

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

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

ПАЛВАНОВ БОЗОРБОЙ ЮСУПОВИЧ

**КЎП ТАРКИБЛИ АРАЛАШМАЛАРНИ ТОЗАЛАШ ЖАРАЁНЛАРИНИ
ТАДҚИҚ ЭТИШ УЧУН ТАКОМИЛЛАШТИРИЛГАН МОДЕЛ ВА
АЛГОРИТМЛАР**

05.01.07– Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

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

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

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

ПАЛВАНОВ БОЗОРБОЙ ЮСУПОВИЧ

**КЎП ТАРКИБЛИ АРАЛАШМАЛАРНИ ТОЗАЛАШ ЖАРАЁНЛАРИНИ
ТАДҚИҚ ЭТИШ УЧУН ТАКОМИЛЛАШТИРИЛГАН МОДЕЛ ВА
АЛГОРИТМЛАР**

05.01.07– Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

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

Техника фаилари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.2.PhD/Г269 рақам билан рўйхатга олинган.

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

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Равшанов Нормакмад,
техника фаилари доктори

Расмий оппонентлар:

Кабулов Анвар Василевич
техника фаилари доктори, профессор

Маликов Зафар Маматкулович
техника фаилари доктори

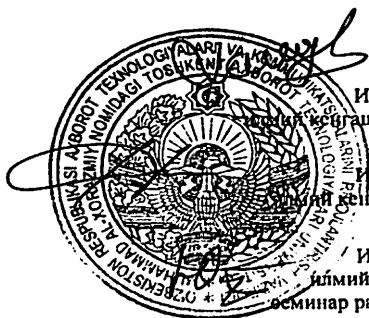
Этакчи ташкилот:

Тошкент темир йўл муҳандислари институти

Диссертациянинг химояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.07.01 Илмий кенгашнинг 2018 й. «14» Феврал да соат 12⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертацияси билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (250 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация автореферати 2018 йил «2» Феврал куни тарқатилди.
(2018 йил «10» Январ даги 2 рақамли реестр баённомаси)



Р.Х.Ҳамдамов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д. профессор

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

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

КИРИШ (фалсафа доктори PhD диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда қишлоқ хўжалик маҳсулотларини етиштириш, уларни тозалаш ва қайта ишлаш технологик жараёнларини автоматлаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. «БМТнинг Озиқ-овқат ва қишлоқ хўжалиги ташкилоти (FAO)нинг маълумотига кўра, 2015 йилда жаҳонда 2,5 млрд. тонна донли маҳсулотлар етиштирилган ва бу кўрсаткич хар йили янги инновацион технологияларни қўллаш ҳисобига ортиб бормоқда»¹. Жаҳоннинг бир қатор мамлакатларида, жумладан АҚШ, Хитой, Германия, Япония, Жанубий Корея, Буюк Британия, Россия ва Ўзбекистонда қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини етиштириш, уларни дастлабки қайта ишлашни компьютерлаштириш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда.

Жаҳонда хомашёларни чуқур қайта ишлаш, янги тозаловчи агрегат ва машиналарни ишлаб чиқариш ҳамда уларнинг унумдорлигини оширишда ахборот-коммуникация технологияларини қўллаш орқали технологик жараёнларни такомиллаштиришга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан кўп таркибли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларини математик моделлар орқали динамик ҳолатда бошқариш, сонли ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш, технологик жараёнда ички ва ташқи таъсирларни инобатга олган ҳолда қийин ажралувчи аралашмаларни тозалашнинг янги технологик усул ва воситаларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамизда инновацион технологияларни қўллаш орқали хомашёларни чуқур қайта ишлаш, маҳсулотларнинг сифатини ошириш ва тозалаш технологик жараёнларини автоматик бошқаришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ушбу йўналишда жумладан, қишлоқ хўжалик маҳсулотларни дастлабки тозалаш, саралаш, сепарациялаш ва филтрлаш технологик жараёнларини математик моделлаштириш ва сонли тадқиқ этиш йўналишида илмий изланишлар олиб борилди ҳамда муайян натижаларга эришилди. Бу борада янги агрегатлар ишлаб чиқиш, мавжудларини такомиллаштириш, уларнинг унумдорлигини ошириш ҳамда соҳага ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш муҳим аҳамият тақозо этмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... мева-сабзавот ва гўшт-сут маҳсулотларини қайта ишлаш, рангли ва қимматбаҳо металлларни чуқур қайта ишлаш, кимёвий хом ашёларни чуқур қайта ишлаш, ... иқтисодиёт, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш»² вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан кўп таркибли аралашмаларни тозалаш ва филтрлаш технологик жараёнларини математик моделлаштириш ва сонли алгоритм-ларини ишлаб чиқариш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

¹ <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdbr/ru/>

² http://strategy.gov.uz/uz/pages/development_economy

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2016 йил 5 мартдаги ПҚ-2505 сон «2016-2020 йилларда озиқ-овқат маҳсулотлари хом ашё базасини, мева-сабзавот ва гўшт-сут маҳсулотларини чуқур қайта ишлашни янада ривожлантириш, ишлаб чиқариш ва экспорт ҳажмларини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2013 йил 27 июндаги ПҚ-1989-сон «Ўзбекистон Республикаси Миллий ахборот-коммуникация тизимини янада ривожлантириш тўғрисида»ги Қарорлари, Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 1 февралдаги 24-сон «Жойларда компьютерлаштириш ва ахборот коммуникация технологияларини бундан кейинги ривожлантиришга шароитлар яратиш учун чора-тадбирлар тўғрисида»ги қарори 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 мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV - «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сўнгги йилларда аралашмаларни тозалаш ўзгарувчан технологик жараёнлари устида тадқиқотлар олиб борилган ҳамда етарли даражада назарий ва амалий натижалар олинган. Жумладан, хорижий олимлардан Jing Wang, J.Zhang, Yu.Zhihui, B.Remy, J.W.Dufty, Duygu Kocaefe, Carlos Andre, Gitisa Vitaly, Andrii Safonyk, В.В.Белобородов, И.И.Блехман, А.А.Ключкин, П.М.Зайко, Г.Ю.Джанилидзе, Ю.М.Шехтман, И.И.Жужиков, И.М.Федоткин, Р.И.Нигматулин, Ю.П.Волков, В.П.Ольшанский, Ф.М.Харченко, В.П.Шацкий, Ф.Г.Ахмадиев, М.Г.Токмачев, Н.А.Тихинов, В.А.Семенов, В.В.Гортинский, А.С.Федеренко, Ю.Л.Сколубович, С.В.Натарев ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Ўзбекистонда Ф.Б.Абуталиев, Н.Р.Юсупбеков, Н.У.Ризаев, Д.Ф.Файзуллаев, Х.Х.Атаулаев, О.У.Умаров, М.Я.Рахимов, О.Ким, Н.Равшанов, И.К.Хужаев ва З.М.Маликовлар аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларини математик моделлаштириш ва сонли ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқишга катта ҳисса қўшганлар.

Ҳозирги кунда аралашманинг физик-механик хусусиятларини инобатга олган ҳолда тозаловчи агрегатлар параметрларининг ўзгариш оралиғини башоратлаш, таҳлил этиш ва бошқариш имконини берувчи математик моделларни яратиш муаммолари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент ахборот технологиялари университети хузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-

инновацион марказининг илмий тадқиқот ишлари режасининг А-5-001 «Мураккаб тизимларда иссиқлик ва масса кўчиши масаласини ечиш учун тақсимланган ҳисоблаш алгоритмлари ва вебга йўналтирилган дастурий воситалар яратиш» (2015-2017); ВА-ОТ-А3-21 «Статистик марказдан қочма классификаторларини яратиш ва ташкил этиш» (2017-2018) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади кўп таркибли аралашмаларнинг физик-механик хусусиятларини инобатга олган ҳолда сепарациялаш ва филтрлаш ўзгарувчан технологик жараёнларини бошқариш ва башоратлаш учун тақомиллаштирилган математик моделлар ва сонли алгоритмларни ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

марказдан қочма куч таъсирида сочилувчан аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларининг математик моделини тақомиллаштириш;

вертикал ва горизонтал йўналишдаги ҳаракатлар ҳамда бошқа омилларни инобатга олган ҳолда сочилувчан аралашмаларни сепарациялаш жараёнларининг математик ва сонли моделларини тақомиллаштириш;

суёқ ионли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларининг тескари масаласини ечишнинг тақомиллаштирилган усулини ишлаб чиқиш;

тозаловчи агрегатлар параметрларининг ўзгариш ораликларини башоратлаш, таҳлил этиш ва сонли тажрибалар ўтказиш учун самарали қўлланиладиган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситаларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида сочилувчан аралашмаларни ва суёқ ионли эритмаларни филтрлаш, сепарациялаш ва ажратиш мураккаб ўзгарувчан технологик жараёнлари қаралган.

Тадқиқотнинг предмети аралашмаларни филтрлаш ва сепарациялаш технологик жараёнларини башоратлаш, тузилишини таҳлил этиш ва тадқиқ этиш учун математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий мажмуалардан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида математик моделлаштириш, гидродинамикада сонли усуллар, назарий механика, суёқликлар ва газлар механикаси, ўлчов ва ўхшашлик назарияси, алгоритмлаш ва объектга йўналтирилган дастурлаш усуллари ҳамда сонли итерация усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

айланма барабанли сепараторларда сочилувчан аралашмаларни тозалаш технологик жараённинг зарра диаметри, шакл коэффиенти ва ҳаво қаршилигини инобатга олиш орқали математик модели ва сонли ҳисоблаш алгоритми тақомиллаштирилган;

текис юзали виброғалвирда зарралар вертикал ва горизонтал ҳаракати тезликлари ҳисобга олган ҳолда аралашмаларда концентрация ўзгаришини аниқлаш учун гидродинамика қонуни асосида икки ўлчовли математик модель ҳамда сонли ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

ион алмашинув филтрлаш технологик жараёнидаги тажрибавий қиймат бародиффузия коэффициентини лаборатория шароитисиз аниқлаш усули Лаплас ва Фурье алмаштиришлари асосида такомиллаштирилган;

ион алмашинув филтрлаш жараёнининг тўртта ҳолатлари учун чўкма қалинлигининг вақт бўйича ўзгаришини киритиш асосида математик моделлар такомиллаштирилган ва векторли-айирмали усули ёрдамида ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

кўп таркибли аралашмаларнинг физик-механик хусусиятларини инobatта олган ҳолда суюқ ионли эритмаларни ионалмашинув усулда тозалаш технологик жараёнининг тескари масаласини ечиш усули Чебишев кўпхадларини киритиш орқали такомиллаштирилган;

кўп таркибли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнининг ишлаб чиқилган математик модел ва ҳисоблаш алгоритмлари асосида дастурий восита яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

аралашмаларни филтрлаш ва сепарациялаш ўзгарувчан технологик жараёнини башоратлаш ва технологик тузилишини таҳлил этиш учун математик модель ва ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш усуллари яратилган;

математик модель, ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситалар ёрдамида хомашё ва саноат маҳсулотларини қайта ишлаш технологияларида қўлланиладиган тозаловчи агрегатлар асосий параметрларининг янги мезонлари аниқланган;

аралашмаларни филтрлаш, сепарациялаш ва саралаш усулларини аниқлаш ҳамда юқорида келтирилган жараёнлар учун ускуна ва машиналарни такомиллаштириш бўйича таклифлар ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги аралашманинг ҳаракат ва концентрацияси ўзгариши тенгламаси ҳамда унинг чегаравий шартлари масса, миқдор ва импульс сақланиш қонунлари асосида қаттиқ шакллантирилганлиги, сонли ҳисоблаш натижалари лаборатория тажрибаларидан олинган маълумотлар билан солиштирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти аралашмаларни тозалаш ўзгарувчан технологик жараёнининг қўшимча омилларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган математик моделлар ва сонли алгоритмлар тозаловчи агрегатлардан унумли фойдаланиш ва айрим параметрларини такомиллаштириш жараёнида назарий тажрибаларни етарли аниқликда ўтказиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кўп таркибли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнини башоратлаш, таҳлил этиш ҳамда яратилган математик ва дастурий таъминот қишлоқ-хўжалик маҳсулотларини тозалаш ва қайта ишлаш жараёнларида тозаловчи агрегат ва машиналарнинг унумдорлигини ошириш билан шарҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сочилувчан ва суюқ ионли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларини тадқиқ этиш

мақсадида яратилган математик моделлар, алгоритмлар ва дастурий мажмуалар асосида:

гидродинамика қонунлари асосида ишлаб чиқилган математик таъминоти, ҳисоблаш алгоритми, дастурий воситаси “Урганч махсус санитар транс” ишлаб-чиқариш давлат корхонасида маиший чиқиндиларни тозалаш ва саралаш жараёнига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2017 йил 28 ноябрдаги 33-8/8049-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида яратилган дастурий воситани қўллаш орқали тозаловчи агрегат ва машиналар унумдорлигини 5-6%га ошириш, уларга кетадиган сарф-харажатларни 8-9%га камайтириш имконини берган;

Фурье ва Лаплас алмаштириш усуллари ёрдамида ишлаб чиқилган математик таъминот ва яратилган дастурий восита Питнак шаҳридаги “Улуғбек обод” машина-трактор паркида техник суюқликларни тозалаш жараёнига жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2017 йил 28 ноябрдаги 33-8/8049-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида математик ва дастурий таъминотни қўллаш орқали тозаловчи агрегат ва машиналар унумдорлигини 7,5%гача ошириш ҳамда машиналарга кетадиган сарф-харажатларни 7-8%га камайтириш имконини берган;

зарра қаршилиқ коэффициентини киритиш орқали яратилган математик ва дастурий таъминот Самарқанд вилоятидаги “Лаззатли ДОН” хусусий ишлаб чиқариш корхонасида бугдой донини тозалаш жараёнига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2017 йил 28 ноябрдаги 33-8/8049-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида яратилган дастурий воситани қўллаш орқали агрегат параметрларини тўғри танлаш ҳисобига сепаратор унумдорлигини 3-4%га ошириш имконини берган;

фильтр юзасидаги чўкма баландлиги вақт бўйича ўзгаришини киритиш орқали суюқ ионли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнининг математик ва дастурий таъминоти “Зарафшон” магистрал тизимлари бошқармасида ичимлик сувини филтрлаш жараёнига жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2017 йил 28 ноябрдаги 33-8/8049-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида математик ва дастурий таъминотни қўллаш орқали тозаловчи агрегатларнинг параметрларини тўғри танлаш ҳисобига уларнинг унумдорлигини 8-9%га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 5 та халқаро ва 12 та республика илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тақиқот мавзуси бўйича жами 39 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та

мақола, 3 таси хорижий, 7 таси республика журналларида чоп этилган ҳамда 3 та ЭХМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 114-бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «Сочилувчан, суюқ ва ионли аралашмаларни сепарациялаш ва филтрлаш жараёнларини моделлаштириш бўйича адабиётлар таҳлили» деб номланган биринчи боби учта параграфдан иборат. Унда диссертация иши бўйича тадқиқотнинг қисқа аналитик таҳлили, тозаловчи агрегатларнинг умумий тавсифлари ҳамда аралашмаларни филтрлаш ва сепарациялаш технологик жараёнларининг мавжуд моделлари таҳлил этилган.

Бурчак β остидаги оғма виброғалвирда зарра ҳаракати тенгламаси биринчи бўлиб И.И.Блехман томонидан қурилган ва қуйидагича кўринишга эга:

$$m(dV_x / dt) = mA_1\omega_1^2 \cos \beta \sin \omega_1 t - mg \sin \alpha + F,$$

$$m(dV_y / dt) = mA_1\omega_1^2 \sin \beta \sin \omega_1 t - mg \cos \alpha + N.$$

Бу ерда V_x, V_y – зарранинг горизонтал ва вертикал тезликлари; m – зарра массаси; A_1, ω_1 – элакдон тебранма ҳаракатининг амплитудаси ва частотаси; β – элакдон текислигига нисбатан тебраниш бурчаги (тебранма бурчак); α – элакнинг горизонтга нисбатан оғмалик бурчаги.

Кейинчалик ушбу математик модель силжувчи координата ўқлари проекциясида Р.Ф.Нагаев томонидан янада такомиллаштирилган ва у қуйидагича кўринишга эга:

$$\frac{dV_x}{dt} = A_1\omega_1^2 \cos \beta \cos(\omega_1 t + \eta + \pi) - f[-A_1\omega_1^2 \sin \beta \cos(\omega_1 t + \varphi + \pi) + g] \cos \sigma,$$

$$\frac{dV_y}{dt} = A_1\omega_1^2 \cos \beta \cos(\omega_1 t + \eta + \pi) - f[-A_1\omega_1^2 \sin \beta \cos(\omega_1 t + \varphi + \pi) + g] \sin \sigma,$$

$$\cos \sigma = \frac{V_x}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}; \quad \sin \sigma = \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}.$$

Бу ерда η, φ - горизонтал ва вертикал фазалар бурчаклари; f - ишқаланиш коэффициенти.

Ушбу моделларда зарранинг бошқа зарралар билан ўзаро таъсир кучлари, ҳаво қаршилиги кучи ва туташ муҳитда содир бўладиган ҳажмий кучлар инобатга олинмаган. Модель $20c^{-1} \leq \omega_1 \leq 30c^{-1}$ шартда ўринли бўлиб, шу шартдаги қийматларда моделнинг аниқлиги 20-30% ни ташкил этади.

Л.Н.Тищенко ва В.П.Ольшанскийларнинг ишларида эса горизонтга nisbatan α бурчакли оғма виброғалвирда зарралар ҳаракати қаралган. Модел икки ўлчовли Навье-Стокс тенгламалари асосида инерцион ҳадлар билан биргаликда ифодаланган ва у қуйидаги кўринишга эга:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial y} = g \sin \alpha - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial x} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \right), \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial y} = g \cos \alpha - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial y} - \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right). \end{cases}$$

Бу ерда u, w - зарранинг горизонтал ва вертикал тезликлари; ρ, μ - аралашманинг ўртача зичлиги ва динамик қовушқоқлик коэффициенти; P - аралашмадаги босими; t - вақт.

Тақлиф этилган модель $A\omega < g \cos \alpha$ ва $h < 10$ мм шартларда ўринли.

Диссертациянинг «Сочилувчан аралашмаларни тозалаш жараёнларини математик моделлаштириш» деб номланган иккинчи бобида сочилувчан аралашмаларни тозалаш ўзгарувчан технологик жараёнларининг такомиллаштирилган математик модели, сонли ечиш усули ва олинган натижалар таҳлили келтирилган.

Сепарциялаш масалаларида цилиндрик шаклдаги барабанли сепараторларда қийин ажралувчи сочилувчан аралашмаларни тозалаш технологик жараённинг математик модели такомиллаштирилган. Бунда, механика қонунларидаги

$$\vec{F}_n + \vec{F}_N + \vec{F}_G + \vec{F}_s + \vec{F}_p + \vec{F}_k = 0 \quad (1)$$

кучлар балансидан фойдаланилди.

Бу ерда F_n - марказдан қочма куч; F_N - нормал реакция кучи; F_G - оғирлик кучи; F_s - Охуз тизимида зарра ҳаракатига қарши таъсир этадиган куч; F_p - заррага таъсир этадиган кўчиш кучи; F_k - Кориолис кучи.

Кучлар баланси (1) тенгламадан чизиқсиз дифференциал тенгламалар системаси кўринишидаги зарра ҳаракатини ифодалайдиган қуйидаги математик моделга эга бўламиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dU}{dt} &= R\psi\omega^2 \sin \omega t - f_1 [R(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)^2 + 2U(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)] \frac{U}{\sqrt{U^2 + W^2}}; \\ \frac{dW}{dt} &= g - f_1 [R(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)^2 + 2W(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)] \frac{U}{\sqrt{U^2 + W^2}}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ва зарранинг тинчликдаги бошланғич шarti

$$-t = 0 \text{ да } U(0) = 0, W(0) = 0. \quad (3)$$

Бу ерда, U , W – зарранинг горизонтал ва вертикал харакати тезликлари; Ω – цилиндрнинг айланиш частотаси; ω – цилиндрнинг пульсация тебранма частотаси; ψ – цилиндрнинг пульсацияси амплитудаси; f – ишқаланиш коэффициенти.

Ушбу моделнинг афзаллик тарафи шундаки, цилиндр ичидаги зарралар харакатининг қаршилик коэффициенти, ҳаво зичлиги, зарра массаси, ҳаво қаршилиги бўйича нормал юзаси ва шакл коэффициенти инобатга олинган ҳамда

$$f_1 = f + 0,5 \cdot d \rho_v C_D S / m$$

формула орқали аниқланади.

Бу ерда d – зарра диаметри; m – зарра массаси; ρ_v – ҳаво зичлиги; C_D – зарра шакл коэффициенти; S – зарранинг харакат йўналишига нормал бўлган қисми юзаси. Қўйилган (2) чизиксиз масалани (3) бошланғич шартларда ечиш учун сонли алгоритм ишлаб чиқилган ва сонли ҳисоблаш тажрибалари ўтказилган.

Текис юзали оғма виброғалвирда аралашманинг концентрацияси ўзгариши ва зарра харакати тезлигини аниқлаш математик модели куйидаги дифференциал тенгламалар системаси орқали ифодаланади:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(b_c \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(b_c \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - u \frac{\partial \theta}{\partial x} - w \frac{\partial \theta}{\partial z}. \quad (4)$$

Ушбу (4) тенгламанинг бошланғич ва чегаравий шартлари куйидагича ёзилди:

$$\left. \begin{aligned} \theta(x, z, t) \Big|_{t=0} &= \theta_0(x, z); \\ \frac{\partial}{\partial x} \theta(x, z, t) \Big|_{x=0} &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial x} \theta(x, z, t) \Big|_{x=L_x} = 0; \\ \frac{\partial}{\partial z} \theta(x, z, t) \Big|_{z=0} &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial z} \theta(x, z, t) \Big|_{z=L_z} = -\frac{k_0}{b_c} \theta A_1 \omega_1^2 \cos \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Бу ерда θ – аралашманинг концентрацияси; k_0 – зарраларнинг ўтувчанлик коэффициенти; φ – элакдоннинг оғмалик бурчаги; b_c – сепарациялаш коэффициенти; A_1, ω_1 – элакдоннинг горизонтал бўйлаб тебраниш амплитудаси ва частотаси; u, w – зарранинг горизонтал ва вертикал тезликлари.

Горизонтал тезлик u ва вертикал тезлик w ни аниқлаш учун эса куйидаги теғламалар тизимидан фойдаланамиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= g \sin \gamma - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial x} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \right) + A_1 \omega_1^2 \sin \omega_1 t, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= g \cos \gamma - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right) + A_2 \omega_2^2 \sin \omega_2 t, \end{aligned} \right\} (6)$$

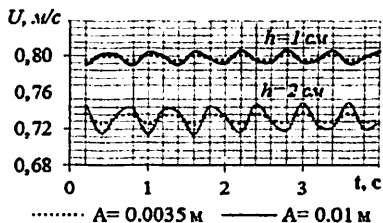
$$u = u(x, z, t), \quad w = w(x, z, t)$$

ҳамда бошланғич ва ҳсгаравий шартларга мурожаат этамиз:

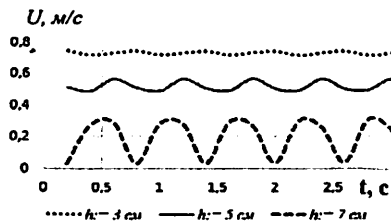
$$\left. \begin{aligned} u(x, z, 0) &= u_0(x, z); \quad w(x, z, 0) = w_0(x, z); \quad 0 \leq x \leq L_x; \quad 0 \leq z \leq L_z; \\ \partial u(0, z, t) / \partial x &= \partial v(0, z, t) / \partial x = 0; \quad \partial u(L_x, z, t) / \partial x = \partial v(L_x, z, t) / \partial x = 0; \\ \partial u(x, 0, t) / \partial z &= \partial v(x, 0, t) / \partial z = 0; \\ \partial u(x, L_z, t) / \partial z &= 0; \quad \partial v(x, L_z, t) / \partial z = -k_0 w \cos \varphi. \end{aligned} \right\} (7)$$

Бу ерда, P – аралашмадаги босим; ρ, μ – сочилувчан аралашманинг зичлиги ва ковушқоклиги; A_2, ω_2 – элакдоннинг вертикал тебраниш амплитудаси ва частотаси.

Кўйилган (6)-(7) масалалар такомиллаштирилган ўзгарувчан йўналишли усул билан ечилган ва сепараторнинг турли параметрлари ва аралашманинг турли физик-механик кўрсаткичлари қийматларида ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди ҳамда натижалар график (1, 2-расм)лар кўринишда тақдим этилди.



1-расм. Зарра ҳаракати тезликларининг вақт бўйича ўзгариши.



2-расм. Турли қатламларда зарра ҳаракати тезлигининг вақт бўйича ўзгариши.

Диссертациянинг «Суюқликларни филтрлаш ўзгарувчан мураккаб технологик жараёнининг такомиллаштирилган математик модели ва сонли алгоритми» деб номланган учинчи бобида суюқ ионли аралашмаларни тозалаш жараёнида бародиффузия коэффицентини аналитик усулда аниқлаш, ҳосил бўладиган чўкмани инобатга олган ҳолда суюқ аралашмаларни тозалаш технологик жараёнининг такомиллаштирилган математик модели ва мураккаб таркибли аралашмаларни тозалаш жараёнининг тесқари масаласини ечиш усули ҳамда уларнинг сонли алгоритмлари келтирилган.

Дастлаб бародиффузия коэффициенти D_b ни назарий аниқлаш усули келтирилган. Бунинг учун Генри чизикли изотермик сорбциясидан бир хил модда учун фойдаланиб, динамик сорбция тенгламасини куйидагича ёзиш мумкин:

$$m \frac{\partial n}{\partial t} + W \frac{\partial n}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{D_b}{P} \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \beta(n - \Gamma N), \quad (9)$$

$$m \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial P}{\partial x} \right), \quad (10)$$

бошлангич ва чегаравий шартлари эса:

$$\left. \begin{aligned} t=0 \text{ да } n &= n_{01}, N = N_0, P = f(x), \\ x=0 \text{ да } n &= n_0, k(\partial P / \partial x) + \gamma P = P_0, \\ x=H \text{ да } n &= n_{02}, \partial P / \partial x = 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Бу ерда n, N – аралашмадаги ва сорбентдаги аралашма концентрацияси; W – суюкликнинг ҳаракатланиш тезлиги; D, D_b – диффузия ва бародиффузия коэффициентлари; P – ионалмашинув колоннаси ичидаги босим; β – ионлар алмашинишининг самарали коэффициентлари.

Қўйилган (8)-(10) масала (11) бошлангич ва чегаравий шартлари билан Лаплас ва Фурье алмаштириш усуллари ёрдамида, яъни операцион ҳисоб ёрдамида ечилди. Натижада тажрибавий қиймат бародиффузия коэффициентини аниқлаш функционали келтириб чиқарилган.

Ионалмашинув колонна ичидаги босим ўзгариши

$$P = \frac{He^{bt}}{(-b)^B} e^{bx/\sqrt{a}} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} + b\sqrt{t} \right) \right] - \frac{H}{(-b)^B} (1 - 4b^2t) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right] + \frac{Hb}{(-b)^B \sqrt{a}} x \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right] + \frac{2Hb\sqrt{t}}{(-b)^B \sqrt{\pi}} e^{-x^2/4at};$$

формуласи орқали ҳисобланади. У ҳолда бародиффузия коэффициентини аниқлаш формуласи куйидагича кўринишни олади:

$$D_b = (n(x_k, t) - q_1(x_k, t)) / q_2(x_k, t);$$

бу ерда x_k – қаралаётган соҳа ичидаги ихтиёрый нуқта;

$$q_1(x, t) = e^{(k_1+k_2)t + (k_2+k_3)x} \left\{ \frac{Dn_0}{m} e^{\frac{D}{m}(k_2+k_3)x} \left[e^{-(k_2+k_3)x} - 0,5e^{-\frac{mx}{D}(k_2+k_3)} E_1 + e^{\frac{mx}{D}(k_2+k_3)} E_1 \right] + \frac{n_{01}x}{2\sqrt{\pi t^3 D / m}} e^{-(k_1+k_2)t} e^{\frac{Dx^2}{4mt}} \right\}, \quad q_2(x, t) = \frac{1}{D} \int_0^t \Phi_0(\tau) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{C_0(t-\tau)}} \right) d\tau,$$

$$E_1 = \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{tD/m}} - \sqrt{tD/m}(k_2 + k_3) \right).$$

$$C_0 = D/m, \quad k_1 = \beta/m, \quad k_2 = W/D - (2(1+m)\beta/(mW)), \\ k_3 = -0,5W/D + 2\beta(1+m)/(mW), \quad k_4 = (1+m)\beta/m^2 + \beta/m.$$

Ионли эритмаларни филтрлаш жараёнида филтрнинг ишчи ҳолатини баҳолаш муҳим масалалардан бири саналади. Шунинг учун филтрлаш масаласининг 4 та ҳолати учун математик моделлар келтирилган. Биринчи ҳолатда масала векторли чекли-айирмали усулига кўра ўлчовсиз кўринишда куйидагича:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{\partial u}{\partial t} + a_1 W \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial N_u}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial N_u}{\partial t} = a_3 \left(u - \frac{K_1 N_u}{K_2 - b N_u} \right); \\ m_1 \frac{\partial v}{\partial t} + a_1 W \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial N_v}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial N_v}{\partial t} = a_3 \left(v - \frac{K_1 N_v}{K_2 - b N_v} \right); \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} u = v = 0, \quad N_u = N_v = 1, \quad (t=0); \\ u = v = 0, \quad (x=0); \\ u = v = n^0, \quad (x=1), \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$a_1 = \frac{W_0 \alpha_r}{H_0}, \quad a_2 = \frac{D_r \alpha_r}{H_0^2}, \quad a_3 = \beta \alpha_r, \quad K_1 = \frac{1}{N_0}, \quad K_2 = \frac{a}{N_0}, \quad n^0 = \frac{n_0}{N_0}, \quad \alpha_r = \frac{\rho H K_0}{\mu H_0 W_0}.$$

Иккинчи ҳолатда

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW}{dt} = B - \frac{W}{(1 - C_0 V)^2}; \quad \frac{d\Delta\theta}{dt} = \frac{\theta_1 \alpha_r}{H_0 (1 - \theta_1)} W; \quad \frac{dV}{dt} = a_4 W; \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$W = 0, \quad \Delta\theta = 0, \quad V = 0, \quad (t=0),$$

$$B = \Delta P_0 K_0 / (\mu H_0 W_0), \quad a_4 = W_0 \alpha_r / F^{1/2}.$$

Учинчи ҳолатда

$$\left. \begin{aligned} P(t) = \frac{1}{B(1-\delta)^2} - \frac{\rho H W}{\Delta P_0 \alpha_r} \frac{d\theta_3}{dt}; \quad \frac{d\theta_3}{dt} = q(t); \\ \frac{d\Delta\theta}{dt} = a_1 \frac{1-\theta_3}{1-\theta_1}; \quad \frac{d\delta}{dt} = a_3 (\Delta\theta - \gamma\delta); \quad V = a_0 t; \\ t=0 \text{ да, } \theta_3 = 0, \Delta\theta = 0, \delta = 0, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$q(t) = \frac{\alpha_r C_0}{W(2-\delta-1/m_1)} \left\{ \lambda (\Delta\theta - \gamma\delta) \left[\gamma (\Delta\theta - m_0 - m_1) - \frac{C_1 e^{-a_3 t}}{2-\delta-1/m_1} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{(\Delta\theta + m_0 - m_1)(\Delta\theta - \gamma\delta)}{2-\delta-1/m_1} \right] + C_1 \gamma e^{-a_3 t} - W \lambda (1-\theta_3) (2\Delta\theta - \gamma\delta - a_7) / C_0 \right\},$$

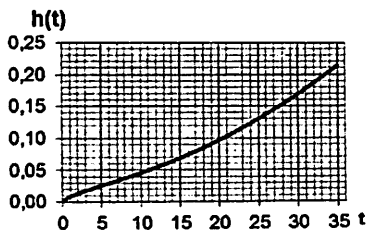
$$C_0 = H_0 \lambda (1 - \theta_1), \quad C_1 = \theta_1 (1 - m_0), \quad a_5 = \lambda \alpha_r, \quad a_6 = a_5 \gamma, \quad a_7 = m_1 - m_0.$$

Тўртинчи ҳолатда, яъни фильтр қатламининг юзасида чўкма ҳосил бўлиши инобатга олинган ҳол учун масала куйидаги кўринишга эга:

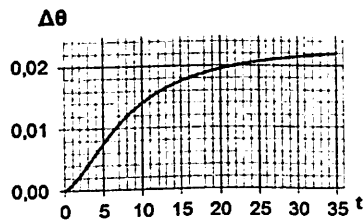
$$\left. \begin{aligned} \frac{dW}{d\tau} &= \frac{\alpha_r}{\rho(H+h)} \left[\rho g(H+h) / W_x - \mu W h (1 - \Delta\theta) / (k_1 + 1 / k_2) \right]; \\ \frac{dh}{d\tau} &= \frac{\alpha_r \theta_1}{H_x (1 - \theta_1) (\Delta\theta - \theta_1)} \left[A \alpha_r t (1 - \theta_1) + F W W_x \right]; \\ \frac{d\Delta\theta}{dt} &= \frac{\theta_1 \alpha_r}{H_0 (1 - \theta_1)} W; \quad \frac{dV}{d\tau} = \frac{\alpha_r F W W_x}{V_x}; \\ W &= W_0, \quad h = 0, \quad V = 0, \quad \Delta\theta = 0, \quad (t = 0). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Келтирилган (12)-(16) тенгламалар системасидаги параметрлар куйидаги маънога эга: $\Delta\theta$ – фильтр юзасига чўкадиган чўкманинг концентрацияси; θ_3 – филтрдан ўтган зарралар концентрацияси; V – филтрат ҳажми; δ – говак муҳитга чўккан зарралар концентрацияси; ρ ва μ – филтратнинг зичлиги ва ковшоклиги; θ_1 – аралашманинг дастлабки концентрацияси; m_0 – чўкма говаклиги; F – фильтр юзаси; C_0^* – тикилувчанлик коэффициенти.

Кўйилган масаланинг яратилган математик таъминоти асосида ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди. Ҳисоблаш тажрибаларидан олинган натижалар графикларда келтирилган (3 ва 4-расмлар).



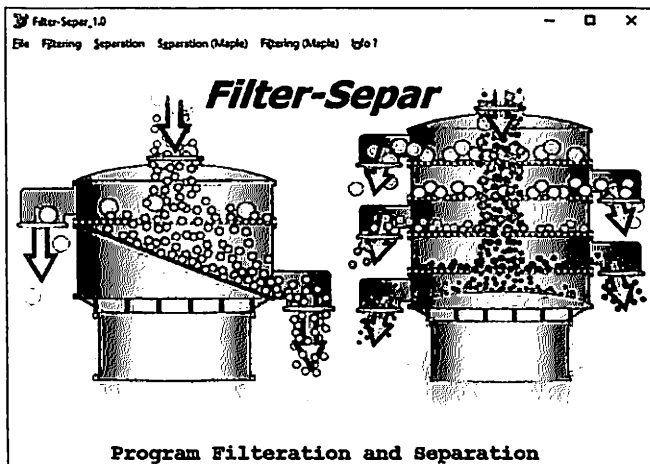
3-расм. Чўкма баландлигининг вақт (соат) бўйича ўзгариши.



4-расм. Фильтр юзасига чўкган зарралар концентрацияси.

Диссертациянинг «Қийин ажралувчи аралашмаларни сепарациялаш ва филтрлаш жараёнларини ЭҲМда ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишни автоматлаштириш учун дастурий воситалар» деб номланган тўртинчи бобда сепарациялаш ва филтрлаш жараёнларини тадқиқ этиш учун яратилган дастурий воситаларнинг тузилиши ва функционал имкониятлари тўғрисида баён қилинади.

Филтрлаш ва сепарациялаш масаласини ечишни автоматлаштириш мақсадида яратилган дастурий воситанинг асосий мулоқот ойнаси келтирилган (5-расм) ва «Filter-Separ» деб номланиб, унинг структураси ва функционал имконияти ҳақида маълумотлар берилган.



5-расм. «Filter-Separ» дастурининг бош ойнаси.

Дастлаб «Filter-Separ» дастури ойнасининг тузилиши функционал имкониятлари тақдим этилган ва у суюқ ионли аралашмалар ҳамда сочилувчан аралашмаларни тозалаш технологик жараёни устида сонли ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш имкониятини беради.

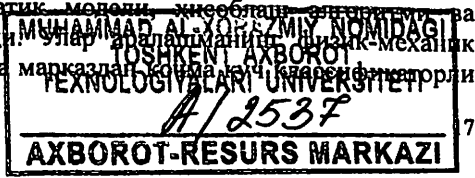
Олинган сонли ҳисоблаш натижаларини жадвал ва график шаклида ифодалаш ҳамда ҳисобот тарзда тайёрлаш учун сонли ва графикли маълумотларни MS Excel дастурига экспорт қилиш имконияти мавжуд.

Бундан ташқари марказдан қочма куч асосида ҳамда зарралар ҳаракати кишиш кучи таъсирида бўлган аралашмаларни тозалаш технологик жараёнининг дастурий модули ва уни ишлатиш бўйича тавсиялар келтирилган. Яна сочилувчан аралашмаларни текис юзали виброгалвирда зарралар ҳаракати тезлиги ва аралашманинг концентрацияси ўзгаришини ҳисоблаш модули дастури келтирилган. Дастур интерфейси рус ва инглиз тилларида келтирилган. Булардан ташқари суюқ ва ионли аралашмаларни филтрлаш технологик жараёни устида сонли ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш имконитини берадиган дастурнинг блок модули ва унинг функционал имконияти келтирилган.

ХУЛОСА

“Кўп таркибли аралашмаларни тозалаш жараёнларини тадқиқ этиш учун такомиллаштирилган модел ва алгоритмлар” мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида куйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Марказдан қочма куч таъсирида сочилувчан аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларининг математик модели ҳисоблаш асосида дастурий таъминоти ишлаб чиқилди. Улар аралашманинг механик хусусиятларини инобатга олган ҳолда марказдан қочма куч таъсири



сепаратор параметрларининг ўзгариш орилигини аниқлаш ва башорат килишга хизмат қилади.

2. Зарралар ҳаракати қисиш кучи таъсирида бўлган аралашмаларни виброэлақда тозалаш жараёнлари учун компьютерли модели ишлаб чиқилди. Яратилган компьютер модели қийин ажралувчи аралашмаларни тозалаш жараёнларида тозаловчи агрегат параметрларини тўғри танлаш имконини беради.

3. Текис юзали оғма виброғалвирларда аралашмаларни тозалаш жараёнларининг икки ўлчовли математик модели ва унинг ҳисоблаш алгоритми ҳамда дастурий воситаси ишлаб чиқилди. Яратилган дастурий восита текис юзали виброғалвирларда аралашмаларнинг элақдан ўтиш тезлиги ва маҳсулот концентрацияси ўзгаришини аниқлаш имконини беради. Илмий тадқиқот натижаларини “Урганч махсус санитар транс” давлат ишлаб чиқариш корхонасида тадбиқ этиш натижасида тозаловчи агрегат ва машиналар унумдорлигини 5-6%га ошириш ҳамда уларга кетадиган сарф-харажатларни 8-9%га камайтириш имконини берган;

4. Суюқ ионли аралашмаларни тозалаш жараёнида бародиффузия коэффициентини ва ионалмашинув колонна ичидаги босимни ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган усул бародиффузия коэффициентини кўп харажатли реал лаборатория шароитисиз ҳисоблаш имконини беради ҳамда фильтрнинг ишчи ҳолати вақтини аниқлашга хизмат қилади.

5. Суюқ ионли аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларининг тўртта ҳолати учун математик моделлар, сонли ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалари яратилган. Яратилган дастурий воситалар ионалмашинув колоннаси ичидаги босим ўзгаришини ҳамда фильтр юзасидаги, ғовак муҳит ичидаги ва чиқишдаги ионлар концентрацияни аниқлаш имконини беради. Илмий тадқиқот натижасини “Зарафшон” магистрал тизимлари бошқармасига тадбиқ этиш натижасида тозаловчи агрегатларнинг параметрларини тўғри танлаш ҳисобига уларнинг унумдорлигини 8-9%га ошириш имконини берган.

6. Ишлаб чиқилган математик ва дастурий таъминотлар ёрдамида ўтказилган ҳисоблаш тажрибалари Самарқанд шаҳридаги “Лаззатли ДОН”, Самарқанд вилоятидаги “Зарафшон” магистрал тизимлари бошқармаси, Урганч шаҳридаги “Урганч махсус санитар транс” ва Питнак шаҳридаги “Улуғбек обод” машина-трактор парки корхоналарида тозаловчи агрегатлар параметрларини тўғри танлаш имконини берган ва муаян даражада иқтисодий самарадорликка эришилган.

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

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

ПАЛВАНОВ БОЗОРБОЙ ЮСУПОВИЧ

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРОВАНИЯ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

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

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером № В2017.2.PhD/T269

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

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

Научный руководитель:

Равшанов Нормухамд
доктор технических наук

Официальные оппоненты:

Кабулов Анвар Васильевич
доктор технических наук, профессор
Маликов Зафар Маматкулович
доктор технических наук

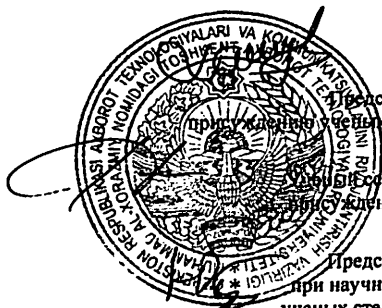
Ведущая организация:

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта

Защита диссертации состоится «14» Февраля 2018 г. в 16⁰⁰ часов на заседании Научного совета _____ DSc.27.06.2017.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г.Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Корпус А Ташкентского университета информационных технологий, 2 этаж, малый зал. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (зарегистрирована за № 1016). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 236-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Автореферат диссертации разослан «2» Февраля 2018 года.
(протокол рассылки № 2 от «10» Января 2018 года.)



Р.Х. Хамдамов

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

Ф.М. Нуралиев

Секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н.

З.Х. Юлдашев

Председателя научного семинара
при научном совете по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется автоматизации технологических процессов производства сельхозпродукции, ее очистки и переработки. «По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (FAO) ООН, объем мирового производства зерна в 2015 году составил более 2,5 млрд. тонн и этот показатель каждый год увеличивается за счет применения новых инновационных технологий»³. Многими странами мира, в том числе США, Китаем, Германией, Японией, Южной Кореей, Великобританией, Россией, а также Узбекистаном проводятся научные исследования по компьютеризации производства сельхозпродукции, ее первичной переработке.

В мире ведутся научно-исследовательские работы с использованием информационно-коммуникационных технологий, направленные на усовершенствование технологических процессов при глубокой переработке сырья, разработке новых очистительных агрегатов и машин, а также на повышение их производительности. В этой связи, в частности, управление технологическими процессами очистки многокомпонентных смесей в динамическом режиме на основе математических моделей, проведение вычислительных экспериментов, разработка новых технологических способов и средств сепарирования трудноразделяемых смесей с учетом различных внешних и внутренних воздействий на технологический процесс входят в число важнейших задач.

В нашей республике особое внимание уделяется глубокой переработке сырья, повышению качества продуктов и автоматическому управлению технологическими процессами очистки с применением инновационных технологий. В этом направлении, в частности, проведены научные изыскания по математическому и численному исследованию технологических процессов первичной очистки, сортирования, сепарирования и фильтрования сельхозпродукции и получены значительные результаты. Наряду с этим особую значимость имеют внедрение информационно-коммуникационных технологий в отрасли, разработка новых агрегатов, усовершенствование существующих, повышение их производительности и качества конечного продукта. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечен ряд задач, в частности: «... переработка мясомолочных и фруктово-овощных продуктов, глубокая переработка цветных и драгоценных металлов, глубокая переработка химического сырья, ... применение информационно-коммуникационных технологий в системе экономики и управления»⁴. Выполнение указанных задач, в частности, разработка математических моделей и численных алгоритмов технологических процессов очистки многокомпонентных смесей считается одной из важнейших задач.

³ <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ru/>

⁴ http://strategy.gov.uz/uz/pages/development_economy

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, указанных в следующих законодательных актах: Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановление правительства Республики Узбекистан №ПП-2505 от 5 марта 2016 г. «О Мерах по дальнейшему развитию сырьевой базы, углублению переработки плодоовощной и мясомолочной продукции, увеличению производства и экспорта продовольственных товаров в 2016-2020 годах», Постановление правительства Республики Узбекистан №ПП-1989 от 27 июня 2013 г. «О мерах по дальнейшему развитию Национальной информационно-коммуникационной системы Республики Узбекистан», Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №24 от 1 февраля 2012 г. «О Мерах по созданию условий для дальнейшего развития компьютеризации и информационно-коммуникационных технологий на местах» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Настоящая работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV - «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. За последние годы по нестационарному технологическому процессу фильтрования смесей проведены научные исследования и получены значительные теоретические и практические результаты. Они рассмотрены в работах зарубежных ученых, в частности, Jing Wang, J.Zhang, Yu.Zhihui, B.Remy, J.W.Dufty, Duygu Kocaefe, Carlos Andre, Gitisa Vitaly, Andrii Safonyk, В.В.Белобородов, И.И.Блехман, А.А.Ключкин, П.М.Зайко, Г.Ю.Джанилидзе, Ю.М.Шехтман, И.И.Жужиков, И.М.Федоткин, Р.И.Нигматулин, Ю.П.Волков, В.П.Ольшанский, Ф.М.Харченко, В.П.Шацкий, Ф.Г.Ахмадиев, М.Г.Токмачев, Н.А.Тихонов, В.А.Семенов, В.В.Гортинский, А.С.Федеренко, Ю.Л.Сколубович, С.В.Натарев и др.

В Узбекистане Ф.Б.Абуталиев, Н.Р.Юсупбеков, Н.У.Ризаев, Д.Ф.Файзуллаев, Х.Х.Атаулаев, О.У.Умаров, М.Я.Рахимов, О.Ким, Н.Равшанов, И.Хужаев и З.М.Маликов внесли большой вклад в разработку математических моделей и численных алгоритмов технологического процесса очистки смесей.

В настоящее время, проблемы математического моделирования для прогноза, анализа и управления изменением диапазонов параметров агрегата с учетом физико-механических свойств смесей изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских работ Научно-инновационного центра

информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий по проектам: А-5-001-«Разработка распределённых алгоритмов и веб-ориентированных программных средств для решения задач теплопереноса в сложных системах» (2015-2017); ВА-ОТ-А3-21 - «Разработка и создание статического центробежного классификатора» (2017-2018).

Целью исследования является усовершенствование математических моделей и разработка численных алгоритмов для прогнозирования и управления нестационарным технологическим процессом сепарирования и фильтрации многокомпонентных смесей с учетом их физико-механических свойств.

Задачи исследования:

усовершенствование математической модели технологического процесса очистки сыпучих смесей в центробежном сепараторе;

усовершенствование численной и математической моделей процессов сепарирования сыпучих смесей с учетом направлений движения по горизонтали и вертикали и других факторов;

разработка модифицированного метода решения обратной задачи технологического процесса фильтрации жидких ионизированных растворов;

разработка вычислительного алгоритма и программного средства для эффективного применения при проведении численных экспериментов по прогнозированию и анализу диапазонов изменения параметров очистительных агрегатов.

Объектом исследования являются сложные нестационарные технологические процессы сепарирования, разделения и фильтрации сыпучих смесей и жидких ионизированных растворов.

Предмет исследования составляют математические модели, вычислительные алгоритмы и программные комплексы для исследования и анализа функционирования и прогнозирования технологических процессов сепарирования и фильтрации смесей.

Методы исследования. При исследованиях применяли методы математического моделирования, численные методы гидродинамики, теоретической механики, механики жидкости и газа, теории подобия и размерности, методы алгоритмизации и объектно-ориентированного, а также методы численной итерации.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствованы математические модели и разработан вычислительный алгоритм технологического процесса сепарирования сыпучих смесей в центробежном сепараторе с учетом диаметра частиц, коэффициента формы частиц и сопротивления воздуха;

на основе законов гидродинамики разработана двумерная математическая модель для определения изменения концентрации смесей с учетом скорости движения частиц по горизонтали и вертикали на плоском

- вибросите, а также разработан вычислительный алгоритм для проведения численных экспериментов;

на основе преобразований Лапласа и Фурье усовершенствован метод определения оптимального параметра коэффициента бародиффузии без проведения лабораторного эксперимента в технологических процессах ионообменного фильтрования;

усовершенствованы математические модели для четырех случаев процесса ионообменного фильтрования путем учета изменений толщины слоя осадка по времени и разработаны вычислительные алгоритмы с помощью векторно-разностного метода;

усовершенствован метод решения обратной задачи технологического процесса фильтрования жидких ионизированных растворов с учетом физико-механических свойств многокомпонентных смесей путем введения полинома Чебышева;

создано программное средство на основе разработанных математических моделей и вычислительных алгоритмов технологических процессов очистки многокомпонентных смесей.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны математическая модель и методология проведения вычислительных экспериментов для прогнозирования и функционирования нестационарного технологического процесса сепарирования и фильтрования смесей;

с помощью разработанных математической модели, вычислительного алгоритма и программного средства определены новые критерии основных параметров фильтрующих агрегатов при применении технологии переработки промышленных продуктов и сырья;

разработаны рекомендации по усовершенствованию агрегатов и машин для указанных выше процессов и по определению методов сортирования, сепарирования и фильтрования смесей.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что уравнения движения смеси и изменения концентрации смесей в фильтрующих агрегатах и их краевые условия сформированы строго по законам сохранения массы, вещества и импульса, а результаты численных расчетов сопоставлены с лабораторными экспериментальными данными.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов обосновывается тем, что разработанные с учетом дополнительных факторов математические модели и численные алгоритмы дают достаточную точность теоретических экспериментов в процессе эффективного использования и усовершенствование некоторых параметров очистительных агрегатов.

Практическая значимость обосновывается тем, что разработанные математическое и программное обеспечения позволяют повысить эффективность очистительных агрегатов и машин процессе очистки и

переработки сельскохозяйственных продуктов, а также дают возможность анализировать и прогнозировать технологические процессы очистки многокомпонентных смесей.

Внедрение результатов исследования. На основе разработанных математических моделей, численных алгоритмов и программного средства с целью исследования технологического процесса сепарирования и фильтрования:

разработанная на основе законов гидродинамики математическая модель, вычислительный алгоритм и программное обеспечение внедрены в процесс очистки и сортировки бытовых отходов в Государственном производственном предприятии «Урганч махсус санитар транс» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/8049 от 28 ноября 2017 года). В результате использования разработанного программного средства обеспечена возможность увеличения производительности очистительных агрегатов и машин на 5-6% и уменьшения капитальных затрат на 8-9%;

разработанные на основе применения преобразований Лапласа и Фурье математическое обеспечение и программное средство внедрены в процесс очистки технических жидкостей в Машинотракторном парке «Улугбек обод» г. Питнака Хорезмской области (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/8049 от 28 ноября 2017 года). В результате применения математического и программного обеспечения предоставлена возможность увеличить производительность очистительных агрегатов и машин на 7,5% и уменьшить капитальные затраты на 7-8%;

разработанные математическое и программное обеспечения с учетом коэффициента сопротивления частиц внедрены в процесс очистки пшеничного зерна в частном предприятии «Лаззатли дон» Самаркандской области (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/8049 от 28 ноября 2017 года). В результате использования разработанного программного средства обеспечена возможность увеличения производительности сепаратора на 3-4% за счет правильного выбора параметров агрегата;

математическая модель, вычислительный алгоритм и программное средство по технологическому процессу фильтрования жидких ионизированных растворов внедрены в Управлении магистральных систем «Зарафшон» Самаркандской области при очистке питьевой воды (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/8049 от 28 ноября 2017 года). В результате применения математического и программного обеспечения предоставлена возможность увеличения производительности очистительных агрегатов на 8-9% за счет правильного подбора параметров.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на 12 республиканских и 5 международных конференциях, где получили одобрение специалистов.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 39 научных работ, 10 журнальных статей, в том числе 3 в иностранных, 7 в республиканских журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, также получены 3 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит 114 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан, сформулированы цели и задачи, указаны объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах и структура диссертации.

Первая глава диссертации «Обзор литературных источников по моделированию процессов фильтрации и сепарирования сыпучих, жидких и ионизированных растворов» состоит из трёх параграфов. В ней приведены краткий аналитический обзор исследований по теме диссертационной работы, общая характеристика фильтрующих агрегатов и анализ существующих моделей технологического процесса сепарирования и фильтрации смесей.

Уравнения движения частицы по наклонному виброситу с углом β впервые рассмотрены И.И. Блехманом и записываются следующим образом:

$$m(dV_x/dt) = mA_1\omega_1^2 \cos \beta \sin \omega_1 t - mg \sin \alpha + F,$$

$$m(dV_y/dt) = mA_1\omega_1^2 \sin \beta \sin \omega_1 t - mg \cos \alpha + N,$$

где V_x, V_y – скорость частиц по горизонтали и вертикали; m – масса частицы; A_1, ω_1 – амплитуда и частота вибрации сита; β – угол наклона траектории колебаний относительно плоскости (угол вибрации); α – угол наклона сита относительно горизонта.

Дальнейшее усовершенствование этой математической модели в проекциях на подвижные оси координат произведено Р.Ф.Нагаевым в следующем виде:

$$\frac{dV_x}{dt} = A_1 \omega_1^2 \cos \gamma \cos(\omega_1 t + \eta + \pi) - f[-A_1 \omega_1^2 \sin \gamma \cos(\omega_1 t + \varphi + \pi) + g] \cos \sigma,$$

$$\frac{dV_y}{dt} = A_1 \omega_1^2 \cos \gamma \cos(\omega_1 t + \eta + \pi) - f[-A_1 \omega_1^2 \sin \gamma \cos(\omega_1 t + \varphi + \pi) + g] \sin \sigma,$$

$$\cos \sigma = \frac{V_x}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}; \quad \sin \sigma = \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}},$$

где η и φ – фазовые углы вертикальных и горизонтальных колебаний; f – коэффициент трения скольжения частицы по поверхности.

В этих моделях не учитываются силы взаимодействия частицы с другими окружающими ее частицами, силы сопротивления воздушной среды и объемные силы, возникающие в сплошной среде. Модель единичной частицы считается адекватной, если параметры вибрации соответствуют значениям $20\text{с}^{-1} \leq \omega_1 \leq 30\text{с}^{-1}$, и погрешность модели при соблюдении указанных условий составляет 20-30 %.

В работе Л.Н.Тищенко и В.П.Ольшанского рассматривается движение частиц по решетке, которое наклонено под углом α к горизонту. Модель описывается двумерными уравнениями Навье-Стокса с учетом инерционных членов:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial y} = g \sin \alpha - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial x} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \right), \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial y} = g \cos \alpha - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial y} - \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right). \end{cases}$$

Здесь u, w – проекции скорости на координатные оси Ox и Oy соответственно; g – ускорение свободного падения; ρ, μ – усредненные плотность и динамический коэффициент вязкости смеси; α – угол наклона сита относительно горизонта; P – давление в смеси; t – время.

Представленная модель пригодна при условиях $A\omega < g \cos \alpha$ и $h < 10$ мм.

Во второй главе диссертации «Математическое моделирование процесса сепарирования сыпучих смесей» приведены усовершенствованные модели и численный метод решения задачи, а также результаты экспериментов по нестационарному технологическому процессу сепарирования сыпучих смесей.

Для определения скорости и траектории движения частиц с учетом физико-механических свойств смеси в цилиндрическом барабанном сепараторе была усовершенствована математическая модель исследуемого процесса. При моделировании использовали уравнение

$$\vec{F}_n + \vec{F}_N + \vec{F}_G + \vec{F}_s + \vec{F}_r + \vec{F}_k = 0, \quad (1)$$

где F_n – центробежная сила; F_N – сила нормальной реакции вращающегося цилиндра; F_G – сила тяжести; F_s – сила сопротивления среды движению

частицы; F_p – переносная сила, действующая на частицы; F_k – кориолисова сила инерции.

Используя уравнения (1) и законы классической механики для определения траектории движения частицы в цилиндрических сепараторах, получаем математическую модель, описывающую движение частицы:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dU}{dt} &= R\psi\omega^2 \sin \omega t - f_1 [R(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)^2 + 2U(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)] \frac{U}{\sqrt{U^2 + W^2}}, \\ \frac{dW}{dt} &= g - f_1 [R(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)^2 + 2W(\Omega + \psi\omega \cos \omega t)] \frac{U}{\sqrt{U^2 + W^2}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

при начальном условии покоя частиц

$$U(0) = 0, \quad W(0) = 0 \quad \text{при } t = 0. \quad (3)$$

Здесь U , W – соответственно скорости перемещения частиц по горизонтали и вертикали, Ω – частота вращения цилиндра, ω – частота вращательных колебаний цилиндра, ψ – амплитуда вращательных колебаний цилиндра; f – коэффициент сопротивления частиц.

Преимущества этой модели состоят в учете коэффициента сопротивления движения частиц в барабане, плотности воздуха, массы частиц, площади проекции частицы на плоскость, коэффициента формы частиц, определяемого по следующей формуле:

$$f_1 = f + 0,5d\rho_v C_D S / m.$$

Где d – диаметр частиц; m – масса частиц ρ_v – плотность воздуха, C_D – коэффициент формы частиц, S – площадь проекции частицы на плоскости, нормальной направлению ее движения. По поставленной нелинейной задаче (2) с условиями (3) разработан численный алгоритм и проведены численные эксперименты.

Также в главе рассмотрены разработанные математическая модель и численный метод решения задачи о нестационарных технологических процессах сепарирования смесей на виброрешетках. Эта математическая модель позволяет определить изменения концентрации смеси и скорости движения частиц на вибросите и включает уравнение

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(b_c \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(b_c \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - u \frac{\partial \theta}{\partial x} - v \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (4)$$

при условиях

$$\left. \begin{aligned} \theta(x, z, t) \Big|_{t=0} &= \theta_0(x, z); \\ \frac{\partial}{\partial x} \theta(x, z, t) \Big|_{x=0} &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial x} \theta(x, z, t) \Big|_{x=L_x} = 0; \\ \frac{\partial}{\partial z} \theta(x, z, t) \Big|_{z=0} &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial z} \theta(x, z, t) \Big|_{z=L_z} = -\frac{k_0}{b_c} \theta A_1 \omega_1^2 \cos \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь θ – концентрация сыпучей смеси; k_0 – коэффициент отвода частиц; γ – угол наклона сита; b_c – коэффициент сепарирования; A_1, ω_1 – амплитуда и частота колебания сита по горизонтали; u, v – скорость частиц по горизонтали и вертикали.

Для определения скорости движения частиц по горизонтали u и по вертикали w воспользуемся следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= g \sin \gamma - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial x} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \right) + A_1 \omega_1^2 \sin \omega_1 t, \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= g \cos \gamma - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial z} - \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right) + A_2 \omega_2^2 \sin \omega_2 t \end{aligned} \right\} (6)$$

с краевыми условиями

$$\left. \begin{aligned} u(x, z, 0) &= u_0(x, z); \quad w(x, z, 0) = w_0(x, z); \quad 0 \leq x \leq L_x; 0 \leq z \leq L_z; \\ \partial u(0, z, t) / \partial x &= \partial w(0, z, t) / \partial x = 0; \quad \partial u(L_x, z, t) / \partial x = \partial w(L_x, z, t) / \partial x = 0; \\ \partial u(x, 0, t) / \partial z &= \partial w(x, 0, t) / \partial z = 0; \\ \partial u(x, L_x, t) / \partial z &= 0; \quad \partial v(x, L_x, t) / \partial z = -k_0 v \cos \varphi. \end{aligned} \right\} (7)$$

Здесь g – ускорение силы тяжести; P – давление сыпучей смеси на плоскость виброрешета; ρ, μ – плотность и вязкость сыпучей смеси; A_2, ω_2 – амплитуда и частота вибрации сита по вертикали.

Задачи (4) – (7) решены модифицированным методом переменных направлений. В ходе экспериментов на ЭВМ получены результаты при различных параметрах сепаратора и физико-механических свойствах смеси, которые приведены в виде графиков (рис. 1, 2).

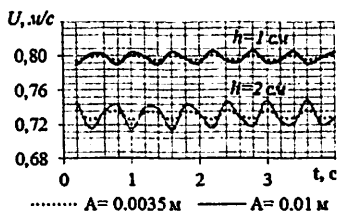


Рис. 1. Изменение скорости частиц в зависимости от времени.

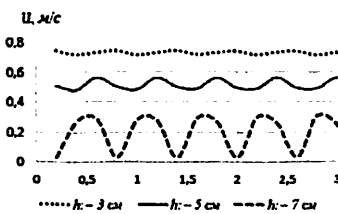


Рис. 2. Скорость частиц в зависимости от времени в различных слоях потока.

Третья глава диссертации «Усовершенствованные математические модели сложных нестационарных технологических процессов фильтрации и их вычислительные алгоритмы», состоящая из трех параграфов, посвящена определению функциональной зависимости коэффициента бародиффузии при процессе фильтрации жидких ионизированных растворов, усовершенствованию математической модели технологического процесса фильтрации жидких растворов с учетом

образовавшегося слоя осадка и решению обратной задачи процесса фильтрования малоконцентрированных суспензий. Также в главе разработаны их численные алгоритмы.

Коэффициент бародиффузии D_b является опытным параметром. Для его определения запишем общее уравнение динамики сорбции для одного вещества с линейной изотермой сорбции Генри в виде

$$m \frac{\partial n}{\partial t} + W \frac{\partial n}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{D_b}{P} \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \beta(n - \Gamma N), \quad (9)$$

$$m \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial P}{\partial x} \right) \quad (10)$$

с краевыми условиями:

$$\left. \begin{aligned} n = n_{01}, \quad N = N_0, \quad P = f(x) \quad \text{при } t = 0, \\ n = n_0, \quad k \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) + \gamma P = P_0 \quad \text{при } x = 0, \\ n = n_{02}, \quad \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad \text{при } x = H, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где n, N – неравновесные концентрации в растворе и сорбенте; W – скорость движения раствора в ионитной колонке; D, D_b – коэффициенты диффузии и бародиффузии; P – давление; β – эффективная константа обменивающихся ионов.

Задачи (8)-(10) с условиями (11) решены с помощью операционного исчисления методом преобразований Лапласа и Фурье. В итоге получена функциональная зависимость для определения опытного параметра коэффициента бародиффузии.

Изменение давления внутри ионообменной колонны определяется следующей формулой:

$$P = \frac{He^{bt}}{(-b)^B} e^{bx/\sqrt{a}} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} + b\sqrt{t} \right) \right] - \frac{H}{(-b)^B} (1 - 4b^2t) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right] + \frac{Hb}{(-b)^B \sqrt{a}} x \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right] + \frac{2Hb\sqrt{t}}{(-b)^B \sqrt{\pi}} e^{-x^2/4at}.$$

Окончательно для определения опытного параметра коэффициента бародиффузии дана формула

$$D_b = (n(x_k, t) - q_1(x_k, t)) / q_2(x_k, t),$$

где x_k – любая точка внутри рассматриваемой области:

$$q_1(x, t) = e^{(k_1+k_2)t+(k_2+k_3)x} \left\{ \frac{Dn_0}{m} e^{\frac{D}{m}(k_2+k_3)x} \left[e^{-(k_2+k_3)x} - 0, 5e^{\frac{m\pi}{D}(k_2+k_3)} E_1 + \right. \right.$$

$$+ \frac{n_0 x}{2\sqrt{\pi t^3 D/m}} e^{-(k_1+k_2)x} e^{-\frac{Dx^2}{4mt}} \Bigg\}, \quad q_2(x,t) = \frac{1}{D} \int_0^t \Phi_0(\tau) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{C_0(t-\tau)}} \right) d\tau,$$

$$E_1 = \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{tD/m}} - \sqrt{tD/m}(k_2+k_3) \right),$$

$$C_0 = D/m, \quad k_1 = \beta/m, \quad k_2 = W/D - (2(1+m)\beta/(mW)),$$

$$k_3 = -0,5W/D + 2\beta(1+m)/(mW), \quad k_4 = (1+m)\beta/m^2 + \beta/m.$$

Процесс фильтрования является основным этапом при очистке питьевой воды, в фармацевтике и т.д. В этих целях рассмотрены четыре случая задачи процесса ионообменного фильтрования. Первая задача в безразмерном виде представляется следующим образом

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{\partial u}{\partial t} + a_1 W \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial N_u}{\partial t} &= a_2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; & \frac{\partial N_u}{\partial t} &= a_3 \left(u - \frac{K_1 N_u}{K_2 - bN_u} \right); \\ m_1 \frac{\partial v}{\partial t} + a_1 W \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial N_v}{\partial t} &= a_2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}; & \frac{\partial N_v}{\partial t} &= a_3 \left(v - \frac{K_1 N_v}{K_2 - bN_v} \right); \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} u = v = 0, \quad N_u = N_v = 1 & \text{ при } t = 0; \\ u = v = 0 & \text{ при } x = 0; \\ u = v = n^0 & \text{ при } x = 1, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\text{где } a_1 = \frac{W_0 \alpha_\tau}{H_0}, \quad a_2 = \frac{D_L \alpha_\tau}{H_0^2}, \quad a_3 = \beta \alpha_\tau, \quad K_1 = \frac{1}{N_0}, \quad K_2 = \frac{a}{N_0}, \quad n^0 = \frac{n_0}{N_0}, \quad \alpha_\tau = \frac{\rho H K_0}{\mu H_0 W_0}.$$

Вторая задача имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW}{dt} &= B - \frac{W}{(1-C_0^*V)^2}; & \frac{d\Delta\theta}{dt} &= \frac{\theta_1 \alpha_\tau}{H_0(1-\theta_1)} W; & \frac{dV}{dt} &= a_4 W; \\ W = 0, \quad \Delta\theta = 0, \quad V = 0 & \text{ при } t = 0, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$B = \Delta P_0 K_0 / (\mu H_0 W_0), \quad a_4 = W_0 \alpha_\tau / F^{1/2}.$$

В третьем случае задача имеет следующий вид

$$\left. \begin{aligned} P(t) &= \frac{1}{B(1-\delta)^2} - \frac{\rho H W}{\Delta P_0 \alpha_\tau} \frac{d\theta_3}{dt}; & \frac{d\theta_3}{dt} &= q(t); \\ \frac{d\Delta\theta}{dt} &= a_1 \frac{1-\theta_3}{1-\theta_1}; & \frac{d\delta}{dt} &= a_5(\Delta\theta - \gamma\delta); \\ V &= a_6 t; \\ t = 0 \text{ да, } \theta_3 = 0, \quad \Delta\theta = 0, \quad \delta = 0; \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$q(t) = \frac{\alpha_\tau C_0}{W(2-\delta-1/m_1)} \left\{ \lambda(\Delta\theta - \gamma\delta) \left[\gamma(\Delta\theta - m_0 - m_1) - \frac{C_1 e^{-\lambda t}}{2-\delta-1/m_1} + \right. \right.$$

$$\left. + \frac{(\Delta\theta + m_0 - m_1)(\Delta\theta - \gamma\delta)}{2 - \delta - 1/m_1} \right] + C_1 \gamma e^{-a_7 t} - W(2\Delta\theta - \gamma\delta - a_7) \lambda \frac{1 - \theta_2}{C_0} \left. \right\},$$

$$C_0 = H_0 \lambda (1 - \theta_1), \quad C_1 = \theta_1 (1 - m_0), \quad a_5 = \lambda \alpha_r, \quad a_6 = a_5 \gamma, \quad a_7 = m_1 - m_0.$$

В четвертом случае, когда на поверхности фильтровальной перегородки образуется слой осадка, задача принимает следующий вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW}{d\tau} &= \frac{\bar{\alpha}_r}{\rho(H+h)} \left[\rho g(H+h) / W_x - \mu W h ((1-\Delta\theta) / k_1 + 1 / k_2) \right]; \\ \frac{dh}{d\tau} &= \frac{\alpha_r \theta_1}{H_x (1-\theta_1) (\Delta\theta - \theta_1)} \left[A \alpha_r t (1-\theta_1) + F W W_x \right]; \\ \frac{d\Delta\theta}{dt} &= \frac{\theta_1 \alpha_r}{H_0 (1-\theta_1)} W; \quad \frac{dV}{d\tau} = \frac{\alpha_r F W W_x}{V_x}; \\ W &= W_0, \quad h = 0, \quad V = 0, \quad \Delta\theta = 0, \quad \text{при } t = 0. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Все параметры, входящие в системы (12) - (16), имеют следующий смысл: $\Delta\theta$ - концентрация взвеси, оседающей на поверхности фильтра; θ_2 - концентрация частиц, протекающих через фильтровальную перегородку; V - объем фильтрата; δ - концентрация взвеси, оседающая в порах фильтра; ρ и μ - плотность и вязкость фильтрата; θ_1 - исходная концентрация взвеси в суспензии; m_0 - пористость осевшей массы в порах фильтра; F - площадь фильтра; C_0 - коэффициент закупорки.

На основе разработанного математического обеспечения задач были проведены вычислительные эксперименты. Полученные результаты приведены в виде графиков (рис. 3,4).

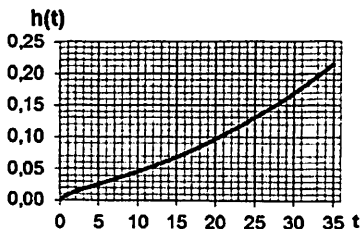


Рис. 3. Изменение слоя осадка по времени (час).

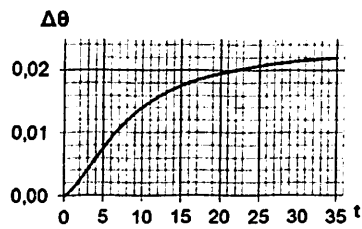


Рис. 4. Концентрация взвеси на поверхности фильтра.

Четвертая глава «Комплекс программ автоматизации проведения вычислительных экспериментов по задаче сепарирования и фильтрования трудноразделяемых смесей», состоящая из трех параграфов, посвящена описанию функциональных возможностей разработанных программных продуктов.

Приведены структура и функциональные возможности объектно-ориентированной программы «Filter-Separ» (рис. 5) для автоматизации решения задачи процесса фильтрования и сепарирования смесей. Программа

позволяет проводить расчеты технологического процесса сепарирования сыпучих смесей и фильтрования жидких ионизированных растворов.

Результаты проведенных численных расчетов могут быть представлены в виде таблиц и графиков. Также можно экспортировать данные в среду MS Excel для подготовки отчетов по анализу расчета.

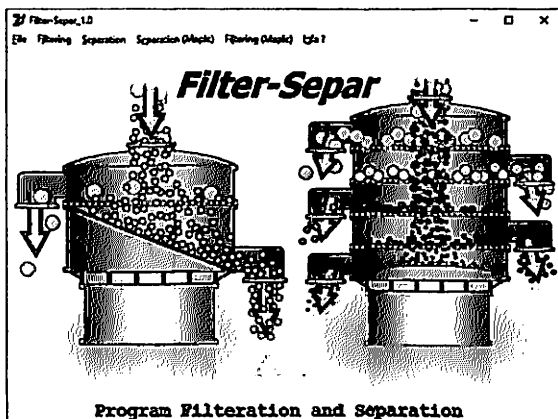


Рис. 5. Главное окно программы «Filter-Separ»

Приведено описание расчетных модулей для технологического процесса центробежного сепарирования в условиях стеснённого движения частиц сыпучих смесей. Рассмотрены расчетный модуль для определения скорости движения частиц и изменения концентрации сыпучих смесей на плоских виброрешетках и блок модульной программы для автоматизации проведения численных расчетов технологического процесса фильтрования жидких и ионизированных растворов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных научно-исследовательских работ по теме докторской диссертации «Усовершенствованные модели и алгоритмы для исследования процессов фильтрования многокомпонентных смесей» представлены следующие выводы:

1. Разработаны математическая модель, вычислительный алгоритм и программное средство технологического процесса сепарирования сыпучих смесей в центробежном сепараторе. Они служат для определения диапазонов изменения и прогнозирования параметров сепаратора с центробежным классификатором с учетом физико-механических свойств смеси.

2. Разработана компьютерная модель процесса сепарирования смесей на виброрешетке с учетом стеснённого движения частиц. Полученная компьютерная модель обеспечивает возможность правильного выбора

параметров очистительных агрегатов в процессе сепарирования трудноразделяемых смесей.

3. Разработаны двухмерная математическая модель процесса сепарирования смесей на плоском наклонном вибростите, вычислительный алгоритм решения задачи и соответствующее программное средство. Разработанное программное обеспечение даст возможность определения изменения концентрации целевого продукта и скорости прохода частиц сквозь сито плоского виброрешета. Внедрение результатов научно-исследовательской работы в Государственном производственном предприятии «Урганч махсус санитар транс» обеспечило возможность увеличения производительности очистительных агрегатов и машин на 5-6 % и уменьшения капитальных затрат на 8-9 %.

4. Разработан метод определения коэффициента бародиффузии и давления внутри ионообменной колонны в процессе фильтрования жидких ионизированных растворов. Полученный метод позволяет определять значение опытного параметра коэффициента бародиффузии без проведения многозатратных лабораторных экспериментов, а также срок службы фильтра.

5. Разработаны математическая модель, вычислительный алгоритм и программное средство для четырех случаев технологического процесса фильтрования жидких ионизированных растворов. Разработанный инструментарий позволяет определять концентрацию ионов на поверхности, внутри и на выходе фильтра, а также определять значение давления внутри ионообменной колонны. Внедрение результатов научно-исследовательской работы в Управлении магистральных систем «Зарафшон» за счет правильного подбора параметров очистительных агрегатов обеспечило возможность увеличения их производительности на 8-9 %.

6. Внедрение и использование разработанного математического и программного обеспечения дают возможность правильного подбора параметров очистительных агрегатов в ходе производственных процессов в Управлении магистральных систем «Зарафшон» Самаркандской области, на предприятиях «Лаззатли ДОН» города Самарканда, «Урганч махсус санитар транс» города Ургенча и Машинотракторный парк «Улугбек обод» города Питнака.

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

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

PALVANOV BOZORBOY YUSUPOVICH

**ADVANCED MODELS AND ALGORITHMS FOR THE RESEARCH THE
OF PROCESSES OF FILTERING MULTICOMPONENT MIXTURES**

05.01.07 – Mathematical modeling. Numerical methods and program complexes

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

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PHD/T269.

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

The abstract of the dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser: Ravshanov Normahmad
doctor of technical sciences

Official opponents: Kabulov Anvar Vasilovich
doctor of technical sciences, professor

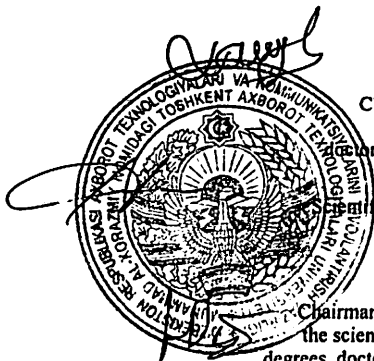
Malikov Zafar Mamatqulovich
doctor of technical sciences

Leading organization: Tashkent institute of railway engineers

The defense will take place " 14 " February 2018 at 12⁰⁰ the meeting of Scientific council No. DSc.27.06.2017.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 2536). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on " 2 " February 2018 y.
(mailing report No. 2 on " 10 " January 2018 y.).



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

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

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

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is the improvement of mathematical models and the development of numerical algorithms for prediction and control of non-stationary process of separation and filtration of mixtures in view of their physical and mechanical properties.

The object of the research work is the complex non-stationary technological processes of separation, department, filtration of loose mixtures and liquid ionized solutions.

The scientific novelty of the research work is a follows:

the mathematical model has been improved and the computational algorithm has been developed for the technological process of separating loose mixtures in a centrifugal separator, taking into account the particle diameter, particle shape coefficient and air resistance;

on the basis of the laws of hydrodynamics the two-dimensional mathematical model for determining the change in concentration of the mixtures with based the particle velocity, horizontally and vertically on a flat shaker has been developed, also there has been developed computational algorithm for numerical experiments;

on the basis of Laplace and Fourier transforms, the method has been developed for determining the experimental parameter-barodiffusion coefficient without conducting a laboratory experiment in ion exchange filtering processes;

the mathematical models have been improved and effective numerical algorithms of the ion-exchange filtering process have been developed taking into account the formation of a sediment layer;

on the basis of the Chebyshev polynomial, the improved method for solving the inverse problem of the technological process of filtering liquid ionized solutions has been developed considering the physico-mechanical properties of the mixture;

on the basis of the developed mathematical apparatus, the computer model has been created for carrying out numerical experiments on the technological process of cleaning mixtures.

Implementation of obtained results. Based on the developed mathematical models, numerical algorithms and software for investigating the technological process of separation and filtration, the results obtained in the thesis work were implemented in a number of economic entities:

the developed on the basis of the laws of hydrodynamics, the mathematical model, computational algorithm and software were introduced in the process of cleaning and sorting of household waste in the state production enterprise "Urganch mahsus sanitar trans" (reference of the Ministry of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan of 28.11.2017 No.33-8/8049). The results of the implementation made it possible to increase the productivity of cleaning units and machines by 5-6% and to decrease in capital costs by 8-9%;

the developed on the basis of the application of the Laplace and Fourier transforms, the mathematical support and software package were introduced in the

process of cleaning technical fluids in the machine-tractor park "Ulugbek Obod", the city of Pitnak, Khorezm region (reference of the Ministry of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan of 28.11.2017 No.33-8/8049). The results of the implementation made it possible to increase the productivity of cleaning units and machines by 7,5% and to reduce capital costs by 7-8%;

the developed mathematics and software, taking into account the coefficient of particle resistance were introduced in the process of cleaning wheat grain in a private enterprise "Lazzatli Don" in the Samarkand region (reference of the Ministry of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan of 28.11.2017 No.33-8/8049). The results of the implementation made it possible to increase the productivity of cleaning units by 3-4% due to the correct choice of their parameters;

the mathematical model, computational algorithm and software for the technological process of filtration of liquid ionized solutions were introduced in the Administration of the main systems "Zarafshon" in the Samarkand region for the purification of drinking water (reference of the Ministry of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan of 28.11.2017 No.33-8/8049). The results of the implementation made it possible to increase the productivity of purification units by 8-9% due to the correct selection of their parameters.

Structure and volume of the dissertation. The structure of the dissertation consists an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the 114 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Ионлашган қоришмаларни тозалашнинг математик модели // Информатика ва энергетика муаммолари Ўзбекистон журнали. – Тошкент, 2013. – № 1-2. – Б. 7-11 (05.00.00; №5).
2. Ravshanov N., Palvanov B.Yu., Muxamadiyev A. Computer modelling of process of filtering of the liquid of the ionized solutions for protection of the ecosystem from of pollution sources // TUIT Bulletin. – Tashkent, 2015. – № 2. – pp. 100-105 (05.00.00; № 10).
3. Палванов Б.Ю. Компьютерная модель и вычислительный эксперимент для исследования процесса многократного ионообменного фильтрования суспензий // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2016. – № 4. – С. 48-63 (05.00.00; №23).
4. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Математическая модель процесса ионообменного фильтрования ионизированных растворов // Узб. журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2015. – № 6. – С. 10-17 (05.00.00; №5).
5. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Вычислительный эксперимент для исследования технологического процесса фильтрования жидких и ионизированных растворов // Отраслевые аспекты технических наук. – Москва: ИНГН, 2015. – № 3 (45). – С. 18-28 (05.00.00; №60).
6. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Компьютерное моделирование процесса сепарирования сыпучих смесей // Информационные технологии моделирования и управления. – Воронеж: Научная книга, 2016. – № 2 (98). – С. 109-122 (05.00.00; №43).
7. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Приближенно-аналитическое решение задачи технологического процесса фильтрования растворов от нежелательных ионов // Исследования технических наук. – Москва: ИНГН, 2016. – № 1 (19). – С. 25-36 (05.00.00; №44).
8. Равшанов Н., Палванов Б. Ю., Орифжонова У. Компьютерное моделирование сложного технологического процесса сепарирования сыпучих смесей // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2017. – № 2 (8). – С. 30-40 (05.00.00; №23).
9. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Математическая модель и численный эксперимент для исследования процесса сепарирования сыпучей смеси в пневмосепараторе // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2017. – № 3 (9). – С. 37-45 (05.00.00; №23).
10. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Математическая модель для ионообменной сорбции двухкомпонентных растворов // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2017. – № 5 (11). – С. 55-61 (05.00.00; №23).

11. Ravshanov N., Palvanov B.Yu., Elmurodova B. Computer modelling of problems filtering low-concentration suspensions // ISJ Theoretical & Applied Science. – 2016. – № 09 (41). – pp. 85-94.
12. Ravshanov N., Palvanov B.Yu. Numerical solution of inverse problems filtering process of low-concentration solutions // ISJ Theoretical & Applied science. – 2017. – № 04 (48). – pp. 85-94.
13. Ravshanov N., Palvanov B.Yu., Shermatova G.U. Mathematic Model of Technical Process of Heavy Mixtures Classifying on the Basis of Dispersion of Particles Flight Path // European researcher. Academic Publishing House Researcher. – Sochi, 2014. – № 5-1. – Vol (74). – pp. 824-830.
14. Ravshanov N., Palvanov B.Yu. Model of the Process of Ion-exchange Porous Medium Filtration of the Suspension and its analytical solution // European researcher, Academic Publishing House Researcher. – Sochi, 2012. – Vol. 31. – № 10-1. – pp. 1639-1645.
15. Ravshanov N., Palvanov B.Yu., Islamov Yu. Mathematical Model of Suspension Filtering and Its Analytical Solution // European researcher, Academic Publishing House Researcher. – Sochi, 2013. – Vol. 56. – № 8-1. – pp. 2057-2065.
16. Равшанов Н., Палванов Б.Ю., Исламов Ю. Компьютерная модель процесса сепарирования трудноразделяемых сыпучих смесей центробежным сепаратором // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2015. – № 1 (1). – С. 40-46.
17. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Численное моделирование технологического процесса сепарирования смесей при стесненном перемещении частиц // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2015. – № 2 (1). – С. 19-25.
18. Палванов Б.Ю., Абдурахманова Ш., Каршиев Д. Численное решение задачи технологического процесса сепарирования сыпучих смесей на плоских выборешетках // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2016. – № 2. – С. 19-25.
19. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Обратная задача для определения параметров ионообменного фильтрования суспензии // Вопросы вычислительной и прикладной математики: Сб. научн. тр. – Ташкент, 2012. – Вып. 127. – с. 87-108.
20. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Математическая модель процесса сепарирования сыпучих смесей и ее аналитическое решение // Science - od teorii do praktyki. – Warshawa: Diamond trading tour, 2013. – Т. 8. – С. 19-23.
21. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Численные решения задачи фильтрования малокоцентрированных суспензий // Наука и общество: Материалы Международной конференции. 15 февраля 2014. - Донецк, 2014. – С. 39-42.
22. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Компьютерное моделирование технологического процесса фильтрования суспензий // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в

управлении: Материалы Республиканской конференции. – Ташкент: ЦРППиАПК при ТУИТ, 2015. – С. 203-209.

23. Равшанов Н., Палванов Б.Ю., Исламов А.Ю. Компьютерное моделирование процесса сепарирования в условиях стесненного перемещения смесей // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы XVI Международной конференции. 11-12 февраля 2016. – Воронеж, 2016. – С. 426-430.

24. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Численное решение задачи фильтрации малоконцентрированных суспензий // Прочность конструкции, сейсמודинамика зданий и сооружений: Материалы Международной научно-технической конференции. – Ташкент, 2016. – С. 295-297.

25. Палванов Б.Ю. Цилиндрик шаклдаги центрифугали сепараторларда аралашмаларни тозалаш жараёнини тадқиқ этиш учун дастурий восита яратиш // Таълим ва илмий тадқиқотлар самарадорлигини оширишда замонавий ахборот-коммуникация технологияларининг ўрни: Республика илмий-техник анжумани материаллари. 2-қисм. – Тошкент: ТАТУ, 2017. – Б. 84-87.

26. Палванов Б.Ю., Матлатипов Г.Р. Компьютерное моделирование процесса сепарации сыпучих смесей // Современные проблемы прикладной математики и информационных технологий-Аль-Хорезми 2016: Материалы Международной конференции. – Ташкент, 2016. – С. 117-120.

27. Палванов Б.Ю. Разработка программного средства для исследования процесса сепарирования сыпучих смесей на плоском вибросите // Таълим ва илмий тадқиқотлар самарадорлигини оширишда замонавий ахборот-технологияларининг ўрни: Республика илмий-амалий анжумани материаллари. 2017 йил 5-6 май. – Қарши: ТАТУ Қарши филиали, 2017. – Б. 202-204.

28. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Разработка математической модели для исследования процесса сепарирования сыпучей смеси // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, 2017. – С. 165-170.

29. Палванов Б.Ю. Матлатипов Г.Р. Математическая модель и численный алгоритм для ионообменной сорбции двухкомпонентных растворов // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Тез. докл. Республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, 2017. – С. 161-164.

30. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Математическая модель для решения обратной задачи технологического процесса очистки смесей // Актуальные проблемы оптимизации и автоматизации технологических процессов производств: Труды международной научно-технической конференции. – Қарши, 2017. – С. 150-155.

31. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Компьютерное моделирование процесса фильтрации выбросных ионизированных растворов и защита

подземных вод от источников загрязнения // Экологические проблемы региона и пути их решения: Материалы Международной конференции. – Омск, 2016. – С. 290-294.

32. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Суюк аралашмаларни тозалаш технологик жараёнларнинг компьютерли модели // Машинасозликда замонавий материаллар, техника ва технологиялар: Халқаро илмий-техникавий анжумани материаллари. – Андижон, 2016. – Б. 385-389.

33. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Компьютерное моделирование технологического процесса фильтрации суспензий // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении: Материалы конференции. – Ташкент, 2015. – С. 203-209.

34. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Ионлашган суюқликларни тозалашнинг технологик жараёнини тадқиқ этиш учун моделлаштириш ва эҳда хисоблаш тажрибасини ўтказиш // INNOVATION-2015: Халқаро илмий конференция материаллари. – Тошкент, 2015. – Б. 284-285.

35. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Компьютерное моделирование технологического процесса сепарирования сыпучих смесей // Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологиялари ва қўллашнинг ҳозирги замон масаллари: Илмий конференция материаллари. – Нукус: ТАТУ Нукус филиали, 2015. – Б. 408-411.

36. Ravshanov N., Palvanov B. Yu. Computer modeling of technological process of mixtures separation on the flat vibro lattices // International conference INNOVATION-2016. – Tashkent, 2016. – pp. 260.

37. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Filter-Separ 1.0: программное средство // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 03912. 15.06.2016 г.

38. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Filter-Separ 2.0: программное средство // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 04653. 30.05.2017 г.

39. Равшанов Н., Палванов Б.Ю. Filter-Separ 3.0: программное средство // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 04914. 27.10.2017 г.

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

**Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитура рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табоғи: 3,5 Адади 100. Буюртма № 5.**

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