларнинг натижалари билан таққосланганлиги, талаб қилинган аниқликдаги аппроксимациялардан фойдаланилганлиги ҳамда олинган натижалар физик жиҳатдан батафсил таҳлил қилинганлиги ва уларнинг реал физик жараёнларга мослиги билин изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти биржинслимас ғовак муҳитларда аномал кўчиш моделини ички ва ташқи масса алмашинувини, ҳароратнинг таъсирини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштиришдан иборат. Ишлаб чиқилган моделлар ва ҳисоблаш алгоритмлари нефть ва газ конларини лойихалаштириш ҳамда ғовак муҳитларда биржинслимас суюқликлар сизиши назариясига муҳим ҳисса қўшиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти соҳа мутахассислари томонидан бериладиган объектнинг асосий параметрлари ва уларнинг ўзгариш диапазонларини ғовак муҳитдаги фильтрация жараёнларига таъсирини ўрганиш, оқава ва ичимлик сувларини тозалаш, нефть ва газ конларига иккиламчи ишлов бериш, гидрогеология каби соҳалардаги сизиш жараёнларини сифат ва миқдор жиҳатдан баҳолаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларини жорий қилиниши. Биржинслимас ғовак муҳитларда моддани аномал кўчиши жараёнларининг такомиллаштирилган моделлари бўйича ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари ва дастурий воситалари асосида:

атроф муҳит билан масса алмашинуви ҳисобга олиб биржинслимас ғовак муҳитда номувозанат адсорбцияли модда кўчиш моделини сонли ечиш усули ва дастурий воситаси Зарафшон ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси тассарруфидаги Камангарон сув омборини сув билан тўлдириш жараёнида лойқа босиш ҳажмини аниқлаш, сув билан бирга оқиб кирган чўкинди ва ифлосланишнинг тарқалишини баҳолаш учун жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлиги 2018 йил 19-июлдаги 03/25-1039-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижалари объектнинг сув билан тўлдирилиши ва ишлатишда инфильтрация жараёнларининг гидродинамик параметрлари баҳоланиши ва ҳисоблаш аниқлигини 10%га ошириш имконини берган;

икки соҳали биржинслимас ғовак муҳитларда атроф муҳитга масса кўчиши ва иккинчи соҳа таъсирини такомиллаштирилган ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситаси Камангарон сув омборида лойқанинг тўғон ва омбор тубини кольматациялаши ҳодисасини баҳолаш учун жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлиги 2018 йил 19-июлдаги 03/25-1039-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаларида

муҳандислик ҳисоблашлар фойдали иш коэффицентини 2,5 мартага ошириш имконини берган;

икки соҳали муҳитда ночизиқли кинетика асосида модда кўчиши жараёнини ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситаси Камангарон сув омборининг лойқа босиш ва қумлаш жараёнида асосий параметрлари ўзгариш оралиғини аниқлаш ишлари учун жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлиги 2018 йил 19-июлдаги 03/25-1039-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижалари сув омборининг лойқа босиш жараёнини ўрта ва узоқ муддатли башоратлаш сифатини 10%га оширишга имкон берган;

икки соҳали муҳитда ночизиқли кинетика асосида модда кўчиши жараёнини ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситаси Камангарон сув омборининг қуйилиш қисмида ўзандаги лойқа чўкиндиларнинг ўзан узунлиги бўйича тақсимланишини ҳисоблаш ишларида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлиги 2018 йил 19-июлдаги 03/25-1039-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаларида муҳандислик ҳисоблашлар фойдали иш коэффицентини 3 мартага ошириш имконини берган;

икки соҳали биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал ва ноизотермик кўчиши жараёнининг такомиллаштирган математик моделлари ва ҳисоблаш алгоритмлари ФА-Ф078 «Ғовак муҳитларда биржинслимас суюқликлар сизиши ва сузилишининг гидродинамик масалалари» мавзусидаги (2014-2016 йй.) фундаментал лойиҳада биржинслимас суюқликларнинг биржинслимас муҳитларда сизиши жараёнларини моделлаштиришда ҳамда масалаларни ечишда фойдаланилган (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил 5-июндаги 89-03-2190-сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши биржинслимас ғовак муҳитда модданинг ноизотермик кўчиши, модданинг аномал кўчиши масалаларини юқори аниқлик билан ечиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 6 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича жами 19 та илмий иш чоп этилган бўлиб, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола (6 таси республика ва 1 таси хорижий журналларда) чоп этилган ҳамда 2 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситалар учун (№ DGU 04831, DGU 04994) гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 115 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, олинган натижаларнинг ишончилиги асослаб берилган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши ва унинг математик модели**» деб номланган биринчи бобида биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши жараёнларини моделлаштириш муаммоларининг таҳлили ўтказилган. Асосий аномал ҳодисалар ва уларнинг мумкин бўлган келиб чиқиш сабаблари тавсифланган. Ушбу аномал ҳодисаларни тавсифловчи мавжуд моделлар ҳақида маълумот берилди.

1.1 параграфда ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши жараёнини моделлаштиришнинг умумий тушунчалари келтирилган.

1.2 параграфда биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчишининг математик модели қаралган.

1.3 параграфда ғовак муҳитда модданинг аномал кўчишини моделлаштиришда каср ҳосилалар ва уларни ҳисоблаш келтирилган.

Капуто томонидан вақт бўйича каср ҳосила қуйидагича аниқланган

$$\frac{\partial^\gamma c(t, x)}{\partial t^\gamma} = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(1-\gamma)} \int_0^t (t-\xi)^{-\gamma} \frac{\partial c}{\partial \xi} d\xi, & 0 < \gamma < 1, \\ \frac{\partial c}{\partial t}, & \gamma = 1, \end{cases} \quad (1)$$

бу ерда $\Gamma(\cdot)$ – Гамма функция, γ – ҳосила тартиби.

Каср ҳосилали дифференциал тенгламаларни ечиш учун турли усуллар қўлланилиши мумкин. Энг унверсал усул бу чекли айирмалар усулидир. Кейинги ҳар хил масалаларни ечиш учун ушбу усулдан диссертацияда фойдаланилган.

Диссертациянинг «**Биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг аномал кўчиши масаласи**» деб номланган иккинчи бобида ғовак муҳитларда релаксацион модда кўчишининг бир қатор масалалари ечилган.

2.1 параграфда бир вақтли релаксация билан умумлаштирилган Фик релаксация қонунларидан фойдаланиб кўчиш тенгламаси келтирилиб чиқарилган ва сонли таҳлил қилинган.

2.2 параграфда икки вақтли релаксация билан умумлаштирилган Фик релаксация қонунларидан фойдаланиб кўчиш тенгламалари келтирилиб чиқарилган ва сонли таҳлил қилинган.

2.3 параграфда биржинслимас ғовак муҳитда модданинг аномал кўчиши қаралган. Биржинслимас ғовак муҳитларда моддалар кўчиши жараёнини таҳлил қилиш учун вақт бўйича ҳам, худди шундай фазовий координата бўйича ҳам каср тартибли дифференциал тенгламаларга асосланган кўчиш моделидан фойдаланилди. Яхши (ҳаракатли) ва ёмон ўтказувчи соҳалардан иборат биржинслимас ғовак муҳит қаралган, модда кўчиши жараёни ҳаракатдаги соҳада юз беради ва концентрация градиенти ҳосил бўлиши ҳисобидан соҳалар орасида масса алмашинуви пойдо бўлади. Агар у ўтказувчи бўлса, атроф муҳитга модда кўчиши ҳисобга олинади. Ёмон (ҳаракатсиз) ўтказувчи соҳанинг геометрик характеристикасини аниқлаштирмасдан кўчиш тенгласида соҳалар орасидаги масса алмашинуви ҳамда модданинг диффузион оқими вақт бўйича модда концентрациясининг каср ҳосила кўринишида манба ҳади сифатида моделлаштирилган. Бу кўчиш жараёнида аномал ҳодисаларни ҳисобга олишга имкон беради.

Юқорида шакллантирилган шартларга мос модда кўчиши тенгласи бир ўлчовли ҳолда

$$m \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + a_2 \frac{\partial^\gamma c}{\partial t^\gamma} + a_3 \frac{\partial^\beta c}{\partial t^\beta} = \frac{\partial}{\partial x} (mJ), \quad (2)$$

$$J = D \left(p \frac{\partial^\alpha c}{\partial x^\alpha} + (1-p) \frac{\partial^\alpha c}{\partial (-x)^\alpha} \right),$$

тенгламалар билан ифодаланиши мумкин, бу ерда c – модданинг ҳажмий концентрацияси; t – вақт, c ; J – нисбий диффузион масса оқими, m/c ; m – транзит соҳанинг ғоваклиги; D – эффектив диффузия коэффиценти, $m^{1+\alpha}/c$; a_3 – ретардацион омил, моддаларнинг атроф муҳитга кўчишини ифодалайди, $c^{\beta-1}$; a_2 – икки соҳа ўртасида масса алмашинувиға боғлиқ бўлган ретардацион омил, $c^{\gamma-1}$; v – сизиш тезлиги m/c ; α, β, γ – ҳосилалар тартиби ($0 < \alpha \leq 1$, $0 < \beta < 1$, $0,5 \leq \gamma \leq 1$), p ($0 \leq p \leq 1$) марказий симметриядан кетувчи ва қолувчан дисперсиянинг қисмини характерлайди. Агар $p < \frac{1}{2}$ бўлса дисперсия дум шаклдаги характерли симметриядан орқада қолувчи бўлади. Агар $p > \frac{1}{2}$ бўлса дисперсия тез фронт шаклдаги симметрияга ва кичик думга нисбатан олдинга оғади.

c_0 концентрацияли суюқлик билан тўлдирилган ярим чексиз ғовак муҳитга вақтнинг $t > 0$ моментидан бошлаб қаттиқ зарачаларининг ҳажмий концентрацияси c_1 бўлган суспензия кира бошлайди. У ҳолда бошланғич ва чегаравий шартлар

$$c(0, x) = c_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (3)$$

$$c(t, 0) = c_1, \quad c(t, \infty) = c_0. \quad (4)$$

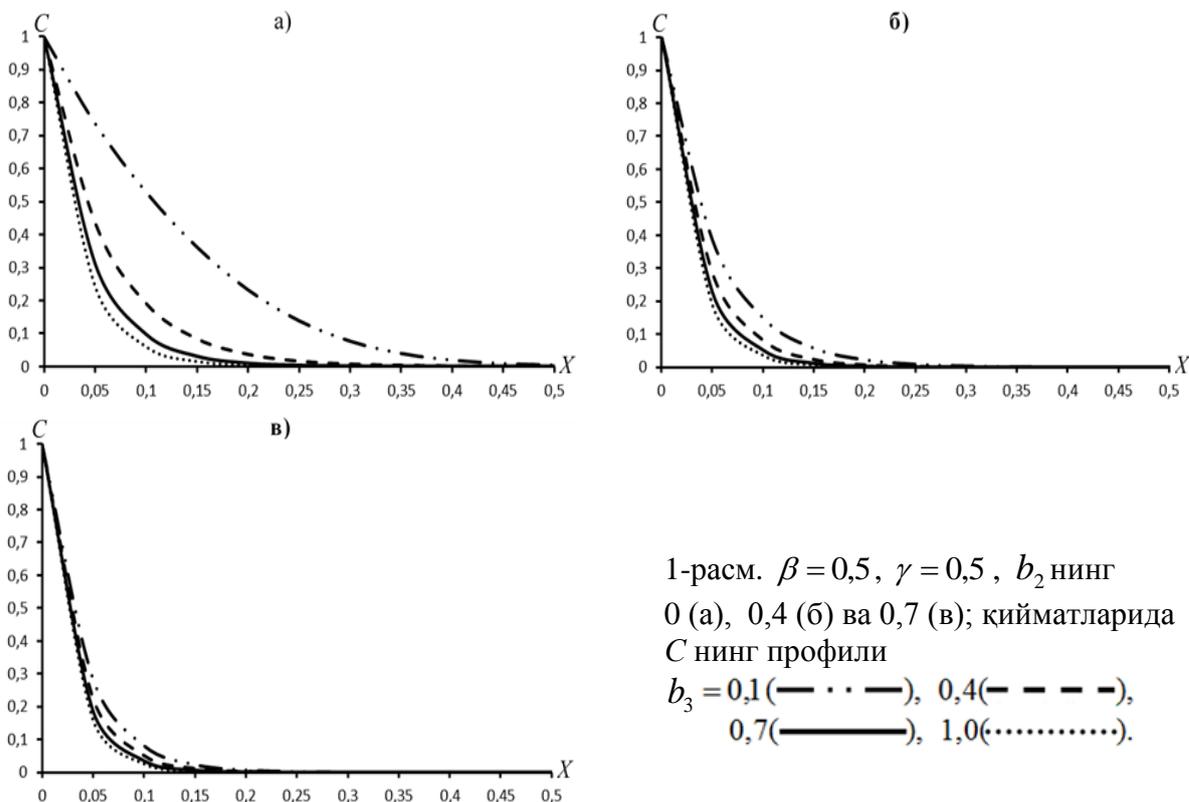
кўринишга эга.

Тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, β кўрсаткич бир-бирликдан камайиши профиллари ёйилишининг секинлашувига олиб келади. Ҳаракатдаги ва ҳаракатсиз соҳалар орасидаги масса алмашинувини ҳисобга олиш, яъни $b_2 \neq 0$ бўлганда, профиллар ёйилиши янада сезиларли секинлашишига олиб келди. Бундан, таъкидлаш керакки, атроф муҳитда модда кўчиши ва соҳалар орасида масса алмашинуви бир вақтда ҳисобга олинганда β параметрнинг таъсири сусаяди. Равшанки, нисбатан катта \bar{t} вақтларда ўтиш жараёни тугатилади ва концентрацион профилларга $b_2 \frac{\partial^\gamma C}{\partial \bar{t}^\gamma}$

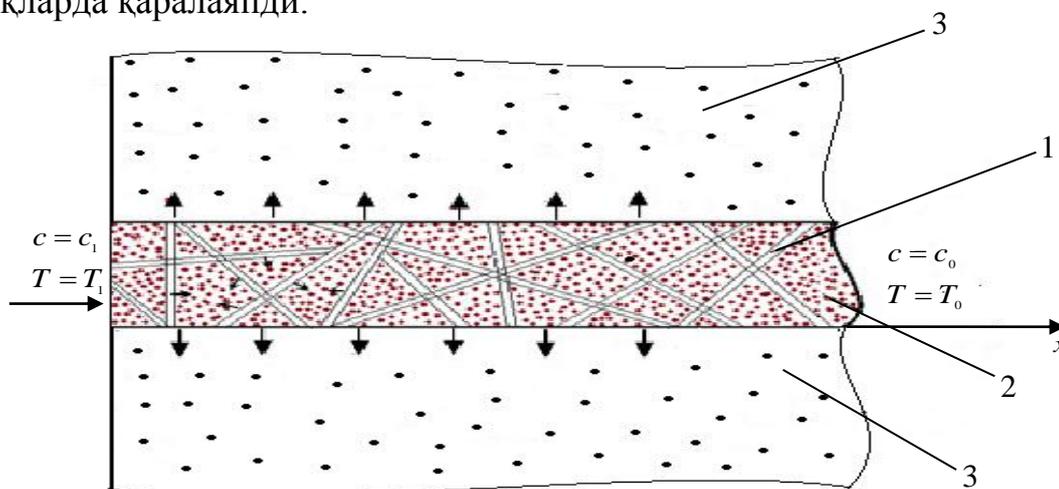
ва $b_3 \frac{\partial^\beta C}{\partial \bar{t}^\beta}$ манба ҳадларининг таъсири йўқолади. 1-расмда турли b_2 ва b_3 лар ҳамда фиксирланган β ва γ ларда натижалари келтирилган. 1-расмда ўлчамсиз катталик параметрларидан фойданилган, $C = \frac{c}{c_m}$, $X = \frac{x}{x_m}$, $\bar{t} = \frac{t}{t_m}$,

$$b_2 = \frac{a_2}{m t_m^{\gamma-1}}, \quad b_3 = \frac{a_3}{m t_m^{\beta-1}}, \quad \text{бу ерда } c_m, x_m - \text{характерли қийматлар, } \bar{t} - \text{характерли вақт.}$$

Кутулганидек b_2 ва b_3 қийматлар ошиши атроф муҳитга моддаларнинг кўчиши ва турғун соҳада масса кўчишида роли кучаяди. Шу сабабли транзит соҳасида модда концентрацияси профиллари тарқалишида кечикиш кузатилади. b_3 нинг ҳамда b_2 нинг ошиши модда концентрацияси ўзгариш соҳасининг камайишига олиб келишини таъкидлаш мумкин. Шу нуқтаи назардан уларнинг модда кўчишига таъсири бир хил.



2.4 параграфда биржинслимас ғовак муҳитда модданинг ноизотермик аномал кўчиши қаралган. Модданинг нозотермик аномал кўчиши масаласида температура ва модда концентрацияси майдони учун бир-бирига боғлиқ бўлган каср тартибли дифференциал тенгламалар системаси тузилган. Модданинг диффузион хоссаси температурадан боғлиқлигини ҳисобга олиб, кўчиш жараёни температура майдонидаги ўзгариш билан аниқланади, шунинг учун кўчиш жараёни бироз бошқача тарзда амалга оширилади. Биржинслимас муҳит сифатида ёриқ-ғовак қатлам ёки муҳитлар қаралган. Бунда ёриқлар ҳаракатдаги соҳани, ғовак блоклар турғун соҳани ифодалайди. Атроф муҳит ўтказувчан бўлса модда кўчади деб ҳисобланади. Бундан ташқари атроф муҳитга иссиқлик кўчиши ҳам ҳисобга олинган. Шундай қилиб, қаралаётган муҳит 3 қисмдан: 1 – ҳаракатдаги соҳа (ёриқлар), 2 – ҳаракатсиз соҳа (ғовак блоклар), 3 – атроф муҳитлардан иборат (2-расм). Суюқлик ҳаракати, иссиқлик ва модданинг конвектив-диффузион кўчиши ёриқларда қаралайди.



2-расм. Биржинслимас муҳитлар схемаси. 1 – ёриқлар, 2 – ғовак блоклар, 3 – атроф муҳит.

Юқорида шакллантирилган шартларга мос модда кўчиши бир ўлчовли ҳолда 2 тенглама билан ифодаланиши мумкин.

Иссиқлик диффузиясини ҳисобга олиб иссиқликнинг аномал кўчиши тенгламаси кўйидаги кўринишда келтирилган

$$\overline{\rho C} \frac{\partial T}{\partial t} + d_2 \frac{\partial^{\gamma'} T}{\partial t^{\gamma'}} + d_3 \frac{\partial^{\beta'} T}{\partial t^{\beta'}} + \rho_w C_w v \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(t, x) \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (5)$$

$$\overline{\rho C} = m \rho_w C_w + (1 - m) \rho_r C_r,$$

бу ерда t – вақт, c ; v – сизиш тезлиги, м/с; d_2 – ҳаракатли соҳадан ҳаракатсиз соҳага иссиқлик кўчишида содир бўладиган иссиқликни ретардацион омили, $c^{\gamma'-1}$; d_3 – атроф муҳитга иссиқлик кўчишида содир бўладиган иссиқликнинг ретардацион омили, C_r – муҳитнинг солиштирма иссиқлик сғими, Ж/(кг·К); C_w – суюқликнинг солиштирма иссиқлик сғими, Ж/(кг·К); T – температура, К; ρ_r – муҳитнинг зичлиги, кг/м³; ρ_w – суюқлик зичлиги, кг/м³; γ' , β' – ҳосилалар тартиби ($0 < \beta' < 1$, $0,5 \leq \gamma' \leq 1$).

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини λ ўзгармас бўлганда (5) тенглама

$$\frac{\partial T}{\partial t} + d'_2 \frac{\partial^{\gamma'} T}{\partial t^{\gamma'}} + d'_3 \frac{\partial^{\beta'} T}{\partial t^{\beta'}} + \omega v \frac{\partial T}{\partial x} = D_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (6)$$

кўринишга келади, бу ерда $d'_2 = \frac{d_2}{\rho C}$, $d'_3 = \frac{d_3}{\rho C}$, $\omega = \frac{\rho_w C_w}{\rho C}$, $D_T = \frac{\lambda}{\rho C}$, D_T –

иссиқлик диффузияси коэффициентини, $\text{м}^2/\text{с}$.

c_0 концентрацияли суюқлик билан тўлдирилган ярим чексиз ғовак муҳитга вақтнинг $t > 0$ моментидан бошлаб қаттиқ зарчаларининг ҳажмий концентрацияси c_1 бўлган суспензия кира бошлайди. Дастлабки c_0 концентрация ўзгармайди. У ҳолда (2) учун бошланғич ва чегаравий шартлар

$$c(0, x) = c_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (7)$$

$$c(t, 0) = c_1, \quad c(t, \infty) = c_0, \quad (8)$$

кўринишда бўлади.

Дастлаб қатлам температураси T_0 , қатламга кираётган суюқлик температураси $T_1 = \text{const}$ бўлади. $x = \infty$ гача иссиқлик оқими етиб бормайди ва у ерда температура бошланғич ҳолатдагидек қолади деб ҳисоблаймиз. Шундай қилиб, (6) учун бошланғич ва чегаравий шартларни

$$T(0, x) = T_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (9)$$

$$T(t, 0) = T_1, \quad T(t, \infty) = T_0, \quad (10)$$

кўринишда ёзиш мумкин.

(2) ва (6) тенгламалардаги D_c T дан боғлиқ бўлмаса, улар эркин бўлади ва алоҳида ечилади. Бу ерда модданинг диффузия коэффициенти температурадан чизикли боғлиқлигини қўллаймиз:

$$D_c = D_0 + e(T - T_0), \quad (11)$$

бу ерда D_0 – $T = T_0$ бўлгандаги диффузия коэффициенти; e – T температура ўзгариши билан D_c нинг ўзгаришини тавсифловчи коэффициент. Амалларнинг қулайлиги учун (11) танланди. Маълумки, аниқ бир моддалар учун e коэффициент $D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$ (Эйнштейн формуласи) коэффициентлари билан

боғлиқ бўлиши мумкин.

(2) га мос келувчи киритилган ўлчамсиз миқдорларни ҳисобга олиб, модда кўчишининг ўлчамсиз тенгламаси

$$\frac{\partial c}{\partial \bar{t}} + V \frac{\partial c}{\partial \bar{x}} + \bar{a}_2 \frac{\partial^{\gamma} c}{\partial \bar{t}^{\gamma}} + \bar{a}_3 \frac{\partial^{\beta} c}{\partial \bar{t}^{\beta}} = \frac{1}{Pe_c} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left[\bar{D}_c \left(p \frac{\partial^{\alpha} c}{\partial \bar{x}^{\alpha}} + (1-p) \frac{\partial^{\alpha} c}{\partial (-\bar{x})^{\alpha}} \right) \right], \quad (12)$$

кўринишда бўлади, бу ерда $\bar{D}_c = 1 + \bar{e}(\bar{T} - 1)$, $Pe_c = \frac{x_m^{1+\alpha}}{t_m D_0}$, $\bar{e} = \frac{e T_m}{D_m}$, $\bar{a}_3 = \frac{a_3}{m t_m^{\beta-1}}$,

$\bar{a}_2 = \frac{a_2}{m t_m^{\gamma-1}}$, x_m – характерли узунлик, T_m – характерли ҳарорат, D_m –

характерли диффузия.

(7), (8) бошланғич ва чегаравий шартлар ҳам ўлчамсиз кўринишга келтирилади

$$c(0, \bar{x}) = c_0, \quad 0 \leq \bar{x} < \infty, \quad (13)$$

$$c(\bar{t}, 0) = c_1, \quad c(\bar{t}, \infty) = c_0. \quad (14)$$

Ўлчамсиз ўзгарувчиларда (6) иссиқлик кўчиш тенгламаси куйидагича ифодаланади

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{t}} + \bar{d}_2 \frac{\partial^{\gamma'} \bar{T}}{\partial \bar{t}^{\gamma'}} + \bar{d}_3 \frac{\partial^{\beta'} \bar{T}}{\partial \bar{t}^{\beta'}} + m\omega V \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{Pe_T} \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{x}^2}. \quad (15)$$

(15) учун бошланғич ва чегаравий шартлар ўлчамсиз кўринишда бўлади

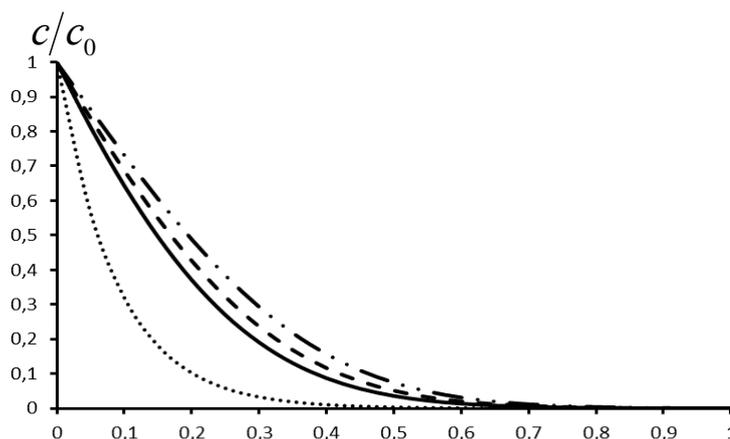
$$\bar{T}(0, \bar{x}) = 1, \quad 0 \leq \bar{x} < \infty, \quad (16)$$

$$\bar{T}(\bar{t}, 0) = \bar{T}_1, \quad \bar{T}(\bar{t}, \infty) = 1, \quad \bar{T}_1 = \frac{T_1}{T_0}, \quad (17)$$

бу ерда $V = \frac{vt_m}{mx_m}$, $Pe_T = \frac{x_m^2}{t_m D_T}$, $\bar{d}_2 = \frac{d_2'}{t_m^{\gamma'-1}}$, $\bar{d}_3 = \frac{d_3'}{t_m^{\beta'-1}}$.

Тадқиқотлар натижалари кўрсатадики, \bar{d}_2 нинг ошиши ва γ' нинг камайиши температура тарқалишига ўхшаш таъсири қилади. Ғовак блокларда иссиқлик ютилиши бўлмаганда температура профиллари муҳит ичкарасига нисбатан тезроқ кириб боради.

\bar{e} нинг модда концентрацияси тарқалишига таъсирини тадқиқ этиш шуни кўрсатмоқдаки, унинг қиймати ошиши билан диффузия омилларнинг ўрни кучайиб боради (3-расм). Ўзгармас диффузион коэффиценти ($\bar{e} = 0$) билан $\bar{e} \neq 0$ бўлганда жорий концентрация профилларини кенгрок ёйилишига олиб келади, $\bar{e} = 0$ ҳолига нисбатан каттароқ бўлади. Бу температуранинг модда диффузия хоссаларига таъсири билан изоҳланади.



3-расм. $\bar{t} = 36$, $d_2 = 0$, $d_3 = 0,4$, $a_2 = 0$, $a_3 = 0,4$, $\beta = 0,5$, $\beta' = 0,5$ қийматларида c нинг профиллари $\bar{e} = 0$ (.....), $0,5$ (—), $0,7$ (----), $1,0$ (— · —).

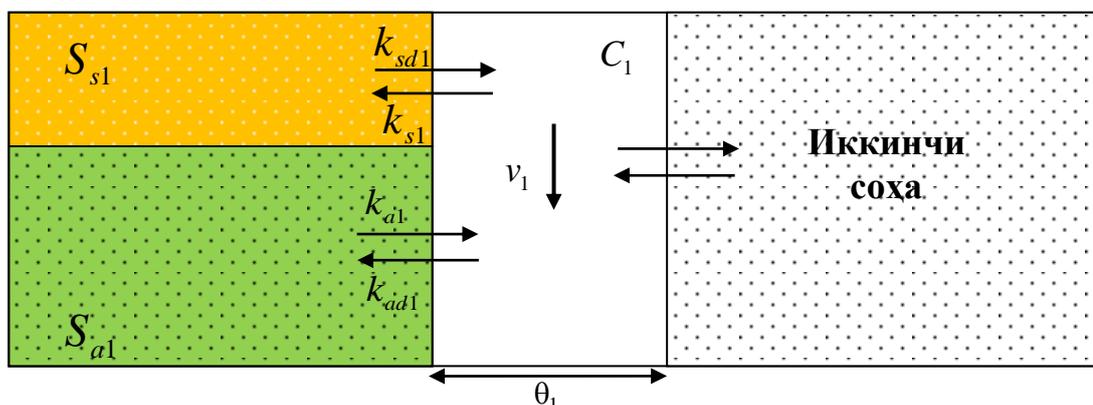
Ўтказилган таҳлиллар шуни кўрсатадики, биржинслимас ғовак муҳитларда температура майдони модда кўчиши характеристикаларига сезиларли таъсир кўрсатади. Ёриқ ғовак муҳитлар бўлган ҳолда иссиқлик ва

модданинг ғовак блоклар ва атроф муҳитга ютилиб кетиши ёриқлардаги иссиқлик ва моддаларнинг тарқалиш жараёнини сезиларли даражада секинлаштиради. Ғовак блоклар ва атроф муҳитларга иссиқлик ва модданинг аномал кўчиши жараёнларини иссиқлик ва модда кўчиши тенгламаларида вақт бўйича каср ҳосилали манба ҳадларидан фойдаланиб, самарали моделлаштириш мумкин. Бу ҳосилалар тартиблари ретардацион омилларга боғлиқ равишда иссиқлик ва модданинг ютилиши омиллари иссиқлик ва модда ютилишининг турли натижаларини ва ўз навбатида ёриқларда кўчишнинг турли характеристикаларини олиш мумкин.

Диссертациянинг «**Икки соҳали биржинслимас ғовак муҳитларда модда кўчиши**» деб номланган учинчи бобида модда кўчиши ва суюқлик сизиши характеристикалари бир-биридан фарқ қиладиган икки соҳадан иборат бўлган икки соҳали муҳитларда модда кўчиши масаласи тадқиқ этилган.

3.1 параграфда турли характерли икки соҳали муҳитларда модда кўчиши қаралган. Ҳар бир соҳада иккита қисм бўлиб, унда модданинг ўтириб қолиш характеристикалари бир-биридан фарқ қилади. Ҳар иккала қисмда модда ўтириб қолишининг қайтарилувчи кинетикаси қўлланилди. Кўрсатилдики, ўтириш кинетикасининг қайтарилувчанлиги умумий кинетикани ўзгартиради, бошқа ҳамма шартлар бир-хил бўлганда у ўтириб қолиш умумий ҳажмининг камайишига ва модда суюқлик билан бирга ҳаракатланганда янада жадалроқ тарқалишига олиб келади. Бу ердаги масалада янги ёндашувдан фойдаланиб иккита соҳа ўрнига битта биржинсли соҳа олиниб, иккинчи соҳанинг мавжудлиги кўчиш тенгламасида манба ҳади сифатида ҳисобга олинди.

3.2 параграфда яхши (транзит) ва ёмон (ҳаракатсиз) ўтказувчан соҳалардан иборат биржинслимас ғовак муҳитда номувозанат адсорбцияли модда кўчиши қаралган (4-расм). Биринчи соҳадаги параметрлар бир индекс билан белгиланди. Биринчи соҳада иккита қисм мавжуд, уларнинг ҳар бирида қайтарилмайдиган номувозанат кинетика билан модданинг ўтириши кузатилади. Иккинчи соҳа билан модда алмашинуви юз беради ва буни биринчи соҳада модда концентрациясидан вақт бўйича каср ҳосила кўринишида моделлаштирамиз. Бинобарин, иккинчи соҳадаги концентрация майдони қаралмайди.



4-расм. Икки соҳали муҳитда модда кўчиши схемаси

Модда кўчиши тенгламасини бир ўлчовли ҳолда

$$\rho \frac{\partial S_{a1}}{\partial t} + \rho \frac{\partial S_{s1}}{\partial t} + \theta_1 \frac{\partial c_1}{\partial t} + a_2 \frac{\partial^\gamma c_1}{\partial t^\gamma} = \theta_1 D_1 \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} - \theta_1 v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} \quad (18)$$

кўринишда ёзамиз, бу ерда t – вақт, c ; x – масофа, м; D_1 – бўйлама дисперсия коэффициентлари, $\text{м}^2/\text{с}$; v_1 – суюқлик ҳаракати тезлиги, $\text{м}/\text{с}$; c_1 – суюқликда модданинг ҳажмий концентрацияси; S_{a1} ва S_{s1} – модданинг ўтириш концентрацияси, $\text{м}^3/\text{кг}$; θ_1 – ғоваклик, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ρ – муҳитнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; a_2 – иккинчи муҳитда модданинг кўчиши натижасида юзага келадиган ретардацион омил, $\text{с}^{\beta-1}$.

Соҳа қисмларининг ҳар бирида модданинг ўтириши қайтарилмайдиган кинетик тенгламалар билан ифодаланади

$$\rho \frac{\partial S_{a1}}{\partial t} = \theta_1 k_{a1} c_1 - \rho k_{ad1} S_{a1}, \quad (19)$$

$$\rho \frac{\partial S_{s1}}{\partial t} = \theta_1 k_{s1} c_1 - \rho k_{sd1} S_{s1}, \quad (20)$$

бу ерда k_{a1} , k_{s1} – модданинг суюқ фазалардан қаттиқ фазаларга ўтириш коэффициентлари, с^{-1} ; k_{ad1} , k_{sd1} – қаттиқ фазадан модданинг чиқиши ва суюқликка ўтиш коэффициентлари, с^{-1} .

Дастлаб соф (моддасиз) суюқлик билан тўйинган муҳитга модданинг ўзгармас c_0 концентрацияли суюқлик бошланғич вақт моментида бошлаб юборилмоқда. Вақтнинг шундай даврини қараймизки, муҳитнинг ўнг чегарасига $x = \infty$ концентрация майдон ўзгариши етиб бормайди. Қайд этиб ўтилган фаразларга асосан масала учун бошланғич ва чегаравий шартлар

$$c_1(0, x) = 0, S_{a1}(0, x) = 0, S_{s1}(0, x) = 0, \quad (21)$$

$$c_1(t, 0) = c_0, \quad (22)$$

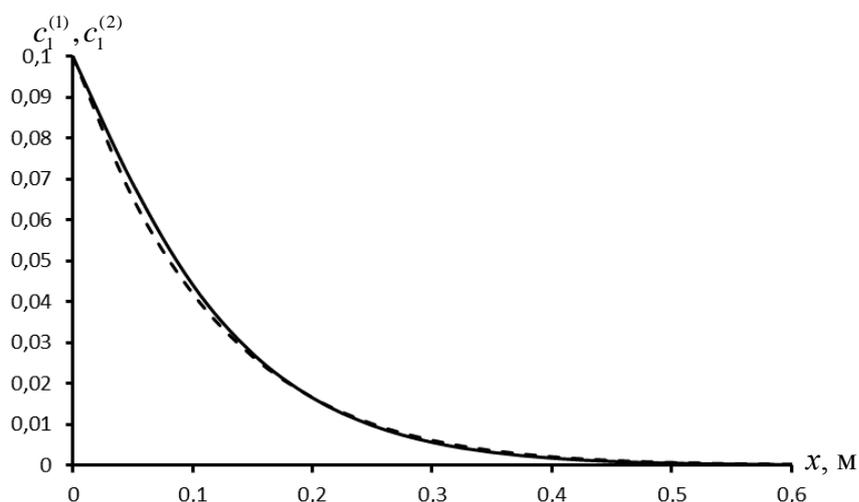
$$\frac{\partial c_1}{\partial x}(t, \infty) = 0. \quad (23)$$

кўринишда бўлади.

Масалани ечиш учун чекли айирмалар усулини қўллаيمиз. Натижалар яқинлигини миқдорий баҳолаш учун t вақтнинг берилган қийматида биконтинуал ёндашувга асосланган маълум натижалар асосида

$$\delta_1 = \int_0^L (I_1 - I_2)^2 dx \quad (24)$$

ҳисобланди. Бу ерда L – концентрация профиллар тарқаладиган соҳанинг шартли чегараси; $I_1 = \alpha(c_2 - c_1)$, $I_2 = a_2 \frac{\partial^\gamma c_1}{\partial t^\gamma}$. Таклиф этилган ёндашув ва маълум модель (S.Bradford) лардан фойдаланиб аниқланадиган I_1 ва I_2 манба ҳадларининг яқинлиги c_1 концентрация майдонларининг яқинлигини кафолатлайди. Бунинг учун c_1 га мос келувчи профиллар яратилган (5-расм).



5-расм. Икки модел асосида олинган концентрация профилларини таққослаш. $t=3600$ с, $\alpha = 10^{-4}$, $a_2 = 0,0002$, $\gamma = 0,5$, $c_1^{(1)}$ (—), $c_1^{(2)}$ (- - -).

Графикдан кўриниб турганидек ечимлар бир-бирига яқин. Уларнинг яқинлигини баҳолаш учун иккала модел асосида

$$\delta_2 = \int_0^L (c_1^{(1)} - c_1^{(2)})^2 dx$$

аниқланган, фақат c_1 учун (24) ўртача квадратик четланишдан фойдаланамиз, бу ерда $c_1^{(1)}$ – берилган t да $c_1(t, x)$ концентрацияси майдони (S.Bradford) иши бўйича аниқланган, $c_1^{(2)}$ – бу ўзимизники, шу ишда аниқланган.

Сонли таҳлиллар шуни кўрсатадики, агар бир соҳали моделнинг параметрлари мос равишда танланган бўлса, икки соҳали модел натижаларини қониқарли тасвирлаб бериши мумкин.

3.3 параграфда икки соҳали муҳитда модда кўчиши чизиқлимас кинетика билан қаралган. Ўтириб қолишнинг чизиқлимас кинетикаси ҳоли, атроф муҳитга модда чиқиши ва бошқа ҳолларда таҳлил қилинган.

3.4 параграфда атроф муҳит билан масса алмашув ҳисобга олинган ҳолда биржинслимас ғовак муҳитда номувозанат адсорбцияли модда кўчиши қаралган. Кўчиш характеристикасида атроф муҳит билан масса алманшинуви роли ўрнатилган.

ХУЛОСА

«Биржинслимас суyoқликларнинг ғовак муҳитларда аномал сизиши моделларини тузиш ва тадқиқ қилиш» мавзусидаги фалсафа докторлик (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги асосий хулосалар келиб чиқади:

1. Ғовак муҳитда релаксацион модда кўчиши масаласи ечилди. Диффузия қонунининг релаксацион характери модда концентрацияси профилларининг ёйилиши ва соҳанинг берилган нуқталарида унинг динамикасини секинлашишига олиб келиши кўрсатилди. Диффузия коэффициентининг ошиши концентрация профилларининг кенгайишига, сизиш тезлигининг ошиши эса конвектив кўчиш таъсирининг кучайишига олиб келади.

2. Ички ва ташқи масса алмашинувини ҳисобга олиб биржинслимас ғовак муҳитда модданинг ноизотермик аномал кўчиши модели сонли таҳлил қилинди. Модель каср ҳосилалари дифференциал тенгламалар билан тасвирланди. Ҳосиланинг турли каср тартибларида ички ва ташқи масса алмашинувининг турли хил аномал хусусиятларини олиш мумкинлиги кўрсатилди. Қаралаётган муҳитда модда массаси ички кўчиши жадаллигининг ошиши масса кўчиши характеристикаларининг камайишига олиб келади. Атроф муҳитга масса кўчиши жадаллигининг ошишида худди шунга ўхшаш натижа олинади.

3. Кўчишнинг диффузион хоссасига температуранинг таъсири ҳисобга олинган биржинслимас ғовак муҳитларда модда ноизотермик кўчиши модели тузилган. Маълум ёндашувлардан фарқли равишда иссиқлик ва модда кўчиши бир-бирига боғлиқ тенгламалар системаси кўринишида олинди. Моделнинг сонли реализацияси асосида температура омиллари таъсирини ҳисобга олиш модда кўчишининг диффузия характеристикаларини сезиларли даражада ўзгартириши кўрсатилган. Модданинг концентрацияси ва температурасининг вақт бўйича каср ҳосилалар кўринишида кўчиш тенгламаларига мувофиқ ғовак блоklar ва атроф муҳитга иссиқлик ва модданинг аномал кўчишини манба ҳади билан самарали моделлаштириш мумкин. Ёриқлардаги кўчишнинг турли характеристикаларини ҳамда модда ва иссиқлик ютилишининг турли эффектларини ретардацион омиллар ва ҳосилаларнинг тартибларидан боғлиқ равишда олиш мумкин.

4. Модданинг ўтириш хусусиятлари билан фарқ қилувчи ҳар бир соҳаси икки қисмдан иборат бўлган икки соҳали ғовак муҳитда модда кўчиши модели умумлаштирилди. Ўтириб қолишнинг қайтарилувчанлигини ҳисобга олиш унинг динамикасини сезиларли даражада ўзгартириши кўрсатилди. Бунда ўтириб қолишнинг умумий ҳажми қайтарилмайдиган ўтириб қолиш ҳолига нисбатан анча кам бўлади. α параметрнинг қиймати ошишида икки соҳали муҳит бир соҳали муҳит хусусиятларини эгаллайди.

5. Биржинслимас ғовак муҳитларда икки соҳанинг ўрнига битта соҳа, иккинчи соҳа биринчиси учун манба ҳади сифатида қаралган модда кўчиши модели тузилди. Моддаларнинг аномал кўчиши моделлари доирасида иккинчи соҳанинг мавжудлиги кўчиш тенгلامасида вақт бўйича модда концентрациясининг каср ҳосиласидан иборат бўлган ҳад сифатида кўчиш билан ҳисобга олинди. Бир-бирига кўшилиб кетган континуумлар кўринишида берилган муҳитларда кўчишнинг маълум моделлари билан бу моделни таққослаш шуни кўрсатдики, моделнинг мос параметрларини танлаш орқали натижалар мавжуд моделлар билан яқинлигини таъминлаш мумкин. Демак, таклиф этилаётган модел биржинслимас ғовак муҳитларда модда кўчиши ҳодисасини ифодалайдиган оддийроқ тузилишга эга.

6. Соҳаларнинг иккала қисмларида ўтиришнинг чизиклимас кинетикаси билан биржинслимас ғовак муҳитда модда кўчиши модели сонли таҳлил қилинди. Қолган параметр қийматларини ўзгартирмаганда n кўрсаткичнинг бир бирликдан камайиши модда ўтиришининг жадаллашишига олиб келишини кўрсатилди. Бундан келиб чиқиб, мобил суюқликда модда концентрацияси тарқалишининг ёйилишида тўхталиш рўй беради.

7. Биржинслимас икки соҳали ғовак муҳитда иккинчи соҳа мавжудлигини манба ҳади сифатида, бундан ташқари атроф муҳитга масса кўчишини инобатга олиб модда кўчиши модели сонли таҳлил қилинди. Атроф муҳитга массанинг кўчиши ҳаракатдаги суюқликда модда концентрациясининг ҳам ўтирган модда концентрациясининг ҳам ёйилишини секинлашишига олиб келишлиги кўрсатилди.

**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

ДЖИЯНОВ ТУРСУНПУЛОТ ОРТИКОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ АНОМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ
НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ**

01.02.05 - Механика жидкости и газа

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

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2018.2.PhD/FM234.

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: **Хужаёров Бахтиёр Хужаёрович**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Хужаев Исматулла Кушаевич**
доктор технических наук, с.н.с.

Равшанов Нормамат
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: **Термизский государственный университет**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2018 г. в ___ часов на заседании Научного совета DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений 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 номер38). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий, 39, зал заседаний– 4. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2018 года.
(реестр Протокола рассылки №__ от «__» _____ 2018 года.)

М.М.Мирсаидов

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

Б.А.Худаяров

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.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 в нефтедобывающей отрасли особое место занимают вторичные и третичные методы добычи. В последние годы в нефтедобывающей отрасли развитых стран вместо классических начинают применять неклассические модели, выражающие процесс аномального движения жидкости и вещества в пористых средах. В этом направлении, в частности, уделяется особое внимание усовершенствованию математических моделей, выражающих процесс фильтрации жидкости в пористой среде с трещинами, а также фильтрации неоднородных жидкостей. В этой связи, особое внимание уделяется усовершенствованию методов проектирования с учетом основных факторов, влияющих на процесс аномального движения жидкостей в пористой среде с неоднородной структурой, в частности, в нефтегазодобывающей промышленности таких развитых стран как США, Россия, Китай и другие.

В мире для повышения нефтеотдачи пластов применяются различные методы воздействия на нефтяные пласты, в частности тепловые методы, позволяющие увеличение подвижности нефти, и различные методы поддержания внутрислоевого давления. Особое внимание уделяется созданию научных основ возникающих термогидродинамических процессов, в частности, усовершенствованию математических моделей процессов переноса веществ в трещиновато-пористых средах. Учитывая отсутствие математических моделей, адекватно описывающих процессы аномального переноса веществ в трещиновато-пористых средах, актуальным является разработка новых математических моделей, алгоритмов и программ для ЭВМ.

В нефтедобывающей отрасли нашей республики уделяется большое внимание применению новых технологий освоения нефтяных месторождений на основе программных мер, осуществляемых в этом направлении, в частности, повышению добычи нефти с применением современных технологий. Большая работа проводится по обеспечению населения питьевой водой, охране подземных водных резервуаров. В «Стратегии развития Республики Узбекистан» на 2017-2021 годы, в частности отмечается «Всестороннее улучшение обеспечения чистой питьевой водой сельского населения... посредством поэтапного внедрения современных, экономичных и результативных технологий ... технологического и технического обновления, а также модернизации производства».² Таким образом, главенствующей задачей становится осуществление работ по защите резервуаров чистой воды, а также повышение эффективности нефтедобычи, и для решения этих задач создание и усовершенствование математических моделей процессов аномального переноса веществ и движения жидкостей в пористой среде.

² Указ «О стратегии действий по улучшению Республики Узбекистан» № ПФ-4947 от 7 февраля 2017 Президента Республики Узбекистан.

В определенной степени, данное диссертационное исследование служит осуществлению задач, определенных в нормативно-правовых документах касательно данной деятельности, в частности, к таковым относятся Указ «О стратегии действий по развитию Республики Узбекистан» ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года, Указ «О мерах по усовершенствованию системы защиты водных объектов» ПК – 3286 от 25 сентября 2017 года, «Об усовершенствовании системы управления нефте-газодобывающей промышленностью» № ПК-3107 от 30 июня 2017 года, Решение «О мерах по обеспечению рационального использования энергетических ресурсов» № ПК 3379 от 8 ноября 2017 года Президента Республики Узбекистан, а также другие нормативно - правовые документы.

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

Степень изученности проблемы. Вопросы переноса веществ и тепла в условиях двухзонной среды, имеющей различные характеристики, а также аномального переноса веществ в трещиновато-пористых средах рассматривались в исследованиях A.Suzuki, A.S.Fomin, V.A.Chugunov, T.Hashida, Y.Nibori, A.S.Bredford, F.J.Leij, H.Makita, J.Simunek, N.Toride, S.E.Silliman.

В определенной степени в своих исследованиях по вопросам аномального переноса вещества в неоднородных трещиновато-пористых средах положительных результатов достигли такие известные ученые и исследователи, как A.D.Benson, M.M.Meerschaert, W.S.Wheatcraft, F.Huang, F.Liu, M.Sahimi, R.Schumer, B.Baeumer, N.R.Horne, H.Zhan, B.F.A.Tompson, Ж.Акилов, Б.Х.Хужаёров, В.Ф.Бурнашев.

На сегодняшний день вопросы аномального переноса тепла и веществ в неоднородной пористой среде изучены недостаточно, в частности, влияние температуры на перенос веществ в трещиновато-пористых средах, тепло и массообмен в двухзонных пористых средах практически не исследовано. Для описания этих процессов аппарат дифференциальных уравнений с дробными производными только начинает использоваться.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Тема диссертационной работы связана с планом НИР по следующей теме: «Гидродинамические задачи фильтрации и фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах. Этап V. Анализ моделей аномального переноса веществ в пористых средах», выполненная в СамГУ на основе контракта Ф4-Ф078 в 2014-2016 гг.

Целью исследования состоит в усовершенствовании моделей аномального переноса веществ в неоднородных пористых средах и оценка аномальности на характеристики переноса.

Задачи исследования:

Разработка математических моделей аномального переноса веществ в неоднородных пористых средах и методы их решения;

Усовершенствование математических моделей аномального переноса вещества в неоднородных пористых средах;

Усовершенствование математических моделей переноса веществ в двухзонных неоднородных пористых средах;

Усовершенствование математических моделей переноса вещества с неравновесной адсорбцией в неоднородной пористой среде с учетом массообмена с окружающей средой.

Объектом исследования являются пористые среды, через которые фильтруются неоднородные жидкости, в частности, суспензии.

Предмет исследования. Математические модели, вычислительные алгоритмы для проведения вычислительного эксперимента на ЭВМ, гидродинамический анализ процессов аномального переноса веществ в неоднородных пористых средах.

Методы исследований. В ходе исследований использованы методы подземной гидро-газомеханики, методы математического моделирования, математической физики, численные методы и вычислительный эксперимент.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Усовершенствована математическая модель аномального неизотермического переноса веществ в неоднородной пористой среде, учитывающая внутренний и внешний массообмен;

Разработана математическая модель с учетом воздействия температуры на процесс аномального переноса веществ в неоднородной пористой среде;

Разработана математическая модель переноса вещества в двухзонной пористой среде, учитывающая обратимое задерживание коллоидных частиц;

Усовершенствована математическая модель переноса веществ в неоднородной двухзонной пористой среде с заменой влияния второй зоны источником членом в уравнении переноса, а также с учетом переноса массы в окружающую среду.

Практические результаты исследования состоят в разработке математических моделей процессов аномального переноса вещества на основе новых дифференциальных уравнений дробного порядка, алгоритмов и вычислительных экспериментов.

Разработаны программные средства для осуществления расчёта процесса переноса веществ с неравновесной адсорбцией в неоднородной пористой среде с учетом массообмена с окружающей средой;

Разработаны программные средства для осуществления расчета процесса переноса веществ в двухзонной среде с нелинейной кинетикой.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается соответствием характера расчетных результатов реальным физическим процессам и подробным физическим анализом полученных результатов, 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 исследования состоит в усовершенствовании моделей аномального переноса. Разработанные модели и алгоритмы являются важным вкладом в теорию фильтрации жидкости в неоднородных пористых средах и могут использоваться при проектировании нефтегазовых месторождений.

Практическая значимость исследования состоит в оценке с качественной и количественной точки зрения процессов переноса веществ в гидрологии, вторичных методов добычи нефти, очистки сточных и питьевых вод, изучении влияния аномальности на фильтрационные процессы в пористых средах.

Внедрение результатов исследования. По результатам исследований составлены программные продукты, математические модели, численные алгоритмы, разработанные по усовершенствованным моделям процессов аномального переноса веществ в неоднородных пористых средах.

Результаты исследования внедрены для оценки распространения загрязнений и осадков, попадающих вместе с водой, определения объемов и илизации в процессе заполнения водой водохранилища Камангарон, при управлении Зерафшанской ирригационной системы посредством программ и методов решения моделей переноса вещества с неравновесной адсорбцией в неоднородной пористой среде с учетом массообмена с окружающей средой (справка № 03/25-1039 от 19 июля 2018 года Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан). Результаты научного исследования дают возможность увеличения на 10 % точности расчетов и оценки гидродинамических параметров процесса инфильтрации при использовании и заполнении водой объектов;

Результаты исследования внедрены для оценки явления кольматации илистого дна водохранилища Камангарон посредством программ и алгоритмов усовершенствованных расчетов влияния второй среды и переноса массы во внешнюю среду из двухзонной неоднородной пористой среды (справка № 03/25-1039 от 19 июля 2018 года Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан). Результаты научных исследований дают возможность увеличить в 2,5 раза коэффициент полезного действия используем инженерных расчетов;

Результаты исследования внедрены для работ по определению разницы изменения основных параметров в процессе илизации и осадочности водохранилища Камангарон посредством программ и алгоритмов расчета процесса переноса вещества в двухзонной среде с нелинейной кинетикой (справка № 03/25-1039 от 19 июля 2018 года Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан). Результаты научного исследования дают возможность увеличить на 10 % качество среднесрочного и долгосрочного прогнозирования процесса илизации водохранилища;

Результаты исследований внедрены в работах по расчету распределения по прибрежной длине илистых осадков дна в части выливания в водохранилище Камангарон, посредством программ и алгоритмов расчетов переноса веществ в двухзонной среде с нелинейной кинетикой (справка № 03/25-1039 от 19 июля 2018 года Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан). Результаты научных исследований дают возможность увеличить в 3 раза коэффициент полезного действия используемых инженерных расчетов;

Результаты научных исследований использованы при решении вопросов, а также моделировании процессов фильтрации неоднородных жидкостей в неоднородных пористых средах в фундаментальных проектах на тему “Гидродинамические задачи фильтрования и фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах” ФА-Ф078, алгоритмов расчетов и усовершенствованных математических моделей процесса неизотермического аномального переноса веществ в двухзонных неоднородных пористых средах (2014-2016 гг) (справка № 89-03-2190 от 5 июня 2018 года Министерства высшего и среднего специального образования). Использование научных результатов дали возможность решения вопросов аномального переноса веществ в неоднородных пористых средах.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования доложены на 6 международных и 4 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано 19 научных трудов: 7 научных статей, в том числе 6 в республиканских и 1 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получены 2 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ (№ DGU 04831, DGU 04994).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации состоит из 115 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации, названной **«Аномальный перенос вещества в неоднородных пористых средах и его математические модели»** приводится анализ по проблемам моделирования процесса аномального переноса веществ в неоднородных пористых средах. Описаны основные аномальные явления и возможные причины, их вызывающие. Даны сведения о существующих моделях, описывающих данные аномальные явления.

В параграфе 1.1 приведены общие понятия моделирования процессов аномального переноса вещества в пористых средах.

В параграфе 1.2 рассматриваются математические модели аномального переноса веществ в неоднородных пористых средах.

В параграфе 1.3 рассматриваются дробные производные при аномальном переносе веществ в пористой среде и их вычисление.

В работе дробная производная используется в соответствии с определением Капуто

$$\frac{\partial^\gamma c(t, x)}{\partial t^\gamma} = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(1-\gamma)} \int_0^t (t-\xi)^{-\gamma} \frac{\partial c}{\partial \xi} d\xi, & 0 < \gamma < 1, \\ \frac{\partial c}{\partial t}, & \gamma = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где $\Gamma(\cdot)$ – Гамма функция, γ – порядок производной.

Для решения дифференциальных уравнений с дробными производными могут быть применены различные методы. Наиболее универсальным методом является метод конечных разностей. Для решения различных задач в диссертации использован данный метод.

Во второй главе диссертации, названной **«Задачи аномального переноса вещества в неоднородных пористых средах»** решается ряд задач релаксационного переноса веществ в пористых средах.

В параграфе 2.1 используя обобщенные релаксационные законы Фика с одним време релаксации выведены уравнения переноса, которые решены численно.

В параграфе 2.2 используя обобщенные релаксационные законы Фика с двумя временами релаксации выведены уравнения переноса, которые анализированы численно.

В параграфе 2.3 рассматривается аномальный перенос вещества в неоднородной пористой среде. Для анализа процесса переноса веществ в неоднородных пористых средах использована модель переноса, основанная на дифференциальных уравнениях дробного порядка как по времени, так и по пространственной координате. Рассматривается неоднородная пористая среда, состоящая из хорошо проницаемой (транзитной) и плохо проницаемой застойной зон, где процесс переноса вещества происходит в транзитной зоне, а между зонами за счет образовавшихся градиентов концентраций возникает массообмен. Допускается перенос вещества в окружающую среду, когда она проницаема. Не конкретизируя геометрические характеристики застойной

зоны, массообмен между зонами, а также диффузионный поток вещества в уравнении переноса моделируется источником членом в виде дробной производной от концентрации вещества по времени. Это позволяет учесть аномальные явления в процессе переноса.

В соответствии с сформулированными условиями уравнение переноса вещества в одномерном случае может быть записано в виде

$$m \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + a_2 \frac{\partial^\gamma c}{\partial t^\gamma} + a_3 \frac{\partial^\beta c}{\partial t^\beta} = \frac{\partial}{\partial x} (mJ), \quad (2)$$

$$J = D \left(p \frac{\partial^\alpha c}{\partial x^\alpha} + (1-p) \frac{\partial^\alpha c}{\partial (-x)^\alpha} \right),$$

где c – объемная концентрация вещества; t – время, с; J – относительный диффузионный массовый поток, м/с; m – пористость транзитной зоны; D – коэффициент эффективной диффузии, м^{1+α}/с; a_3 – ретардационный фактор, обусловленный переносом вещества в окружающую среду, с^{β-1}; a_2 – ретардационный фактор, связанный массообменом между двумя зонами, с^{γ-1}; v – скорость фильтрации м/с; α, β, γ – порядок производных ($0 < \alpha \leq 1, 0 < \beta < 1, 0,5 \leq \gamma \leq 1$), p ($0 \leq p \leq 1$) характеризует долю опережающей и отстающей дисперсии от центральной симметрии. Если $p < \frac{1}{2}$, дисперсия имеет отстающий от симметрии характер с образованием

хвоста. Если $p > \frac{1}{2}$ дисперсия имеет уклон вперед относительно симметрии с образованием быстрого фронта и относительно коротким хвостом.

Пусть полубесконечная пористая среда заполнена жидкостью с объемной концентрацией c_0 , с момента $t > 0$ в нее начинает поступать жидкость с объемной концентрацией вещества c_1 . На бесконечности сохраняется первоначальная концентрация c_0 . Тогда начальные и граничные условия имеют вид

$$c(0, x) = c_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (3)$$

$$c(t, 0) = c_1, \quad c(t, \infty) = c_0. \quad (4)$$

Результаты исследований показывают, что уменьшение показателя β от единицы приводит к отставанию развития профилей. Учет массообмена между транзитными и застойными зонами, что наблюдается при $b_2 \neq 0$, приводит к еще большему отставанию развития профилей. Следует заметить, что при одновременном учете переноса вещества в окружающую среду и массообмена между зонами влияние параметра β ослабевает. Очевидно, что при относительно больших временах \bar{t} переходной процесс завершается и влияние членов $b_2 \frac{\partial^\gamma C}{\partial \bar{t}^\gamma}$ и $b_3 \frac{\partial^\beta C}{\partial \bar{t}^\beta}$ на концентрационные профили исчезает. На рис. 1 представлены результаты при различных b_2 и b_3 и фиксированных β и

γ . На рис. 1 использованы безразмерные параметры $C = \frac{c}{c_m}$, $X = \frac{x}{x_m}$, $\bar{t} = \frac{t}{t_m}$,

$b_2 = \frac{a_2}{mt_m^{\gamma-1}}$, $b_3 = \frac{a_3}{mt_m^{\beta-1}}$, где c_m, x_m – характерные величины, t_m – характерное время для переноса вещества. Как и следовало ожидать, увеличение значений b_2 и b_3 усиливает роль переноса вещества в окружающую среду и массопереноса в застойную зону. За счет этого происходит отставание в развитии профилей концентрации вещества в транзитной зоне. Можно заметить уменьшение зоны изменения концентрации вещества как при увеличении b_3 , так и b_2 . В этом отношении их действие на характеристики переноса вещества одинаково.

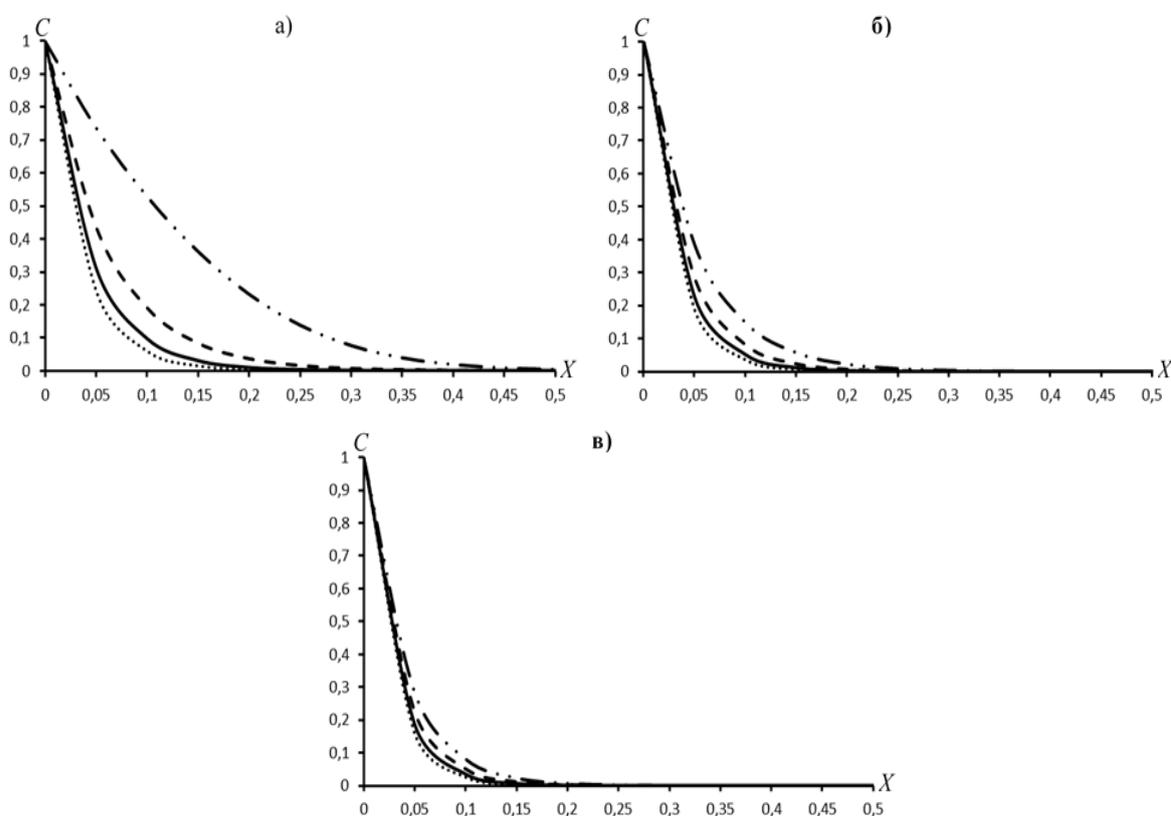


Рис. 1. Профили C при $\beta = 0,5$, $\gamma = 0,5$, $b_2 = 0$ (а); 0,4 (б); 0,7 (в); $b_3 = 0,1$ (— · — · —), 0,4(— — — —), 0,7(————), 1,0(.....).

В параграфе 2.4 рассматривается аномальный неизотермический перенос вещества в неоднородной пористой среде. В задаче неизотермического аномального переноса веществ составлена связанная система дифференциальных уравнений дробного порядка для полей концентрации вещества и температуры. Показано, что с учетом зависимости диффузионных свойств вещества от температуры, процессы переноса протекают несколько другим образом, характер которых определяется изменением температурного поля. В качестве неоднородной среды рассмотрим трещиновато–пористые пласты или породы. При этом трещины

играют роль транзитной зоны, а пористые блоки – застойной. Допускается перенос вещества в окружающую среду, когда она проницаема. Кроме того, учитывается перенос тепла в окружающую среду. Таким образом, рассматриваемая среда состоит из трех частей: 1 – транзитная зона (трещины), 2 – застойная зона (пористые блоки), 3 – окружающая среда (рис. 2). Движение жидкости, конвективно-диффузионный перенос вещества и тепла рассматривается в трещинах.

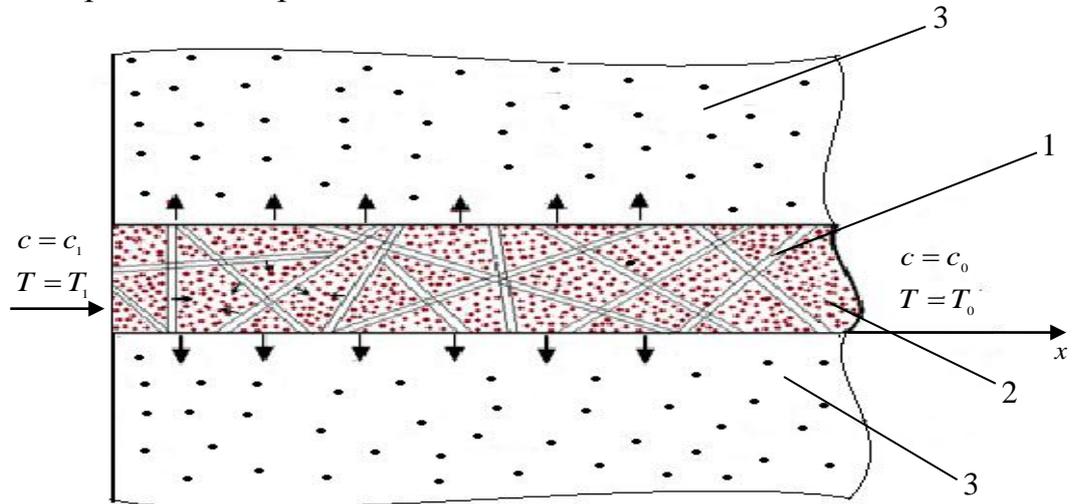


Рис.2. Схема неоднородной среды. 1 – трещины, 2 – пористые блоки, 3 – окружающая среда.

В соответствии с сформулированными условиями перенос вещества в одномерном случае может быть описан уравнением (2).

Уравнение аномальной теплопередачи с учетом диффузии тепла представлено в виде

$$\overline{\rho C} \frac{\partial T}{\partial t} + d_2 \frac{\partial^{\gamma'} T}{\partial t^{\gamma'}} + d_3 \frac{\partial^{\beta'} T}{\partial t^{\beta'}} + \rho_w C_w v \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda(t, x) \frac{\partial T}{\partial x}) \quad , \quad (5)$$

$$\overline{\rho C} = m \rho_w C_w + (1 - m) \rho_r C_r,$$

где t – время, с; v – скорость фильтрации, м/с; d_2 – тепловой ретардационный фактор, обусловленный теплопередачей из транзитной зоны в застойную зону, $c^{\gamma-1}$; d_3 – тепловой ретардационный фактор, обусловленный теплопередачей в окружающую среду; C_r – удельная теплоёмкость породы, Дж/(кг·К); C_w – удельная теплоёмкость жидкости, Дж/(кг·К); T – температура, К; ρ_r – плотность породы, кг/м³; ρ_w – плотность жидкости, кг/м³; γ', β' – порядок производных ($0 < \beta' < 1$, $0,5 \leq \gamma' \leq 1$).

При постоянном коэффициенте теплопроводности λ уравнение (5) приводится к виду

$$\frac{\partial T}{\partial t} + d'_2 \frac{\partial^{\gamma'} T}{\partial t^{\gamma'}} + d'_3 \frac{\partial^{\beta'} T}{\partial t^{\beta'}} + \omega v \frac{\partial T}{\partial x} = D_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (6)$$

где $d'_2 = \frac{d_2}{\rho C}$, $d'_3 = \frac{d_3}{\rho C}$, $\omega = \frac{\rho_w C_w}{\rho C}$, $D_T = \frac{\lambda}{\rho C}$, D_T – коэффициент диффузии тепла, m^2/c .

Пусть полубесконечная пористая среда заполнена жидкостью с постоянной объемной концентрацией вещества c_0 , с момента $t > 0$ в нее начинает поступать жидкость с постоянной объемной концентрацией вещества c_1 . На бесконечности сохраняется первоначальная концентрация c_0 . Тогда начальные и граничные условия для (2) имеют вид

$$c(0, x) = c_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (7)$$

$$c(t, 0) = c_1, \quad c(t, \infty) = c_0. \quad (8)$$

Первоначальная температура пласта T_0 , поступающая в пласт жидкость имеет температуру $T_1 = \text{const}$. Считаем, что до $x = \infty$ тепловой фронт не доходит и там температура остается равной первоначальной. Таким образом, для (6) начальное и граничные условия можно записать в виде

$$T(0, x) = T_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (9)$$

$$T(t, 0) = T_1, \quad T(t, \infty) = T_0. \quad (10)$$

Когда D_c не зависит от T уравнения (2) и (6) являются независимыми и решаются самостоятельно. Здесь принимаем линейную зависимость коэффициента диффузии вещества от температуры

$$D_c = D_0 + e(T - T_0), \quad (11)$$

где D_0 – коэффициент диффузии при $T = T_0$, e – коэффициент, характеризующий изменение D_c с изменением температуры T . Выбор (11) сделан для удобства выкладок. Очевидно, для конкретных веществ коэффициент e может быть связан с коэффициентами в $D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$ (формула Эйнштейна), где k_B – коэффициент Больцмана, η – вязкость жидкости, r – радиус частиц.

Безразмерное уравнение переноса вещества, соответствующее (2), с учетом введенных безразмерных величин имеет вид

$$\frac{\partial c}{\partial \bar{t}} + V \frac{\partial c}{\partial \bar{x}} + \bar{a}_2 \frac{\partial^\gamma c}{\partial \bar{t}^\gamma} + \bar{a}_3 \frac{\partial^\beta c}{\partial \bar{t}^\beta} = \frac{1}{Pe_c} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left[\bar{D}_c \left(p \frac{\partial^\alpha c}{\partial \bar{x}^\alpha} + (1-p) \frac{\partial^\alpha c}{\partial (-\bar{x})^\alpha} \right) \right], \quad (12)$$

где $\bar{D}_c = 1 + \bar{e}(\bar{T} - 1)$, $\bar{t} = \frac{t}{t_m}$, $Pe_c = \frac{x_m^{1+\alpha}}{t_m D_0}$, $\bar{e} = \frac{e T_m}{D_m}$, $\bar{a}_3 = \frac{a_3}{m t_m^{\beta-1}}$, $\bar{a}_2 = \frac{a_2}{m t_m^{\gamma-1}}$, t_m – характерное время, x_m – характерная длина, T_m – характерная температура, D_m – характерная диффузия.

Начальное и граничные условия (7), (8) также приводятся к безразмерному виду

$$c(0, \bar{x}) = c_0, \quad 0 \leq \bar{x} < \infty, \quad (13)$$

$$c(\bar{t}, 0) = c_1, \quad c(\bar{t}, \infty) = c_0. \quad (14)$$

Уравнение переноса тепла (6) в безразмерных переменных записывается следующим образом

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{t}} + \bar{d}_2 \frac{\partial^{\gamma'} \bar{T}}{\partial \bar{t}^{\gamma'}} + \bar{d}_3 \frac{\partial^{\beta'} \bar{T}}{\partial \bar{t}^{\beta'}} + m\omega V \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{Pe_T} \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{x}^2}. \quad (15)$$

Безразмерные начальное и граничные условия для (15) имеют вид

$$\bar{T}(0, \bar{x}) = 1, \quad 0 \leq \bar{x} < \infty, \quad (16)$$

$$\bar{T}(\bar{t}, 0) = \bar{T}_1, \quad \bar{T}(\bar{t}, \infty) = 1, \quad \bar{T}_1 = \frac{T_1}{T_0}, \quad (17)$$

где $V = \frac{vt_m}{mx_m}$, $Pe_T = \frac{x_m^2}{t_m D_T}$, $\bar{d}_2 = \frac{d'_2}{t_m^{\gamma'-1}}$, $\bar{d}_3 = \frac{d'_3}{t_m^{\beta'-1}}$.

Результаты исследований показывают, что увеличение \bar{d}_2 и уменьшение γ' на распределение температуры аналогичны. При $\bar{d}_2 = 0$ поглощение тепла пористыми блоками отсутствует, температурные профили придвигаются относительно быстро в глубь среды.

Исследование влияния \bar{e} на распределение концентрации вещества показывает, что с увеличением его значения роль диффузионных эффектов усиливается (рис. 3). По сравнению с постоянным коэффициентом диффузии ($\bar{e} = 0$) при $\bar{e} \neq 0$ получают более размытые профили со значениями текущей концентрации, большими чем в случае $\bar{e} = 0$. Это объясняется влиянием температуры на диффузионные свойства вещества.

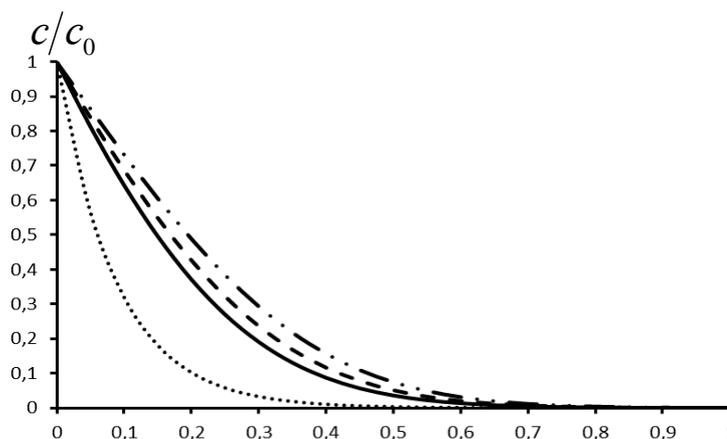


Рис. 3. Профили c при $\bar{t} = 36$, $\bar{d}_2 = 0$, $\bar{d}_3 = 0,4$, $\bar{a}_2 = 0$, $\bar{a}_3 = 0,4$, $\beta = 0,5$, $\beta' = 0,5$, $\bar{e} = 0(\dots\dots\dots)$, $0,5(\text{—})$, $0,7(\text{---})$, $1,0(\text{-}\cdot\cdot\text{—})$.

Проведенный анализ показывает, что температурное поле оказывает заметное влияние на характеристики переноса вещества в неоднородных пористых средах. В случае трещиновато-пористых сред поглощение тепла и вещества пористыми блоками и окружающей средой существенно замедляет процесс распространения тепла и вещества в трещинах. Аномальный перенос вещества и тепла в пористые блоки и окружающую среду эффективно может быть смоделирован стоковыми членами в соответствующих уравнениях переноса в виде дробных производных температуры и концентрации

вещества от времени. В зависимости от порядков этих производных и ретардационных факторов можно получить различные эффекты поглощения тепла и вещества, и как следствие – различные характеристики переноса в трещинах.

В третьей главе диссертации, названной «Перенос вещества в двухзонных неоднородных пористых средах», исследованы задачи переноса веществ в средах, состоящих из двух зон, которые отличаются по своим характеристикам фильтрации жидкости и переноса веществ.

В параграфе 3.1 рассматривается перенос вещества в двухзонных средах с различными характеристиками. В каждой зоне имеются по два участка, где характеристики осаждения вещества отличаются. В обоих участках принимается обратимая кинетика осаждения вещества. Показано, что обратимость кинетики осаждения меняет общую кинетику, при прочих равных условиях она приводит к уменьшению общего объема осаждения и более прогрессивному распространению вещества вместе с движущейся жидкостью. Здесь же эта задача изучается с использованием нового подхода, когда вместо двух зон рассматривается одна гомогенная, а наличие второй зоны учитывается в уравнении переноса в виде стокового члена.

В параграфе 3.2 рассматривается перенос вещества с неравновесной адсорбцией в неоднородной пористой среде, состоящей из хорошо проницаемой (транзитной) и плохо проницаемой (застойной) зон, схема которой приведена на рис. 4. Параметры в первой зоне обозначены с индексом 1. В зоне 1 есть два участка, в каждой из которых происходит осаждение вещества с необратимой неравновесной кинетикой. Со второй зоной происходит обмен вещества, которого смоделируем производной дробного порядка по времени от концентрации вещества в первой зоне. Следовательно, концентрационное поле во второй зоне не рассматривается.

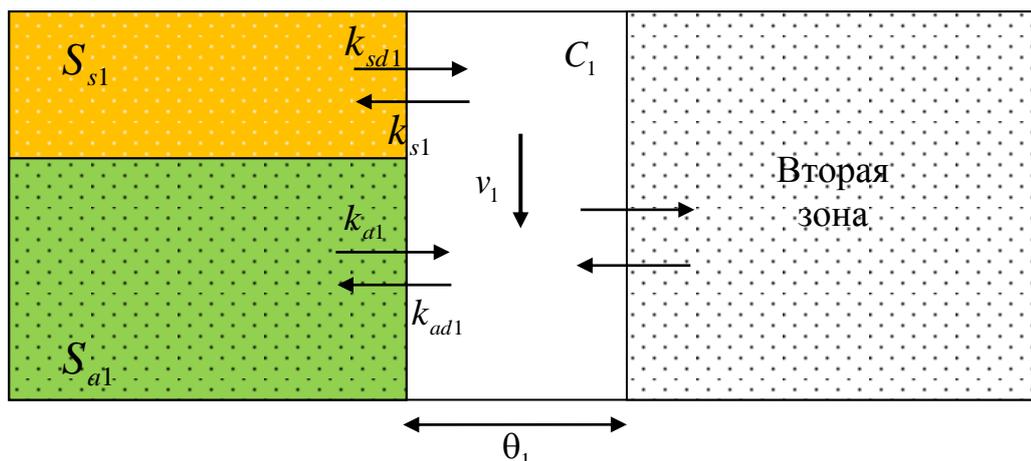


Рис. 4. Схема переноса вещества в двухзонной среде

Уравнение переноса вещества в одномерном случае записываем в виде

$$\rho \frac{\partial S_{a1}}{\partial t} + \rho \frac{\partial S_{s1}}{\partial t} + \theta_1 \frac{\partial c_1}{\partial t} + a_2 \frac{\partial^\gamma c_1}{\partial t^\gamma} = \theta_1 D_1 \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} - \theta_1 v_1 \frac{\partial c_1}{\partial x}, \quad (18)$$

где t – время, c ; x – расстояние, м; D_1 – коэффициент продольной дисперсии, $\text{м}^2/\text{с}$; v_1 – скорость движения жидкости, $\text{м}/\text{с}$; c_1 – объемная концентрация вещества в жидкости; S_{a1} и S_{s1} – концентрации осажденного вещества, $\text{м}^3/\text{кг}$; θ_1 – пористость, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ρ – плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$; a_2 – ретарцационный фактор, обусловленный переносом вещества во вторую среду, $c^{\beta-1}$.

Осаждение вещества в каждом из участков зон происходит необратимо в соответствии с кинетическими уравнениями

$$\rho \frac{\partial S_{a1}}{\partial t} = \theta_1 k_{a1} c_1 - \rho k_{ad1} S_{a1}, \quad (19)$$

$$\rho \frac{\partial S_{s1}}{\partial t} = \theta_1 k_{s1} c_1 - \rho k_{sd1} S_{s1}, \quad (20)$$

где k_{a1} , k_{s1} – коэффициенты отложения вещества от жидкой фазы на твердую фазу, c^{-1} ; k_{ad1} , k_{sd1} – коэффициенты отрыва вещества из твердой фазы и перехода в жидкость, c^{-1} .

Пусть в первоначально насыщенную чистой (без вещества) жидкостью среду с начального момента времени закачивается жидкость с постоянной концентрацией вещества c_0 . Рассмотрим такие периоды времени, где концентрационное поле не достигает правой границы среды $x = \infty$. При отмеченных допущениях начальные и граничные условия для задачи имеют вид

$$c_1(0, x) = 0, S_{a1}(0, x) = 0, S_{s1}(0, x) = 0, \quad (21)$$

$$c_1(t, 0) = c_0, \quad (22)$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial x}(t, \infty) = 0. \quad (23)$$

Для решения задачи применяем метод конечных разностей. Для количественной оценки близости полученных здесь результатов и известных результатов на основе биконтинуального подхода вычислялось

$$\delta_1 = \int_0^L (I_1 - I_2)^2 dx \quad (24)$$

при заданном значении t , где L – условная граница области, до которой распространяются концентрационные профили, $I_1 = \alpha(c_2 - c_1)$, $I_2 = a_2 \frac{\partial^\gamma c_1}{\partial t^\gamma}$.

Близость стоковых членов I_1 и I_2 должна гарантировать близость концентрационных полей c_1 , определенных с использованием предлагаемого подхода и известной модели (S. Bradford). Для этого, построены соответствующие профили c_1 (рис. 5). Как видно из графиков, решения близки друг к другу. Для оценки их близости используем среднее квадратическое отклонение двух решений

$$\delta_2 = \int_0^L (c_1^{(1)} - c_1^{(2)})^2 dx,$$

где $c_1^{(1)}$ - концентрационное поле $c_1(t, x)$ при заданном t , определенное по работе S. Bradford, а $c_1^{(2)}$ - то же самое, определенное здесь.

Численные эксперименты показали, что при соответствующем выборе параметров предлагаемая здесь однозонная модель удовлетворительно может описать результаты двухзонной модели.

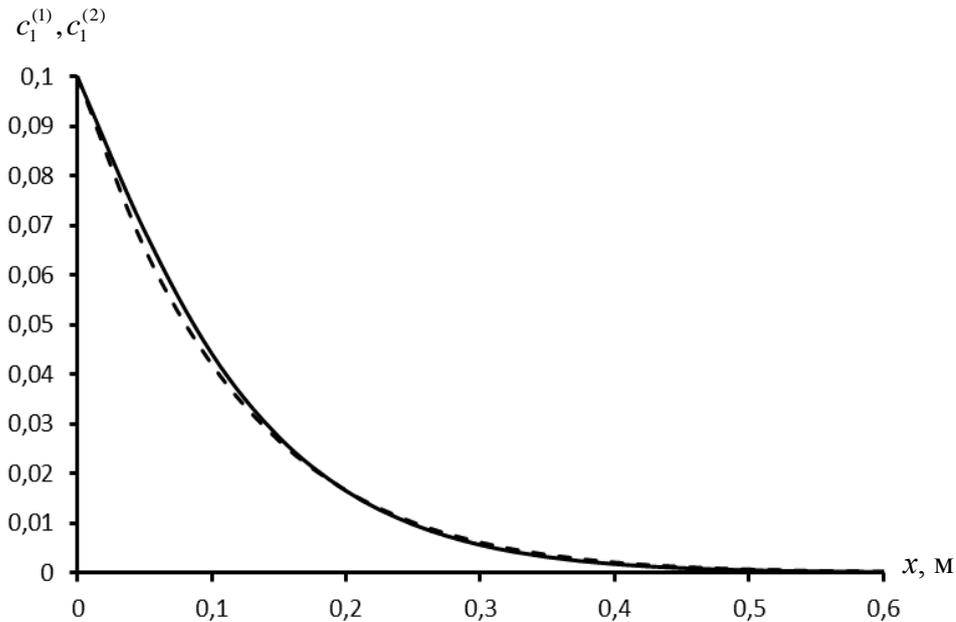


Рис. 5. Сравнение концентрационных профилей полученных на основе двух моделей. $t=3600$ с, $\alpha = 10^{-4}$, $a_2 = 0,0002$, $\gamma = 0,5$, $c_1^{(1)}$ (—), $c_1^{(2)}$ (- - -).

В параграфе 3.3 рассматривается перенос вещества в двухзонной среде с нелинейной кинетикой. Анализированы также случаи нелинейной кинетики осаждения, выход (утечка) вещества в окружающую среду и др.

В параграфе 3.4 рассматривается перенос вещества с неравновесной адсорбцией в неоднородной пористой среде с учетом массообмена с окружающей средой. Установлена роль массообмена с окружающей средой на характеристики переноса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований по теме диссертации доктора философии (PhD) «Разработка и анализ моделей аномальной фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах» сводятся к следующим основным выводам:

1. Решена задача релаксационного переноса вещества в пористой среде. Показано, что релаксационный характер закона диффузии приводит к замедлению развития профилей концентрации вещества и ее динамики в заданных точках области. Увеличение коэффициента диффузии приводит к размытию профилей концентрации, а увеличение скорости фильтрации – к усилению эффектов конвективного переноса.

2. Численно анализирована модель аномального переноса вещества в неоднородной пористой среде, учитывающая внутренний и внешний массообмен. Модель представляет собой дифференциальное уравнение с дробными производными. Показано, что при различных порядках дробной производной можно получить различные аномальные характеристики внутреннего и внешнего массообмена. Увеличение интенсивности внутреннего переноса массы вещества приводит к уменьшению характеристик переноса массы в рассматриваемой среде. Аналогичный эффект получается при увеличении интенсивности переноса массы в окружающую среду.

3. Составлена модель неизотермического переноса вещества в неоднородной пористой среде, где учитывается влияние температуры на диффузионные свойства переноса. В отличие от известных подходов в данном случае получается связанная система уравнений переноса вещества и температуры. На основе численной реализации модели показано, что за счет влияния температурных эффектов диффузионные характеристики переноса веществ изменяются значительно. Вследствие чего общие характеристики переноса также существенно изменяются. Аномальный перенос вещества и тепла в пористые блоки и окружающую среду эффективно может быть смоделирован стоковыми членами в соответствующих уравнениях переноса в виде дробных производных температуры и концентрации вещества от времени. В зависимости от порядков этих производных и ретардационных факторов можно получить различные эффекты поглощения тепла и вещества, и как следствие – различные характеристики переноса в трещинах.

4. Обобщена модель переноса вещества в двухзонной пористой среде, где каждая зона имеет по два участка, существенно отличающихся по свойствам осаждения вещества. В отличие от известных моделей здесь в обоих участках зон осаждение вещества считается обратимым, а сам процесс кинетическим. Показано, что учет обратимости осаждения существенно меняет его динамику. При этом общий объем осаждения меньше, чем в случае необратимого отложения. При увеличении значений параметра α двухзонная среда приобретает свойства гомогенной среды.

5. Составлена модель переноса вещества в неоднородных пористых средах, где вместо двух зон рассматривается одна, а вторая зона рассматривается как источник (сток) для первой. В рамках моделей аномального переноса веществ наличие второй зоны учитывается включением в уравнении переноса члена, состоящего из дробной производной концентрации вещества по времени. Сравнение данной модели с известными моделями переноса в средах, представленных как взаимопроникающие континуумы, показывает, что подбирая соответствующим образом параметры модели, можно получить близкие с известными моделями результаты. Следовательно, предлагаемая модель, имея более простую структуру, способна описать явление переноса веществ в неоднородных пористых средах.

6. Численно анализирована модель переноса вещества в неоднородной пористой среде с нелинейной кинетикой осаждения в обоих участках зон. Показано, что с уменьшением показателя n от единицы при неизменных значениях остальных параметров происходит интенсификация осаждения вещества. Вследствие этого в развитии распределения концентрации вещества в мобильной жидкости происходит отставание.

7. Численно анализирована модель переноса веществ в неоднородной двухзонной пористой среде с заменой влияния второй зоны источником членом в уравнении переноса, а также с учетом переноса массы в окружающую среду. Показано, что перенос массы в окружающую среду приводит к замедленному развитию концентрации вещества как в подвижной жидкости, так и концентрации осажденного вещества.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 AWARDING THE
SCIENTIFIC DEGREE AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES AND TASHKENT INSTITUTE
OF ENGINEERS OF IRRIGATION AND MECHANIZATION IN
AGRICULTURE**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

DZHIYANOV TURSUNPULOT ORTIKOVICH

**DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF MODELS OF ANOMAL
FILTRATION OF INHOMOGENEOUS FLUIDS IN POROUS MEDIA**

01.02.05 – Fluid and gas mechanics

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

TASHKENT – 2018

The subject of doctor of philosophy dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, number B2018.2.PhD/FM234.

The dissertation has been prepared the Samarkand state university.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is posted on the website of Scientific Council (www.instmech.uz) and information- educational portal «ZiyoNET» at the address (www.ziynet.uz).

Scientific adviser: **Khuzhayorov Bakhtiyor Khuzhayorovich**
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Official opponents: **Khuzhaev Ismatulla Kushaevich**
doctor of technical sciences

Ravshanov Normaxmat
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Leading organization: **Termez state university.**

The defense will take place “____” _____ 2018 at _____ 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@tjiame.uz).

The thesis is available in the Information Resource Center of Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (registration number ____). 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 “____” _____ 2018 y.
(Mailing report № _____ on “____” _____ 2018 y.)

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

B.A.Khudayrov
Scientific secretary of Scientific Council for awarding scientific degrees, doctor of technic sciences, docent

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

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to improve the models of anomalous solute transport in an inhomogeneous porous medium, taking into account the relaxation of mass transfer with the environment.

The object of the research is porous media through which heterogeneous liquids, in particular, suspensions, are filtered.

Scientific novelty of the research is as follows:

the mathematical model has been developed taking into account the effect of temperature on the process of anomalous solute transport in an inhomogeneous porous medium;

the mathematical model of anomalous non-isothermal solute transport in a inhomogeneous porous medium has been improved, taking into account internal and external mass transfer;

the mathematical model of solute transport in a two-zone porous medium has been developed, taking into account the reversible retention of colloidal particles.

the mathematical model of solute transport in an inhomogeneous two-zone porous medium has been improved, by replacing the influence of the second zone with the source term in the transfer equation, and also taking into account mass transfer to the environment.

Implementation of the research results

The results of the research software products, mathematical models, numerical algorithms developed according to improved models of the processes of anomalous transfer of substances in heterogeneous porous media are used in:

programs and methods for solving solute transport models with non-equilibrium adsorption in a heterogeneous porous medium taking into account mass transfer to the environment are used to assess the distribution of pollution and precipitation along with water, determine volumes and orization while filling the Kamangaron reservoir of the Zerafshan irrigation system with water, (reference number 03 / 25-1039 of July 19, 2018 of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan). The results of the scientific work make it possible to increase by 10% the accuracy of calculations and estimate the hydrodynamic parameters of the infiltration process when using and filling objects with water;

programs and methods for solving process of solute transport in a two-zone medium with nonlinear kinetics are used to assess the phenomenon of colmatage of the reservoir bottom of the Kamangaron reservoir of the Zerafshan irrigation system (reference number 03 / 25-1039 of July 19, 2018 of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan). The results of the scientific work make it possible to increase by 2.5 times the coefficient of efficiency of the engineering calculations;

programs and methods for solving solute transport in an inhomogeneous two-zone porous medium which is improved, tacking into account the influence of the second zone and also mass transfer to the environment are used to determine the difference in the changes of the main parameters in the process of oriization and

sedimentation of the Kamangaron reservoir of the Zerafshan irrigation system (reference number 03 / 25-1039 of July 19, 2018 of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan). The research results provide an opportunity to increase by 10% the quality of medium-term and long-term forecasting of the reservoir orization process;

programs and methods for solving process of solute transport in a two-zone medium with nonlinear kinetics are used to calculations of the distribution along the coastal length of muddy bottom sediments in terms of pouring into the Kamangaron reservoir of the Zerafshan irrigation system (reference number 03 / 25-1039 of July 19, 2018 of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan). The results of the scientific work make it possible to increase by 3 times the coefficient of efficiency of the engineering calculations;

programs and methods for improved mathematical models of the process of non-isothermal anomalous solute transport in two-zone inhomogeneous porous used in fundamental projects on the theme “Hydrodynamic problems of filtering and filtering heterogeneous liquids in porous media” FA-F078 (2014-2016) to modelling and solving the problems of filtering heterogeneous liquids in inhomogeneous porous media (reference number 89-03-2190 ie June 5, 2018 of the Ministry of Higher and Secondary Special Education). The use of scientific results made it possible to accurately solve the problems of non-isothermal transfer, anomalous solute transport in inhomogeneous porous media.

The outline of the thesis. 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 115 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Рахимов М.Н., Джиянов Т.О. Задача релаксационного переноса вещества в пористой среде // Научный вестник СамГУ, 2012. №2, 21-25 с. (01.00.00 №2).

2. Акилов Ж.А., Джиянов Т.О. Двойной релаксационный перенос вещества в пористой среде // Узбекский журнал «Проблемы механики». 2013. №2. С.16-18. (01.00.00 №4).

3. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О. Аномальный перенос вещества в неоднородной пористой среде // Узбекский журнал «Проблемы механики». 2016. №2. С.25-30. (01.00.00 №4).

4. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О., Шодманов И.Э. Задача аномального переноса вещества в пористой среде // Научный вестник СамГУ, 2017. №3. 91-96 С. (01.00.00 №2).

5. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О. Перенос вещества в двухзонных средах с различными характеристиками // Узбекский журнал «Проблемы механики». 2017. №2-3. 58-61 С. (01.00.00 №4).

6. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О. Перенос вещества с неравновесной адсорбцией в неоднородной пористой среде // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2017. № 3(9). 63-70 С. (05.00.00; № 23).

7. Khuzhayorov B., Dzhiyanov T., Khaydarov O. Double-Relaxation Solute Transport in Porous Media // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India. Vol. 5, Issue 1, January 2018. P. 5094-5101. (05.00.00; № 8.)

II бўлим (II часть; II part)

8. Рахимов М.Н., Джиянов Т.О. Решение задачи релаксационного переноса вещества в пористой среде // Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики грунтов и сложных реологических систем», Самарканд, 19-20 апрель 2013, Книга 2, 242-246 с.

9. Djiiyanov T.O. Relaxing transport of particles in a porous medium // Abstract Proceedings International seminar on mathematics and natural sciences organized by Samarkand State University and Malaysian Mathematical Sciences Society, Samarkand, 15-17 August 2013, P. 32-33.

10. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О. Моделирование переноса вещества в пористой среде с учетом двойной релаксации // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы моделирования технических и технологических процессов, основанных на высокие технологии», Бухара, 26-28 ноябрь 2013, 5-6 с.

11. Akilov J., Djiyanov T.O. Anomalous solute transport in a heterogeneous cylindrical medium // International conference ‘Applied and geometrical analysis’, Samarkand, (September 22-25), 2014. P. 3-4.

12. Джиянов Т.О. Аномальный перенос вещества в неоднородный пористой среде // "Математика ва уни замонавий педагогик технологиялар ёрдамида ўқитиш муаммолари" номли Республика илмий-амалий конференцияси материаллари, Навоий, 25 апрель 2015, 161-163 с.

13. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О. Моделирование аномального переноса вещества в пористой среде дифференциальными уравнениями с дробной производной // «Актуальные проблемы математики» Материалы республиканской научно-практической конференции, I “Ҳаёт” нашриёти Андижон, 17 май 2016, 236-239 с.

14. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О. Численное решение дифференциального уравнения с дробными производными, описывающего аномальный перенос вещества в неоднородной пористой среде // «Актуальные вопросы анализа» Материалы научной конференции, Карши, 22-23 апреля 2016 года.

15. Хужаёров Б.Х., Джиянов Т.О. Перенос вещества с неоднородной неравновесной адсорбцией в неоднородный пористой среде // Материалы международной научно-технической конференции «Прочность конструкций, сейсמודинамика задании и сооружений», Тошкент, 12-14 сентябрь 2016.

16. Джиянов Т., Алловиддинов Н., Хайдаров А. Задача аномального неизотермического переноса вещества в неоднородной пористой среде // Материалы международной научно-технической конференции «Современное состояния и перспективы развития строительной механики на основе компьютерных технологий и моделирования» (посвященной 80-летию академика АН РУз Т.Ш. Ширинкулова), Самарканд, 16-17 июнь 2017.

17. Khuzhayorov B., Dzhiyanov T. Modelling of solute transport with nonlinear nonequilibrium adsorption in non-homogeneous porous media // The VI Congress of the Turkic World Mathematical Society, Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 2–5 October 2017.