

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

ФАЙЗИЕВ ШАВКАТ ИСМАТОВИЧ

**ЎСИМЛИК ХОМАШЁЛАРИНИ СИҚИЛГАН КАРБОНАТ АНГИДРИД
ГАЗИ БИЛАН ЭКСТРАКЦИЯЛАШ ЖАРАЁНИНИ БОШҚАРИШ
ТИЗИМИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ ВА ТАДҚИҚ ЭТИШ**

**05.01.08 – Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва
бошқариш**

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

Тошкент – 2021

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Файзиев Шавкат Исматович

Ўсимлик хомашёларини сиқилган карбонат ангидрид гази билан
экстракциялаш жараёнини бошқариш тизимини моделлаштириш ва
тадқиқ этиш 3

Файзиев Шавкат Исматович

Моделирование и исследование системы управления процессом
экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом 21

Fayziev Shavkat Ismatovich

Modeling and research of the process control system for the extraction of
plant materials liquefied carbon dioxide 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

ФАЙЗИЕВ ШАВКАТ ИСМАТОВИЧ

**ЎСИМЛИК ХОМАШЁЛАРИНИ СИҚИЛГАН КАРБОНАТ АНГИДРИД
ГАЗИ БИЛАН ЭКСТРАКЦИЯЛАШ ЖАРАЁНИНИ БОШҚАРИШ
ТИЗИМИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ ВА ТАДҚИҚ ЭТИШ**

**05.01.08 – Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва
бошқариш**

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

Тошкент – 2021

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.PhD/T1093 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Бухоро муҳандислик-технология институтида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва "Ziyouet" ахборот-таълим порталида (www.ziyouet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Саддиқов Исамиддин Хақимович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Касьянов Геннадий Иванович (Россия Федерацияси)
техника фанлари доктори, профессор

Исмаилов Мирхалил Агзамович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:


Тошкент кимё-технология институти


Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «15» 06 соат 12⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).


Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (208 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2021 йил «02» 06 куни тарқатилди.
(2021 йил «01» 02 даги 1 рақамли реестр баённомаси)




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


У.Ф.Мамиров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)


Х.З.Игамбердиев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қотидаги Илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор, академик

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда озиқ-овқат ва фармацевтика соҳасида экологик тоза маҳсулотларни ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш, жумладан ўсимлик хомашёларини экстракциялаш жараёнида ўта критик ҳолатдаги моддалардан рационал фойдаланиш, энергия ва ресурс сарф харажатларини камайтириш мақсадида замонавий технологиялардан фойдаланиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада ривожланган хорижий мамлакатларда маълум ютуқларга эришилган бўлиб, уларда ўсимлик хомашёларини экстракциялаш жараёнининг сифат кўрсаткичларини ошириш ва ишлаб чиқилган маҳсулотларнинг рақобатбардошлигини таъминловчи самарадор бошқариш тизимини такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда ўсимлик хомашёсининг табиий хусусиятларини сақлаган ҳолда ўта критик сиқилган карбонат ангидрид газларидан фойдаланиб, биологик фаол моддаларнинг юқори концентрацияли экстрактларини ишлаб чиқариш жараёнини оптимал бошқариш тизими ва технологияларини яратишга қаратилган илмий тадқиқотлар жадал олиб борилмоқда. Шу жиҳатдан, фармацевтика, парфюмерия ва озиқ-овқат саноатида юқори сифатли доридармон ва экологик тоза маҳсулотларни олиш имконини берадиган мураккаб технологик жараёнларни самарали рақамли автоматик бошқариш тизимларини синтезлаш муҳим вазифалардан ҳисобланади.

Республикамизда иқтисодиётнинг муҳим тармоқларидан бири ҳисобланган экологик тоза маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кенгайтириш орқали экспорт салоҳиятини сезиларли даражада ошириш, озиқ-овқат хавфсизлигини янада мустаҳкамлаш чора тадбирлари амалга оширилмоқда. Бу борада, 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «...иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, иқтисодиёт тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш, ... таркибий ўзгартиришларни чуқурлаштириш ва қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришини изчил ривожлантириш, мамлакат озиқ-овқат хавфсизлигини янада мустаҳкамлаш, экологик тоза маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кенгайтириш, аграр секторнинг экспорт салоҳиятини сезиларли даражада ошириш, ... иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш»¹ каби вазифалар белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан технологик жараёнларнинг сифат кўрсаткичларини яхшилаш мақсадида замонавий технологик воситалардан фойдаланиб, сиқилган карбонат ангидрид газини билан ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини рақамли бошқариш тизимини моделлаштириш ва синтезлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш зарурати туғилади.

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» фармони.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2019 йил 16 январдаги ПҚ-4118-сон «Ёғ-мой тармоғини янада ривожлантириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар ва соҳани бошқаришда бозор механизмларини жорий этиш тўғрисида», 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик», IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» ва VII. «Кимёвий технология ва нанотехнология» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ёғ-мой саноатида ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини бошқариш усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ илмий-техникавий наشرлар таҳлили ушбу соҳада маълум даражада назарий ва амалий натижаларга эришилганлигидан далолат беради. Бу борада хорижий олимлардан, жумладан, A.Abraham, R.A. Aliev, A.Allgöwer, Zhao Suwei, M.S. Diaz, Г.И. Касьянов, В.А. Бабеньков, М.В.Голубятникова, В.П. Мешалкин, Ф.И. Василев, О.И. Драчев, А.М.Абакумов, S. Malkin, A.A.Cardì, R.Bauer ва бошқалар ўзларининг катта ҳиссаларини қўшишган. Улар ўз тадқиқот ишларида экстрактор қурилмасини такомиллаштириш, маҳсулот сифатини модда ўтказувчанлик тезлигига боғлиқлигини аниқлаш масалаларини тадқиқ қилишган.

Турли экстрагентлар орқали экстракция жараёнини амалга оширувчи мураккаб технологик объектлар ва жараёнларни моделлаштириш ва бошқариш муаммоларини ечишга ўзбек олимларидан Т.Ф.Бекмуратов, Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, Х.З.Игамбердиев, Ш.М.Гулямов, М.А.Исмоилов, И.Х.Сиддиқов, М.М.Мусаев, А.А.Ғафуров ва бошқалар илмий изланишлар олиб боришган.

Шу билан бирга ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид газини билан экстракциялаш жараёнини хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда бошқаришнинг моделлари, алгоритмлари ва тизимларини яратиш масаласига етарлича аҳамият берилмаган. Шу муносабат билан ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид газини билан экстракциялаш жараёнининг замонавий бошқариш усуллари ва ахборот технологиялари ютуқларидан фойдаланган ҳолда бошқариш тизимини такомиллаштириш ва яратиш зарурияти туғилади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Бухоро муҳандислик-технология институти илмий-тадқиқот ишлари режаларининг №А-5-7 «Юқори босимда сиқилган газлар

билан ўсимлик хомашёсидан экстрактлар ишлаб чиқишда жараёнларни ахборот коммуникацион тизимлар ёрдамида бошқариш дастурини ишлаб чиқиш ва ўзлаштириш» (2015-2017), №А-9-1 «Сиқилган газларни қўллаган ҳолда ўсимлик хомашёсидан ингредиентлар ишлаб чиқаришнинг экологик тоза, ресурстежамкор технологиясини яратиш» (2015-2017) мавзуларидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади сиқилган карбонат ангидрид гази билан ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнининг рақамли бошқариш тизимини тадқиқ қилиш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнини бошқариш масалаларини тизимли таҳлил қилиш;

эрийдиган моддаларнинг ички қайта тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда ўсимлик хомашёсини сиқилган CO₂ газининг ўта критик ҳолатида экстракциялаш жараёнининг математик моделини ишлаб чиқиш;

ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш технологик жараёнини оптимал бошқариш тизимини синтезлаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

экстракциялаш жараёнини ахборот-коммуникация бошқарув тизимини тадқиқ қилишнинг махсус дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнини бошқариш тизими олинган.

Тадқиқотнинг предмети сиқилган карбонат ангидрид гази билан ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини бошқариш тизимини тадқиқ қилишнинг усуллари, моделлари ва алгоритмлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда аналог ва рақамли тизимларни автоматик бошқариш, имитацион моделлаштириш, ҳолат параметрларини фазоси, ночизикли дастурлаш, оптимал дискрет бошқариш, идентификациялаш, дифференциал тенгламаларни ечишнинг сонли усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ўсимлик хомашёсини ўта критик сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёни самарадорлигининг чегаравий қийматларини аниқлаш ва экстрактор параметрлари оптимал режимларини ҳисоблаш имконини берувчи статистик-математик модел ишлаб чиқилган;

юқори концентрацияли ингредиентлар олишни таъминловчи экстракциялаш жараёни технологик параметрларининг оптимал қийматларини аниқловчи такомиллаштирилган симплекс режалаштириш усулига асосланган, мавжуд алгоритмлардан янада юқорироқ тезкорлик ва аниқлиги билан фарқланувчи имитацион оптималлаш алгоритми ишлаб чиқилган;

кўп ўлчамли динамик объектнинг кесишувчи каналларини компенсацияловчи ва бошқаришнинг зарурий хоссаларини таъминлаб берувчи рақамли ростлагич параметрларини созлашнинг самарали алгоритми

ишлаб чиқилган;

юқори босимда сиқилган CO_2 гази ёрдамида ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнининг ностационарлигини ҳисобга олган ҳолда оптимал бошқаришни таъминловчи кўп ўлчамли рақамли автоматик бошқариш тизимини синтезлаш алгоритми илк бора ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

CO_2 экстрагент технологик жараёнини автоматлаштирилган бошқариш тизимининг махсус дастурий-аппарат воситалари ишлаб чиқилган;

сиқилган карбонат ангидрид гази ёрдамида ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини тадқиқ қилиш учун микроконтроллер орқали бошқариладиган, маҳаллий хомашёдан сифатли янги экстрактлар ва мойларни олиш имконини берувчи лаборатория қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқотнинг ишончлилиги назарий асосланган, динамик объектларни автоматик бошқариш ва тажриба усулларида тўғри фойдаланилганлиги, таклиф этиладиган бошқарув моделлари ва алгоритмларининг белгиланган даражада мослиги, апробация қилинган замонавий бошқариш назарияси усулларида қўлланилиши, назарий ва амалий тадқиқотлардан олинган натижалар ва уларнинг ўзаро мослиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ишлаб чиқариш объектларини янада такомиллаштирилган бошқариш тизимларини синтез қилиш ва асосланган бошқарув қарорларини қабул қилишга имкон берувчи кўп боғлиқли динамик объектларни икки қатламли рақамли бошқариш тизимларини синтез қилишнинг математик динамик моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти маҳсулотларнинг табиий сифатини сақлаб қолиш билан бирга, ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишни таъминлашда ўсимлик хомашёларини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнини моделлаштириш ва бошқариш масалаларини ечиш имконини берадиган махсус дастурий воситани ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сиқилган карбонат ангидрид гази билан ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини бошқариш тизимини синтез қилиш натижаси асосида:

ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнининг бошқариш тизимини компьютерли моделлари ва оптимал параметрларни топиш алгоритми асосида яратилган дастурий мажмуа «Жондор озиқ-овқат савдо» МЧЖда жорий этилган («Ўзғёмойсаноат» уюшмасининг 2020 йил 29 августдаги АА/3-932-сон маълумотномаси). Натижада, ўсимлик ёғи концентрация характеристикаларини ошириш имконини берган;

сиқилган карбонат ангидрид гази билан ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнининг оптимал бошқариш тизимини синтезлаш

алгоритмлари «Ванғози Агро Экспорт» МЧЖда жорий этилган («Ўзёғмойсаноат» уюшмасининг 2020 йил 29 августдаги АА/3-932 сон маълумотномаси). Натижада, жараённинг технологик параметрларини юқори аниқликда бошқаришни ташкил этиш имконини берган;

ингредиентлар олиш жараёнининг технологик параметрларини синтезланган кўп боғлиқли рақамли бошқариш тизими Россиянинг «НПП Плазма К» МЧЖда жорий этилди (Россиянинг «НПП Плазма К» МЧЖнинг 2019 йил 26 декабрдаги жорий этиш далолатномаси). Натижада, кўп энергия талаб этадиган технологик жараёнларни олиб боришда энергия тежамкорликка эришилган.

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

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола, жумладан, 6 таси хорижий журналларда нашр қилинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 117 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ўсимлик хомашёларини экстракциялаш жараёнини бошқаришнинг замонавий ҳолати**» деб номланган биринчи бобида ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини бошқариш тизимини яратиш ҳолати ва ривожланиш тенденциясининг тизимли таҳлили келтирилган.

Сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёни самарадорлигига қуйидаги параметрлар ҳал қилувчи аҳамият касб этади: экстрагентнинг қовушқоқлиги, ҳарорати ва босими, хомашёнинг ғоваклилиги ва сочилувчанлиги, экстракцияланадиган материалнинг майдаланиш даражаси, фазаларни ажратиш юзалари ва бошқа омиллар.

Бошқариш объекти сифатида ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини таҳлил қилиш асосида жараённи бошқаришнинг самарали тизимларини яратиш учун асос бўладиган, концептуал модел кўринишида тасвирланган, кўриб чиқиладиган жараёнга таъсир қилувчи асосий омиллар

аниқланган.

Ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини бошқаришнинг самарадорлиги энергия ва ресурс харажатларини минималлаштириш орқали мақсадли маҳсулотни концентрацияси максималлигини таъминловчи бошқариладиган параметрларини топиш орқали шакллантирилади.

Ишда ушбу муаммони ечиш учун дастлабки маълумотлар асосида технологик жараённинг ҳозирги ҳолатини баҳоловчи ва белгиланган мақсадга мувофиқ жараённи бошқаришни шакллантиришга имкон берувчи икки қатламли бошқариш тизими таклиф этилган. Бунда, юқори қатламда, агрегатнинг оптимал ишлаш режимларини аниқлаш масаласи жараённинг статик-математик модели (статик режим) асосида ҳал қилинади, пастки қатламда эса берилган иш режимини қўллаб-қувватловчи технологик параметрларни барқарорлаштириш муаммолари ечилади.

У ҳолда технологик объектни оптимал бошқариш масаласи қуйидагича шакллантирилади: шундай u_1, u_2, \dots, u_n бошқариш таъсирларини топиш керакки, $y = f(x_i, u_i)$ кириш ва чиқиш ўзгарувчилари орасидаги боғлиқларни инобатга олган ҳолда, $x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}, y_{i\min} \leq y_i \leq y_{i\max}, u_{i\min} \leq u_i \leq u_{i\max}$ технологик чекловлар бажарилганда, у ўсимлик ёғи концентрациясини максимум таъминласин:
$$\max_{u, y, x} \Phi = \phi(x_i, y_i, u_i).$$

Бошқаришнинг қуйи қатламида технологик параметрларни барқарорлаштириш $y_i = x_k, x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}, y_{i\min} \leq y_i \leq y_{i\max}, i = 1, 2, \dots, n;$ бўлганда, оптимал бошқариш таъсирларини топиш масаласи $\max_{x, y} \sum_i \phi(x_i, y_i)$ мезони бўйича ечиш орқали амалга оширилади.

Бундай тизим реал жараённи етарли даражада ифодаловчи экстракция жараёнининг математик модели асосида амалга оширилиши мумкин.

Диссертациянинг «**Экстракциялаш жараёнини моделлаштириш ва оптималлаштириш алгоритмлари**» деб номланган иккинчи боби экстракция жараёнининг математик моделини ишлаб чиқишга бағишланган.

Экстракциялаш технологик жараёнининг асосий хусусиятларидан бири, эрувчи модда заррачанинг ҳар бир квазикатламидан чиқувчи ўртача концентрациясининг ўзгаришини характерловчи қаттиқ фазадан суюқ фазага ўтиши билан боғлиқ модда алмашиниш жараёнларининг детерминант-стохастик табиати ҳисобланади.

Юқоридагиларни инобатга олиб, баргсимон шаклда майдаланган заррачанинг ички ва ўрта квазикатламларда, шунингдек, экстрагент билан бевосита боғлиқ бўлган квазикатламларда модда алмашиниш жараёнининг математик модели шакллантирилди. Ёғли хомашёнинг қаттиқ фазадаги миқдори (G_0) ва унинг таркибидаги ёғ миқдори билан шрот миқдори ($G_{ш}$) ва шротдаги қолдиқ ёғ миқдори орасидаги фарқнинг тенглигини тасдиқлайдиган экстракциядаги модда алмашиниш жараёнининг моддий баланс тенгламаси қуйидаги кўринишда тасвирланади:

$$G_0 - G_0 \cdot a_0 = G_{ш} - G_{ш} \cdot a,$$

бу ерда a_0 – хомашёнинг бошланғич ёғлилиги; a – шротнинг ёғлилиги.

У ҳолда, суюқ фазага ўтадиган ёғ миқдори (G_m) хомашё ёғ миқдори билан шрот миқдори орасидаги фарқ билан аниқланади:

$$G_m = G_0 \cdot a_0 - G_{ш} \cdot a \text{ ёки } G_m = G_0 \cdot a_0 - G_0 \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a.$$

Экстракция жараёнининг моддий баланс тенгламасига мувофиқ, «қаттиқ тана-суюқлик» фаза тизимида экстрагент таркибидаги ёғ концентрациясининг ўзгариши қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{V\rho} (Ly_0 - Ly + G_m),$$

бу ерда L , V ва ρ – суюқ фазадаги экстрагентнинг миқдори, ҳажми ва зичлиги; y – мисцелла таркибидаги ёғ концентрацияси; y_0 – экстрагент таркибидаги бошланғич концентрация.

Карбонат ангидрид экстрагент сифатида ишлатилганлиги сабабли, унинг масса миқдори қуйидагича аниқланади: $L = L_0 \cdot \frac{1 - y_0}{1 - y}$, бу ерда L_0 – экстрактнинг бошланғич қиймати;

Натижада суюқ фазада ёғ концентрацияси ўзгаришининг математик ифодасини оламиз:

$$\frac{dy}{dt} \cdot m = L_0 \cdot \left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_m = L_0 \cdot \left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_0 \cdot \left(a_0 - \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a \right),$$

бу ерда m – ёғнинг массаси.

Лаплас алмаштиришини қўллаб, қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$y \cdot m = \frac{1}{P} \cdot \left[L_0 \cdot \left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_m \right] = \frac{L_0}{P} \cdot \left[\left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_0 \cdot \left(a_0 - \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a \right) \right].$$

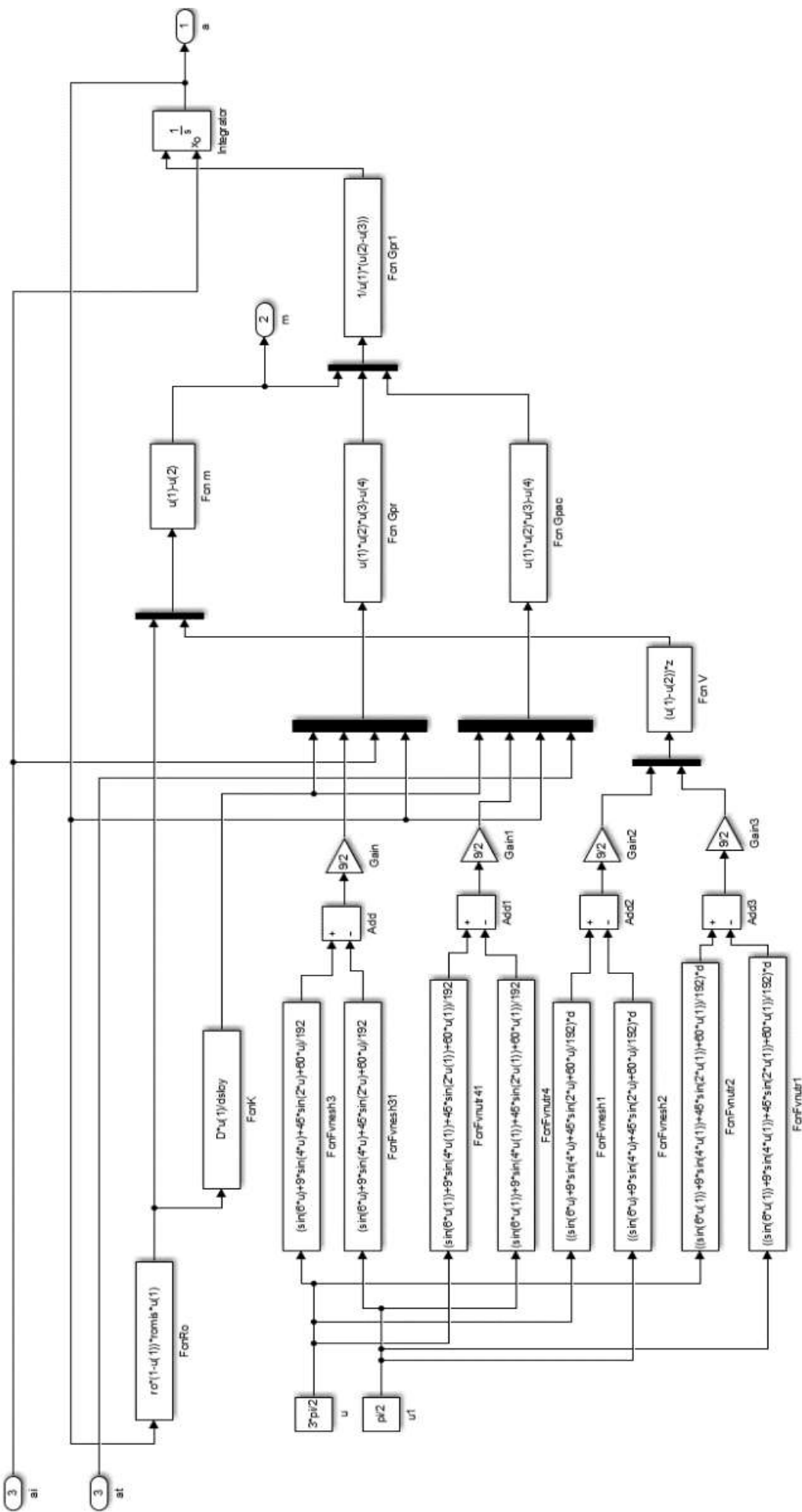
Статик режимда суюқ фазадаги концентрация қуйидагича аниқланади:

$$y = \frac{L_0 y_0 + G_m}{G_m + L}.$$

Ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёни ички хусусиятларини таҳлил қилиш учун хомашё заррачалари ўрта квазикатламининг компьютер модели ишлаб чиқилди (1-расм). Экстракция жараёнининг критик қийматларини аниқлаш учун дастлабки маълумот сифатида экстрагент карбонат ангидрид газининг босими ва унинг ҳароратини рухсат этилган чегаравий қийматлари олинди.

Тажриба натижасида диффузия коэффициентининг модда ўтказувчанлик тезлигига таъсири аниқланди. Тажриба шуни кўрсатдики, диффузия коэффициенти $D = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ бўлганда, экстракциялаш 600 сек давом этади, экстракция жараёнидан сўнг, хомашёнинг ёғлилиги 15 % дан 3 % гача камайиши (2а-расм кўк чизик) ва мисцелла концентрациясининг ошиши кузатилди (2а-расм қизил чизик).

Экспериментни режалаштириш усулидан фойдаланиб, сиқилган карбонат ангидрид газининг билан ўсимлик хомашёларини экстракциялаш жараёнининг статистик-математик модели яратилди.



1-расм. Таркибида ёғ сакловчи материал ўрта квазиқатламнинг компьютер модели.

Натижада регрессия тенгламаси қуйидаги кўринишда олинди:

$$y = 8,28 + 0,09x_1 - 0,08x_2 + 0,16x_3 + 0,09x_1^2 + 0,09x_2^2 + 0,19x_3^2 - 0,10x_2x_3.$$

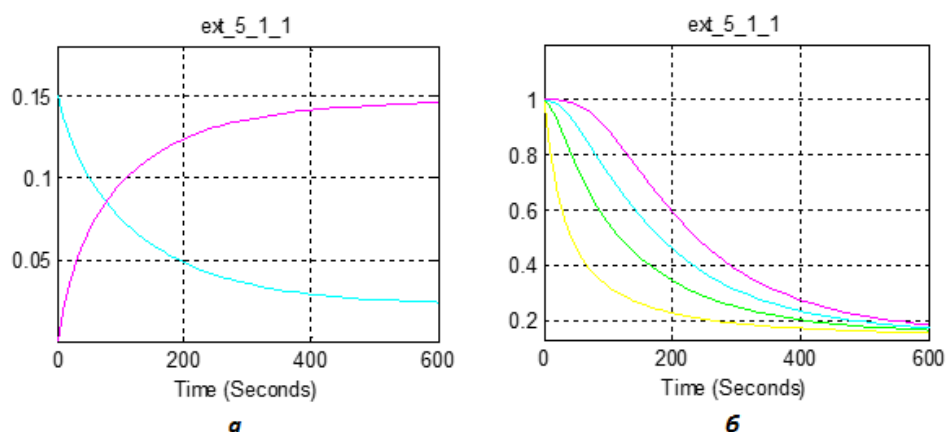
Оптимал қийматларни аниқлаш учун оптималлаштириш масаласининг математик ифодаси қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$y=f(x_1; x_3) \rightarrow \max. \quad 6,5\text{МПа} \leq x_1 \leq 7,5\text{МПа}, \quad 30^\circ\text{C} \leq x_3 \leq 35^\circ\text{C}.$$

бу ерда x_1 – экстрактордаги босим, x_2 – экстрактордаги ҳарорат.

Бошқариладиган параметрларнинг оптимал қийматларини топиш учун, бизнинг ҳолатда экстракторнинг киришига бериладиган экстрагентнинг босими ва ҳарорати, доимий-ўзгарувчан қадамли модификацияланган сипмплекс режалаштириш усулини қўллаган ҳолда оптималлаштиришни топиш алгоритми яратилди. Натижада босим $P=7,25\text{МПа}$, ҳарорат $T=32^\circ\text{C}$ нинг оптимал қийматлари топилди.

Ишлаб чиқилган қидириш алгоритмини ишлаб чиқаришнинг турли шароитларида агрегатнинг оптимал иш режимларини аниқлаш масалаларини ечиш учун қўллаш мумкин.



2-расм. Диффузия коэффициент $D=4,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ бўлганда, қаттиқ ва суюқ фазаларда ёғ концентрациясининг ўзгариши (а) ва квазикатламларда ёғ концентрациясининг пасайиши (б) графиклари

Диссертациянинг «**Экстракция жараёнининг автоматик бошқариш тизимини синтезлаш**» деб номланган учинчи бобида бевосита технологик параметрларни бошқариб туриб, юқори қатламдаги оптимал топшириқларни амалга оширувчи ўзаро боғлиқ локал бошқариш тизимлари тўпламларини ўзида акс эттирувчи экстракция технологик жараёнини бошқаришнинг қуйи қатламини синтезлаш масаласи ечилган.

Юқорида келтирилган фикрлар асосида ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнининг технологик параметрларини рақамли кўп боғлиқли бошқариш тизими ишлаб чиқилди (3-расм).

Яратилган бошқариш тизимида экстракциялаш жараёнини параметрларининг ўзаро боғлиқлиги тизимнинг турғунлигини таъминлаш ва унга зарурий динамик хусусиятларни бериш масаласини мураккаблаштиради. Бундай ҳолларда объектнинг узатиш каналларини ўзаро боғлиқлигини компенсациялаш зарурияти туғилади. Бошқариш канали автономлигини

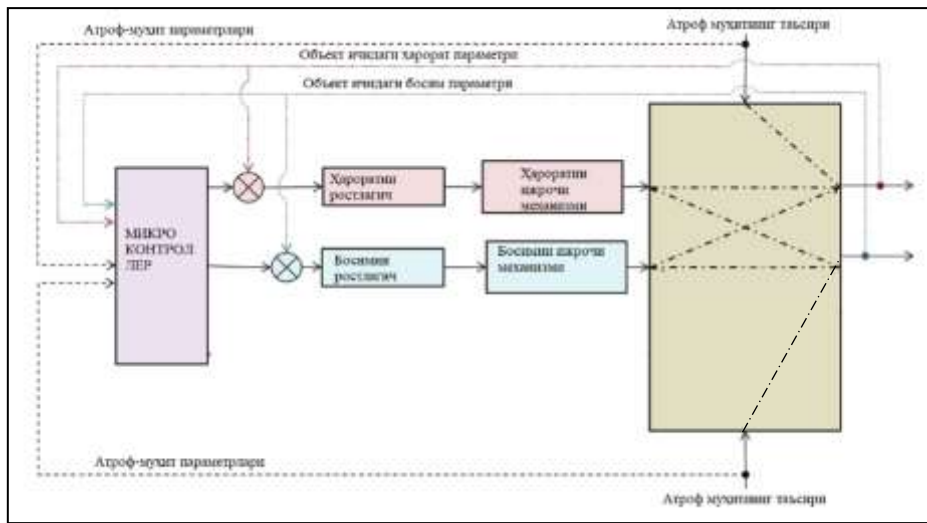
таъминлаш тизим таркибига кесишиш алоқа каналларининг ўзаро таъсирини камайтириш имконини берувчи компенсатор қурилмаларини киритиш орқали амалга оширилади.

Бунда $W_k(p)$ компенсатор ва $W_p(p)$ ростлагичнинг узатиш функцияларининг матрицали ифодасини инобатга олган ҳолда, берк тизимнинг узатиш функциялари матрицаси қуйидагича ифодаланади:

$$\bar{y} = (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u \cdot y^3,$$

бу ерда I -бирлик матрица, $r \times r$, y^3 -ҳар бир бошқариш канали учун топшириқ.

Алоқа каналининг автономлик шарти $(I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)$ матрица –диагонал бўлганда таъминланади. Маълумки, I -диагонал матрица, шунинг учун $(W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)$ ифода ҳам диагонал матрица бўлади: $R = W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u$, бу ерда R -диагонал матрица, $r \times r$, $diag[R] = diag[W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u]$.



3-расм. Экстракция жараёнини автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси

W_p^u -узатиш функцияси диагонал матрица бўлганлиги сабабли, агар $(W_o^u \cdot W_k^u)$ ифода ҳам диагонал матрица бўлса, R матрица ҳам диагонал матрица бўлади. Ушбу икки матрицани кўпайтириб, қуйидаги матрицага эга бўламиз:

$$W_o^u \cdot W_k^u = \begin{bmatrix} W_o^{u[1][1]}(z) + \sum_{i=2}^r W_o^{u[i][1]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) & \dots & W_o^{u[r][1]}(z) + \sum_{i=2}^{r-1} W_o^{u[i][1]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) \\ W_o^{u[1][2]}(z) + \sum_{i=2}^r W_o^{u[i][2]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) & \dots & W_o^{u[r][2]}(z) + \sum_{i=2}^{r-1} W_o^{u[i][2]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ W_o^{u[1][r]}(z) + \sum_{i=2}^r W_o^{u[i][r]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) & \dots & W_o^{u[r][r]}(z) + \sum_{i=2}^{r-1} W_o^{u[i][r]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) \end{bmatrix}$$

Кўпайтмадан ҳосил бўлган матрицанинг диагонал бўлмаган элементларини нолга тенглаштириб, қуйидаги тенгламага келинади:

$$W_o^u \cdot W_k^u + W_o^{uu} = 0,$$

$$W_o^u = \begin{bmatrix} W_o^{u[1]} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & W_o^{u[r]} \end{bmatrix}; W_k^u = \begin{bmatrix} W_k^{u[1]} \\ \vdots \\ W_k^{u[r]} \end{bmatrix}; W_o^{uu} = \begin{bmatrix} W_o^{uu[1]} \\ \vdots \\ W_o^{uu[r]} \end{bmatrix},$$

бу ерда $W_o^{u[1]} - W_o^u$ матрицанинг i -қатори ва i -устунини ўчиришдан ҳосил бўладиган диагонал матрица; $W_k^{u[1]} - W_k^u$ матрицанинг i -устунидан i -қаторни ўчиришдан ҳосил бўладиган вектор; $W_o^{uu[1]} - W_o^u$ матрицанинг i -устунидан i -қаторни ўчиришдан ҳосил бўладиган вектор.

Агар $W_o^u \neq 0$ бўлса, бу тенглама ягона ечимга эга бўлади: $W_k^u = (W_o^u)^{-1} \cdot W_o^{uu}$.

Бунда динамик компенсаторнинг матрицали узатиш функцияси қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$W_k(p) = W_o^{-1}(p) \text{diag} W_o(p).$$

Бир ўлчамли тизимлар назарияси усуллари қўллаб, олинган берк бошқариш тизимининг диагонал узатиш матрицасидан фойдаланган ҳолда, ҳар бир бошқариш канали бўйича ростлагичнинг узатиш функциясини топиш мумкин.

Олинган тенгламалар асосида компенсаторнинг структураси ва параметрларини аниқлаш учун турли хил тузилишга эга кўп боғлиқли рақамли бошқариш тизимининг юқори тезкорлик ва аниқлигини таъминлаш учун тизимнинг бошқариш қисмини сошлаш параметрларини топишнинг алгоритми ишлаб чиқилди. Бу эса қўйилган масалани ечишни автоматлаштиришнинг имконини беради.

Рақамли ростлагичларни сошлаш параметрларининг оптимал қийматларини топиш жараёни берк кўп боғлиқли компьютерли бошқариш тизимининг ўтиш жараёнларини ҳисоблашдан бошланади.

Берк кўп боғлиқли компьютерли бошқариш тизимининг ўтиш жараёнларини ҳисоблаш фарқ тенгламалари ёрдамида объектнинг асосий ва кесишиш алоқаларини инобатга олган ҳолда қуйидагича ҳисобланади:

$$E_1 = Y_1^3 - Y_1, U_1 = \theta^u \cdot \sigma^u, U_1 = I^u \cdot U_1^u, \theta_1^u = \theta_{o1}^u \cdot \sigma_{o1}^u, Y_1^u = I_{o1}^u \cdot Y_1^u,$$

бу ерда U_1^u, E_1, Y_1^3 - мос ҳолда, бошқарувчи таъсир қийматлари вектори, бошқариш хатоликлари вектори, топшириқ векторлари;

$$\theta^{[m,l]} = \begin{cases} \left[u_{i-1}^{[m,l]}, \dots, u_{i-n^{u[m,l]}}^{[m,l]}, u_{l-d^{u[m,l]}}^{[m,l]}, \dots, u_{i-k^{u[m,l]}-d^{u[m,l]}}^{[m,m]} \right], m \neq l \\ \left[u_{i-1}^{[m,l]}, \dots, u_{i-n^{u[m,l]}}^{[m,l]}, e_i^{[m]}, \dots, e_{i-k^{u[m,m]}}^{[m,l]} \right], m = l \end{cases} \quad \text{-ростлагичнинг}$$

$\sigma^{[m,l]} = \left[g_1^{[m,l]}, \dots, g_{n^{u[m,l]}}^{[m,l]}, r_0^{[m,l]}, \dots, r_{k^{u[m,l]}}^{[m,l]} \right]^T$ созланувчи параметрларини ўзида акс эттирган

ростлагичнинг ҳолат ўзгарувчиларининг қиймати; $U_1 = \left[u_i^{[1]}, \dots, u_i^{[r]} \right]^T$ - бошқарувчи таъсирларнинг оптимал қийматлари; $I = I_{o1} = I_o$ - йиғинди матрицаси; $Y_1^u = Y^u$ - алоқа канали чиқиш қиймати; $\theta_{o1} = \theta_o$ - алоқа канали ҳолат ўзгарувчиларининг матрицали кўриниши; $\sigma_{o1} = \sigma_o$ - алоқа модели канал параметрлари; $Y_1 = Y$ - бошқариш объекти чиқиш вектори.

Бошқариш тизимини синтезлашда оптимал бошқариш таъсирларини аниқлаш учун ўтиш жараёнлари сифати мезони сифатида ростлагичларни сошлашда қиймати минималлаштириладиган бошқаришнинг квадратидан фойдаланилган:

$$F = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{L+J} U_j^2(i) \rightarrow \min; (j = \overline{1, M}; i = \overline{1, J}).$$

Тезкорлик мезонига мувофиқ экстракция жараёнининг оптимал бошқариш таъсирларини қидиришда N - интерваллар теоремасига мувофиқ минимал миқдордаги ўтиш тактлари қуйидагича аниқланади:

$$L = \text{Int} \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P_{ij} / M + 0.5 \right\},$$

бу ерда P_{ij} – бошқариш объектининг j - кириш, i -чиқиш канали бўйича узатиш функциясининг (дифференциал тенгламанинг) тартиби; M – чиқишлар сони; N – киришлар сони.

Бошқариш объектининг зарурий ҳолати қуйидаги шарт билан аниқланади:

$$Y_i(L+K) = G_i(L+K) - Y_i^*(L+K), i = \overline{1, N}; K = 0, \tilde{N}_i,$$

бу ерда $Y_i^*(L+K)$ – i -чиқиш ўзгарувчининг башоратловчи қиймати, $G_i(L+K)$ – i -чиқиш ўзгарувчининг зарурий қиймати.

Нолинчи бошланғич шартларда ушбу боғлиқликлар қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Y_i(L+K) = \sum_{j=1}^M \sum_{m=1}^L U_j(m) * \omega_{ij}((L+K-m+1)*T), i = \overline{1, N}; K = 0, C_i,$$

бу ерда T – бошқарувчи сигнални дискретлаш даври; C_i – i -чиқиш ўзгарувчини қайд қилиш тактларининг сони; $\omega((L-K)T)$ – $L-K$ тактдаги вазн функцияси (T - давомийли импульсли таъсирга жавоби).

Жараённинг динамик моделларига асосланиб, оптималлик шартларини инобатга олган ҳолда, энг кичик квадратлар усулидан фойдаланиб, чизиқли алгебраик тенгламалар системасини оламит:

$$[\omega_{ij}(L+K-m+1)] * U_j(m) = G_i(L+K) - Y_i^*(L+K).$$

Чизиқли тенгламалар системасини ечиб, башоратланувчи хатолар чизиқли комбинацияси кўринишидаги бошқариш таъсирларининг изланаётган

қийматларини топамиз: $U_j(m) = \sum_{i=1}^N \sum_{K=0}^{C_i} R_{im} \left(\sum_{s=1}^{i-1} C_s + K \right) * E_i(L+K)$, бу ерда R_{im} – $W(p)^{-1}$

матрицанинг қатор вектори

Шундай қилиб, рақамли ростлагичнинг узатиш функцияси қуйидаги формула билан аниқланади:

$$D(z) = \frac{U(z)}{e(z)} = \sum_{j=0}^n K_j e(jT) z^{-j} / \sum_{j=0}^n e(jT) z^{-j},$$

бу ерда K_j – j -бошқариш тактидаги кучайтириш коэффициенти.

Ушбу ишда кўп боғлиқли рақамли бошқариш қурилмалари ростлагичларининг созланувчи оптимал параметрларини аниқлаш учун векторли оптималлаштириш билан ифодаланган берилган мезонга мувофиқ микроконтроллер томонидан ишлаб чиқариладиган импульсли бошқариш таъсирларининг давомийлигини инобатга олган ҳолда юқори самарали ҳисоблаш алгоритми таклиф қилинган.

Яратилган экстракция жараёнини рақамли бошқариш тизимини функционаллигини таҳлили шуни кўрсатдики, юқори тезкорликка эга, ростлаш ва ўлчаш хатоликларининг носезгирлигига эга.

Диссертация ишининг «**Экстракциялаш жараёнини бошқариш**» дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш ва тадбиқ қилиш» деб номланган тўртинчи бобида ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнининг технологик параметрларини компьютерли бошқариш тизимларини синтез қилиш учун яратилган модел ва алгоритмларни амалий тадбиқи натижалари келтирилган. Экстракция жараёнининг оптимал технологик режимини танлаш учун куйидаги ўзгарувчилар ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнини тавсифловчи асосий омиллар сифатида қаралди:

1. y_1, y_2 -бошқарувчи ўзгарувчилар, бу ерда y_1 -CO₂ газининг сарфи, y_2 -иссиқлик агентининг сарфи.
2. y_1, y_2 -бошқарилувчи параметрлар, бу ерда мисцелладаги концентрацияга билвосита таъсир кўрсатувчи y_1 - CO₂ газининг босими, y_2 - CO₂ ҳарорати.

Узум уруғларини экстракциялаш учун экспериментал маълумотларга асосланиб, узатиш функцияси шаклида ифодаланган динамик хусусиятлар аниқланди.

$$W(P) = \begin{bmatrix} \frac{0,15}{20,5p+1} & \frac{0,6}{25,7p+1} \\ \frac{1,8}{40,2p+1} & \frac{0,12}{37,8p+1} \end{bmatrix}.$$

Компенсацияловчи қурилмалар ва рақамли ростлагичларнинг узатиш функциялари аниқлаш усулларини қўллаб, уларнинг матрицали узатиш функциялари топилди:

Компенсатор учун:

$$W^k(p) = \frac{1}{18,6p^2 + 9,11p + 0,27} \cdot \begin{bmatrix} 136,7p^2 + 28,7p + 0,09 \\ 113,6p^2 + 39,9p + 1,9 \end{bmatrix}.$$

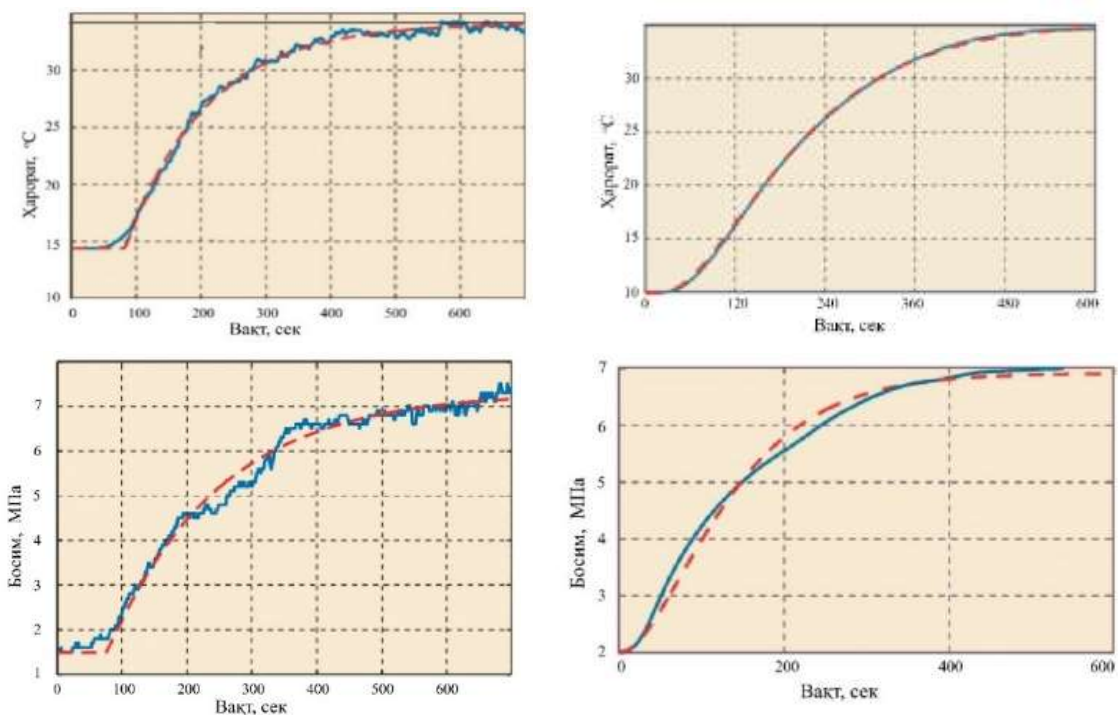
Рақамли ростлагич учун:

$$D_1(z) = \frac{28.873967411379 \times (z^2 - 1.8839992141678 \times z + 0.89335955825975)}{(z-1) \times (z + 0.49060171058447)},$$

$$D_2(z) = \frac{29.911715589623 \times (z^2 - 1.7804034877349 \times z + 0.7971193460581)}{(z-1) \times (z + 0.48110850223935)}.$$

Ушбу элементларнинг узатиш функцияларини қўйиб, Simulink/Matlab ёрдамида бошқариш тизими моделлаштирилди. Ўтиш жараёнларининг графиги 4-расмда кўрсатилган.

4-расмдан кўриниб турибдики, ишлаб чиқилган бошқариш тизими кўриб чиқилаётган жараён учун етарли аниқликка, объектдаги кечикиш вақти мавжуд бўлганда динамик бошқариш жараёнларининг қониқарли сифатига эга. Олинган ўтиш жараёнлари берилган таъсирга жавоб қайтаришда кичик ростлаш вақтини кўрсатди. Кейинги ростлаш вақтини камайтириш жараёни инерцион кўринишдалиги ва бошқариш таъсирларининг чекланганлиги учун қийинчилик туғдиради.



4-расм. Оптимал бошқариш тизимининг ўтиш жараёнлари

Лаборатория қурилмасига ўсимлик хомашёларини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнининг технологик параметрларини кўп боғлиқли компьютерли бошқариш тизимини муҳандислик тадбиқи мақсадида ушбу бобда технологик жараён параметрларини автоматик барқарорлаштириш тизимлари ва ускуналарнинг ишлаш режимларини оператив бошқариш тизими, ҳамда жараённи автоматик мониторинги учун визуализациялаш тизимининг умумлашган функционал-технологик схемаси ишлаб чиқилган.

Шу билан бирга бошқариш объекти сифатида асосий ва ёрдамчи қурилмалар тўплами: Arduino UNO микроконтроллери, энергия, материал ва хомашё берилишига мўлжалланган клапанлар ҳолатини бошқариш учун ростланувчи органлар олинди.

Ишлаб чиқилган ўсимлик хомашёларини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнининг компьютерли бошқариш тизими қуйидаги масалаларни ечиш имконини беради:

- технологик жараён ҳолатини характерловчи ўзгарувчиларнинг жорий қийматлари ҳақида ахборот олиш;

- жараённинг ростланувчи органга бевосита таъсир кўрсатувчи технологик параметрларини барқарорлаштиришни таъминлаш.

Экстракция жараёнини компьютерли бошқариш тизими бир нечта осттизимлардан иборат: технологик агрегатлар иш режимларини оператив бошқариш осттизими; технологик жараённинг параметрларини барқарорлаштирувчи осттизим; бошқарувчи таъсирларни амалга оширувчи осттизим.

Яратилган экстракция жараёнини компьютерли бошқариш тизими уч қатламли структурага эга:

Бошқаришнинг қуйи қатламида қуйидаги операциялар бажарилади:

- экстракция жараёнининг технологик ҳолати ҳақида маълумотлар йиғиш;
- агрегатнинг ростланувчи органларига бошқарувчи сигналларни ишлаб чиқиш;

Бошқариш тизимининг ўрта қатламида қуйидаги функциялар бажарилади:

- танлаб олинган мезонлар бўйича ростлаш қонунларининг оптимал параметрларини ҳисоблаш;
- бошқариш каналлари учун топшириқларни ишлаб чиқиш;
- технологик агрегатнинг белгиланган иш режимини таъминлаш.

Бошқаришнинг юқори қатлами қуйидаги функцияларни бажариш учун мўлжалланган:

- микроконтроллерни созлаш, конфигурациялаш ва дастурлаш;
- ишлаб чиқариш ҳолатлари тўғрисида далолатномалар тузиш ва ҳисоботларни шакллантириш;
- экстракция жараёнини реал вақт режимида акс эттириш.

Ишлаб чиқилган рақамли бошқариш тизимини синтезлаш моделлари ва алгоритмлар асосида лаборатория қурилмаси яратилди (Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлиги, Фойдали моделга патент. № FAP 01250, 31.10.2017 йил). Унинг таркиби қуйидагилардан иборат: технологик жараённинг бориши ҳақида дастлабки ахборотларни етказиб берувчи интеллектуал датчиклар, асосий қурилма - экстрактор, ҳамда рақамли ахборотларни узатиш ва қайта ишлаш воситалари ва ҳ.к.

Бунда жараённи масофадан бошқаришга мўлжалланган микроконтроллер юқори қатламдаги ЭХМ билан Ethernet орқали уланиши мумкин.

Микроконтроллер учун дастурий таъминотни ишлаб чиқиш воситаси сифатида MatLAB+Embercadero Delphi+C++ ишлатилиб, Windows, Linux ва MacOS операцион тизимларда ишлашга мўлжалланган.

Технологик жараённи реал вақтда кузатиб бориш ва керак бўлган пайтда зарурий ўзгартиришни киритиш учун, Embercadero Delphiда инсон-машина интерфейси ишлаб чиқилди. Ушбу интерфейсда реал вақтда жараённинг бориши ва ижро этувчи механизмларнинг ҳолати тасвирланади.

Таклиф этилган моделлар ва алгоритмлар асосида яратилган бошқариш тизимини ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнига тадбиқи ишлаб чиқариш унумдорлигини ошириш ва мақсадли маҳсулотнинг йўқотилишини камайиши ҳисобига самарадорлигини таъминлашини кўрсатди.

ХУЛОСА

Диссертацияда тизимли таҳлил, бошқариш назарияси концепциялари асосида ўсимлик хомашёсини сиқилган карбонат ангидрид гази билан экстракциялаш жараёнининг бошқариш тизимини синтезлаш динамик моделлари ва алгоритмлари ишлаб чиқилган. Яқунда қуйидаги натижалар олинган:

1. Динамик объектларни бошқариш тизимларининг замонавий ҳолати ва ривожланиш тенденцияларини тизимли таҳлил қилиш амалга оширилди, жараённинг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда бошқариш самарадорлигини оширишга ёрдам берадиган йўналишлар белгиланди ва технологик объект-экстракторни икки қатламли бошқариш тизими структураси таклиф этилди.
2. Эрийдиган моддаларнинг ички қайта тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнининг ўта критик ҳолатини динамик математик моделини қуриш методикаси ишлаб чиқилган. Бу хомашёни майдалашнинг турли ўлчамларида экстракция жараёни динамикасининг қонуниятларини очиқ беришга имкон беради.
3. Ўсимлик хомашёсини экстракциялашнинг модда алмашиниш жараёнларининг кўп боғлиқли динамик математик ва компьютер модели ишлаб чиқилди, ишлаб чиқилган математик моделларнинг асосини ташкил этадиган чекловлар ва четланишлар аниқланди.
4. Жараён самарадорлигининг чегара кўрсаткичларини аниқлашга ва экстракторнинг оптимал иш параметрларини ҳисоблашга имкон берувчи экстракция жараёнининг статистик-математик модели ишлаб чиқилди.
5. Статистик-математик модел асосида экстракция жараёнини оптималлаштириш масаласи шакллантирилган ва доимий-ўзгарувчан қадамли симплекс режалаштириш усулини такомиллаштириш асосида оптимал технологик параметрларни топиш алгоритми ишлаб чиқилган.
6. Объектни берилган ҳолатга қисқа вақтда ўтишини таъминловчи модда алмашиниш жараёнини бошқариш учун рақамли ростлагичнинг структурасини ва оптимал параметрларини аниқлаш алгоритми ишлаб чиқилган.
7. Тезкорлик мезонига асосланган CO₂-экстрактор учун кўп ўлчовли рақамли бошқариш тизимини синтез қилиш алгоритмлари ишлаб чиқилган. Алгоритмлар турли хил ишлаб чиқариш шароитларида асосланган оптимал қарорларни қабул қилишга имкон беради.
8. CO₂-экстрактор параметрларини кўп ўлчовли рақамли бошқариш тизимининг функционал-алгоритмик структураси таклиф этилди, турли хил ишлаб чиқариш ҳолатлари (критик ҳолатдан олдин ва кейин) учун бошқариш алгоритмларини амалга ошириш натижалари тақдим этилди, бу эса ёғ концентрациясини 88,3% дан 91% гача ошириш ва ўсимлик хомашёсининг таркибий қисмларининг мақсадли маҳсулотлардан 6,5% дан 3,8% гача йўқолишини камайтиради.
9. Яратилган моделлаштириш алгоритмлари ва махсус дастурий таъминот мажмуаси реал объектларда жорий этилди. Бошқариш тизимини жорий этишдан олинган жами иқтисодий самарадорлик 196 миллион сўм атрофида ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ФАЙЗИЕВ ШАВКАТ ИСМАТОВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ЭКСТРАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
СЖИЖЕННЫМ УГЛЕКИСЛОМ ГАЗОМ**

**05.01.08- Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами**

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

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (Phd) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2020.4.PhD/T1093.

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель: Сидиков Исамиддин Хакимович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Касьянов Геннадий Иванович (Российская Федерация)
доктор технических наук, профессор

Исмаилов Мирхалил Агзамович
доктор технических наук, профессор




Ведущая организация: Ташкентский химико-технологический институт

Защита диссертации состоится «15» 06 2021 года в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №208 (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.)

Автореферат диссертации разослан «02» 06 2021 года.
(реестр протокола рассылки № 1 от «01» 02 2021 года)



Н.Р. Юсупбеков

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

У.Ф.Мамиров

Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии по техническим наукам (PhD)

Х.З.Игамбердиев

Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется повышению эффективности производства пищевой и фармацевтической промышленности на основе применения современных технологий и методов рационального использования веществ в сверхкритическом состоянии при экстракции растительного сырья, позволяющих сократить энерго- и ресурсозатраты. В этом направлении определенные успехи достигнуты в ведущих странах мира, где особое внимание было уделено совершенствованию методов управления технологическими процессами, обеспечивающих повышение эффективности производства и конкурентоспособности продукции.

В мире интенсивно ведутся научные исследования, направленные на разработку технологии и систем оптимального управления процессом экстракции с высокой концентрацией биологически активных веществ и с сохранением натуральных свойств исходного сырья, при использовании сверхкритических сжиженных углекислых газов. В связи с этим в фармацевтической, парфюмерной и пищевой промышленности особое значение приобретает разработка и усовершенствование цифровой системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом.

В республике принимаются меры по значительному увеличению экспортного потенциала и дальнейшему укреплению продовольственной безопасности за счет расширения производства экологически чистой продукции, что является одним из важнейших секторов экономики. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы, отмечен ряд задач: «...сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, повышение производительности труда в отраслях экономики, ...углубление структурных реформ и динамичное развитие сельскохозяйственного производства, дальнейшее укрепление продовольственной безопасности страны, расширение производства экологически чистой продукции, значительное повышение экспортного потенциала аграрного сектора, ... внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления»¹. В этом аспекте возникает острая необходимость разработке алгоритмы синтеза и моделирование системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом на основе современных технологических средств, способствующих повышению показателей качества управления.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» ПФ-4947 от февраля 2017 года.

Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлений Президента №ПП-4118 от 16 января 2019 года «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию масложировой отрасли и внедрению рыночных механизмов управления отраслью» и №ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также других нормативно-правовых документов, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологии республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение», IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий» и VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технических публикаций, связанных с разработкой методов и алгоритмов управления процессом экстракции растительного сырья в масложировой промышленности позволяет сделать вывод, о том что, достигнуты значительные теоретические и практические результаты в данной области. В данном направлении большой вклад внесли многие зарубежные ученые такие как: A.Abraham, R.A. Aliev, A.Allgöwer, Zhao Suwei, M.S. Diaz, Г.И. Касьянов, В.А. Бабеньков, М.В.Голубятникова, В.П. Мешалкин, Ф.И. Василев, О.И. Драчев, А.М.Абакумов, S. Malkin, A.A.Cardí, R.Bauer и др. В своей исследовательской работе они изучали вопросы совершенствования работы экстракторов, исследовали зависимость качества получаемого продукта от скорости массопереноса

Существенный научный вклад внесли в развитие теории и практики создания систем управления сложными технологическими объектами и процессами, такими как процессы экстракции с различными экстрагентами, ряд отечественных ученых: Т.Ф.Бекмуратов, Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, Х.З.Игамбердиев, Ш.М.Гулямов, М.А.Исмоилов, И.Х.Сиддиков, М.М.Мусаев, А.А.Гафуров и многие другие.

Вместе с тем, недостаточное внимание уделено вопросам создания моделей, алгоритмов и систем управления с учетом особенностей процесса экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом. В связи с этим возникает острая необходимость совершенствования и создания системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом с применением методов современного управления и достижений информационных технологий.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках следующих научных проектов Бухарского инженерно-технологического института по темам: №А-5-7 «Разработка и создание

информационно-коммуникационной системы управления процессом производства экстрактов из растительного сырья работающего под высоким давлением сжиженным газом» (2015-2017), №А-9-1 «Разработка ресурсосберегающей экологически чистой технологии производства ингредиентов из растительного сырья с применением сжиженного углекислого газа» (2015-2017).

Цель исследования заключается в разработке моделей и алгоритмов исследования цифровой системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом.

Задачи исследования:

системный анализ задачи управления процесса экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом;

разработка математической модели процесса экстракции растительного сырья сжиженным CO₂ газом в сверхкритическом состоянии с учетом внутреннего перераспределения растворяемых веществ;

разработка алгоритма синтеза системы оптимального управления технологическим процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом;

разработка специального программного комплекса исследования информационно-коммуникационной системы управления процессом экстракции.

Объектом исследования является система управления процесса экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы исследования системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использованы методы автоматического управления аналоговых и цифровых систем, имитационного моделирования, пространство параметров состояний, нелинейное программирование, оптимального дискретного управления, идентификации, численные методы решения дифференциальных уравнений.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана статистико-математическая модель процесса экстракции растительного сырья сверхкритическом сжиженным углекислым газом, отличающаяся от известных тем, что она позволяет определять предельные показатели эффективности процесса и рассчитывать оптимальные режимные параметры экстрактора;

разработан имитационно-оптимизационный алгоритм определения оптимальных значений технологических параметров процесса экстракции с высокой концентрацией получаемых ингредиентов, базирующийся на модифицированном методе симплексного планирования, и отличающийся от известных более высоким быстродействием и точностью вычисления;

разработан эффективный алгоритм оптимальной настройки параметров цифрового регулятора, компенсирующий перекрестные каналы и обеспечивающий желаемые свойства управления многомерным динамическим объектом;

впервые разработан алгоритм синтеза многомерной цифровой системы автоматического управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным CO₂ газом в сверхкритическом состоянии с учетом нестационарности процесса.

Практические результаты исследования заключаются в следующем: разработаны специальные программно-аппаратные средства автоматизированной системы управления технологическим процессом CO₂-экстракции;

разработана лабораторная установка, управляемая микроконтроллером, предназначенная для проведения исследований процесса экстракции растительного сырья с применением сжиженного углекислого газа, позволяющая получить качественно новые экстракты и масла из местного сырья.

Достоверность результатов исследования. Достоверность исследований обосновывается применением теоретически обоснованных концепций автоматического управления динамическими объектами и экспериментальных методов, требуемой степенью сходимости предложенных моделей и алгоритмов управления, применением апробированных методов современной теории управления, полученными результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в разработке математических динамических моделей и алгоритмов синтеза двухуровневой системы цифрового управления многосвязным динамическим объектом, позволяющих синтезировать более совершенные системы управления производственными объектами и принимать обоснованное управленческое решение.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке специального программно-аппаратного средства, позволяющего решать задачи моделирования и управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом, что дает возможность повысить эффективность производства за счет рационального использования растительного сырья при сохранении натурального качества целевой продукции.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов синтеза системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом внедрены:

Компьютерные модели и алгоритмы определения оптимальных параметров системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом внедрены на ООО «Жондор озик-овқат савдо» (Справка Ассоциации «Узёғмойсаноат» № АА/3-932 от 29 августа 2020 г.). В

результате повысилось качество концентрационных характеристик растительного масла;

алгоритмы синтеза оптимального управления процессом экстракции сжиженным углекислым газом внедрены на ООО «Ванғози Агро Экспорт» (Справка Ассоциации «Узёғмойсаноат» № АА/3-932 от 29 августа 2020 г.). В результате достигнута высокая точность управления технологическими параметрами процесса;

синтезированная многосвязанная цифровая система управления технологическими параметрами процесса получения ингредиентов внедрена на ООО «НПП Плазма К» (Акт внедрения Российский ООО «НПП Плазма К» от 26 декабря 2019 г.). В результате достигается уменьшение энергетических затрат на проведение энергоёмких технологических процессов.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 4 международных научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 10 журнальных статей, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе - 6 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Содержание диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность проведенного исследования, сформулированы цели и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние управления процессом экстракции растительного сырья»** проведен системный анализ современного состояния и тенденции развития разработок системы управления процессом экстракции растительного масла.

На эффективность процесса экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом решающее влияние имеют такие параметры, как вязкость, температура и давление экстрагента, пористость и порозность сырья, размер частиц (измельчение) экстрагируемого материала, поверхность раздела фаз, и другие.

На основе анализа процесса экстракции растительного сырья, как объекта управления, выделены основные факторы, существенно влияющие на рассматриваемый процесс, которые отражены в виде концептуальной модели,

являющейся основой создания эффективной системы управления процессом.

Эффективность управления процессом экстракции растительного сырья формулируется нахождением таких управляемых параметров, которые обеспечат максимум концентрации целевого продукта с минимизацией энерго- и ресурсозатрат.

В работе для решения этой задачи предложена двухуровневая система управления, позволяющая на основе первичных данных производить оценку текущего состояния технологического процесса и формировать управление в соответствии с поставленной целью. При этом на верхнем уровне решаются задачи определения оптимальных режимов работы агрегата на основе статическо-математической модели процесса (статический режим), а на нижнем уровне решаются задачи стабилизации технологических параметров, позволяющие поддержать заданный режим работы.

Таким образом задача оптимального управления технологическим объектом формулируется так: найти последовательность управляющих воздействий u_1, u_2, \dots, u_n , обеспечивающих максимум концентрации растительного масла: $\max_{u,y,x} \Phi = \phi(x_i, y_i, u_i)$, при выполнении технологических ограничений, с учетом связи между входными и выходными переменными $y_i = f(x_i, u_i)$, $x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}$, $y_{i\min} \leq y_i \leq y_{i\max}$, $u_{i\min} \leq u_i \leq u_{i\max}$.

Задача стабилизации технологических параметров на нижнем уровне управления обеспечивается нахождением оптимальных управляющих воздействий по критерию: $\max_{x,y} \sum_i \phi(x_i, y_i)$ при выполнении граничных условий

$$y_i = x_i, x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}, y_{i\min} \leq y_i \leq y_{i\max}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Такая система может быть реализована на основе математической модели процесса экстракции, адекватно представляющей реальный процесс.

Вторая глава диссертации «**Алгоритмы моделирования и оптимизация процесса экстракции**» посвящена разработке математической модели процесса экстракции.

Основным свойством технологического процесса экстракции является детерминантно-стохастическая природа массообменных процессов, связанная с переходом растворенного вещества из твердой фазы в жидкую, характеризующаяся изменением средней концентрации масла, выходящего из каждой квазислоев частицы.

С учетом этого сформулирована математическая модель массообменных процессов во внутренних, средних квазислоях лепесткообразной частицы и в квазислоях, непосредственно соприкасающихся с экстрагентом. Уравнения материального баланса массообменного процесса в экстракции, утверждающее равенство разницы между количеством твердой фазы масличного сырья (G_0) и количеством масла в его составе и разницы между количеством шрота ($G_{ш}$) и остаточного масла в шроте имеет следующий вид:

$$G_0 - G_0 \cdot a_0 = G_{ш} - G_{ш} \cdot a,$$

где a_0 – начальная масличность сырья, a – масличность шрота.

При этом количество масла (G_m), переходящего в жидкую фазу

определяется разностью между количеством масличного сырья и количеством шрота:

$$G_m = G_0 \cdot a_0 - G_m \cdot a \text{ или } G_m = G_0 \cdot a_0 - G_0 \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a.$$

Согласно уравнению материального баланса процесса экстракции, в системе фазы «твердое тело-жидкость» изменения концентрации масла в экстрагенте определяется по формуле:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{V\rho} (Ly_0 - Ly + G_m),$$

где L , V и ρ – количество, объем и плотность экстрагента в жидкой фазе; y – концентрация масла в мисцелле; y_0 – начальная концентрация в экстрагенте.

Так как в качестве экстрагента используется углекислый газ, то его масса определяется по формуле: $L = L_0 \cdot \frac{1 - y_0}{1 - y}$, где L_0 – начальное значение экстрагента.

В результате получим математическое описание изменения концентрации масла в жидкой фазе:

$$\frac{dy}{dt} \cdot m = L_0 \cdot \left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_m = L_0 \cdot \left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_0 \cdot \left(a_0 - \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a \right),$$

где m – масса масла.

Применяя преобразование Лапласа, получим:

$$y \cdot m = \frac{1}{P} \cdot \left[L_0 \cdot \left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_m \right] = \frac{L_0}{P} \cdot \left[\left(y_0 - \frac{1 - y_0}{1 - y} y \right) + G_0 \cdot \left(a_0 - \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a \right) \right].$$

В статическом режиме концентрация в жидкой фазе имеет вид:

$$y = \frac{L_0 y_0 + G_m}{G_m + L}.$$

Для анализа внутренних свойств процесса экстракции растительного сырья разработана компьютерная модель среднего квазислоя частицы сырья (рис.1). Для определения критических значений процесса экстракции в качестве исходных данных взяты предельно допустимые значения давления углекислого газа как экстрагента и его температуры.

В результате эксперимента определено влияние коэффициента диффузии на интенсивность массопереноса. Эксперимент показал, что при значении коэффициента диффузии $D = 4,5 \cdot 10^{-12}$ м²/с, продолжительность экстракции составляет 600 сек, при этом масличность сырья уменьшается с 15 % до 3 % (рис.2а. синяя линия), а концентрация мисцеллы увеличивается (рис.2а. красная линия).

Разработана статистико-математическая модель процесса экстракции растительного сырья со сжиженным углекислым газом с использованием метода планирования эксперимента, в результате которого получено уравнение регрессии в виде:

$$y = 8,28 + 0,09x_1 - 0,08x_2 + 0,16x_3 + 0,09x_1^2 + 0,09x_2^2 + 0,19x_3^2 - 0,10x_2x_3.$$

Для определения оптимальных значений сформулировано математическое описание задачи оптимизации в виде:

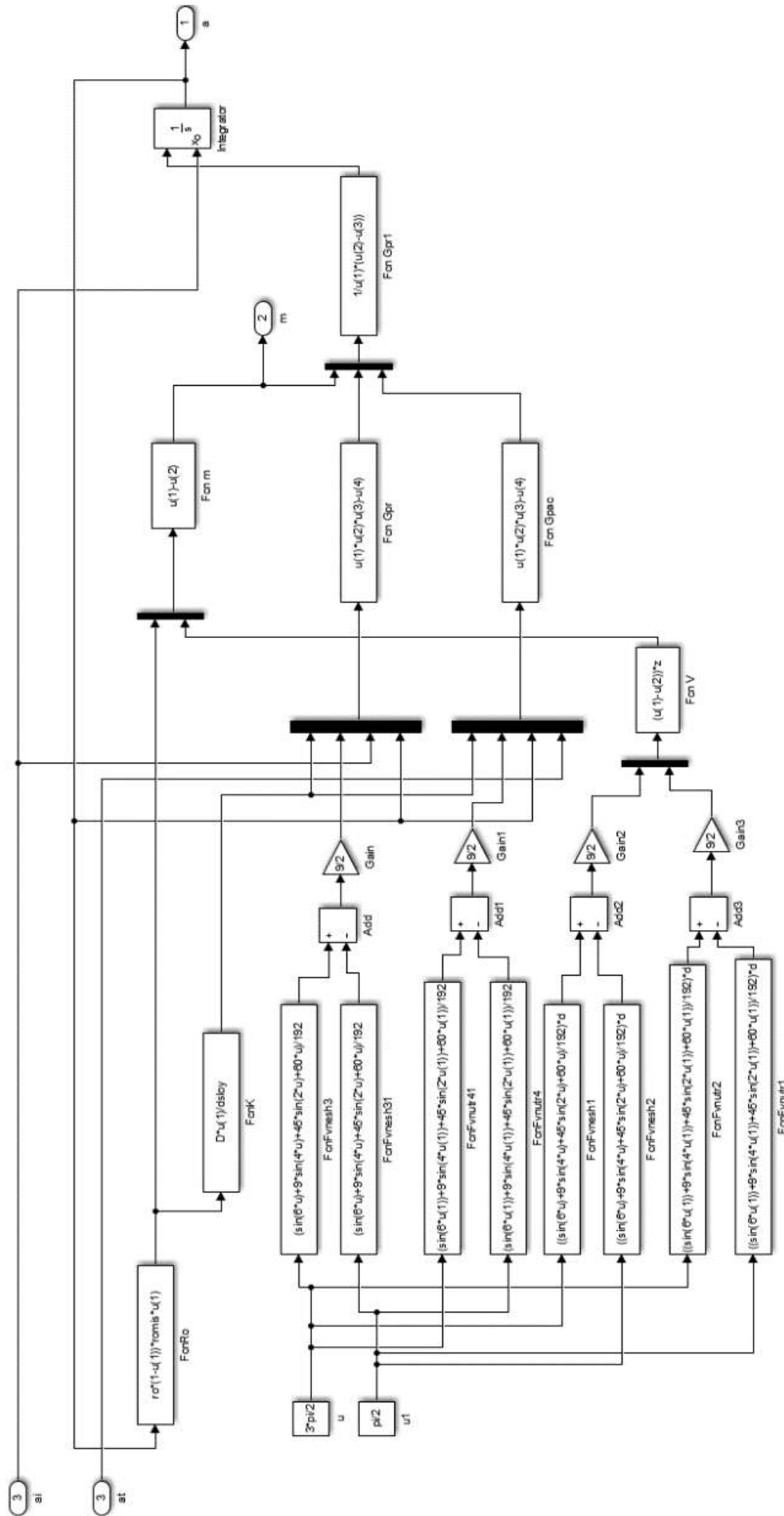


Рис.1. Компьютерная модель среднего квазислоя частицы маслодержащего материала

$$y=f(x_1; x_3) \rightarrow \max. \quad 6,5\text{МПа} \leq x_1 \leq 7,5\text{МПа}, \quad 30^\circ\text{C} \leq x_3 \leq 35^\circ\text{C},$$

где x_1 – давление в экстракторе, x_3 – температура в экстракторе.

Для поиска оптимальных значений управляемых параметров, в нашем случае давление и температура экстрагента, подаваемые на вход экстрактора, разработан алгоритм поиска оптимизации с применением модифицированного симплексного планирования с постоянно-переменным шагом. В результате найдены оптимальные значения давления $P=7,25$ МПа, температура $T=32^\circ\text{C}$ экстрагента.

Разработанный алгоритм поиска можно использовать для решения задачи определения оптимальных режимов работы технологического агрегата в различных производственных ситуациях.

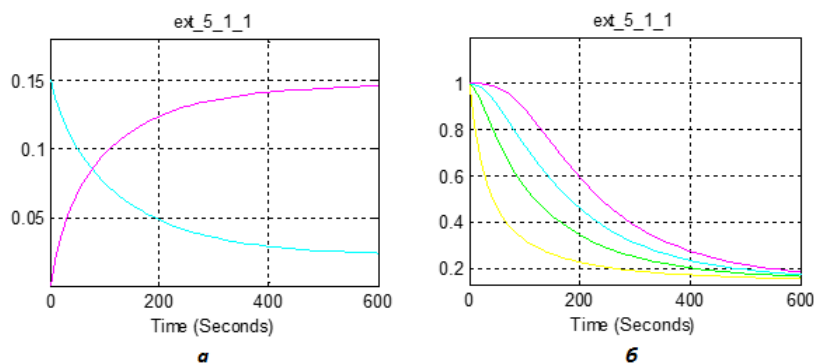


Рис.2. Изменение концентрации масла в твердой и жидкой фазах при коэффициенте диффузии $D=4,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ (а) и уменьшение концентрации масла в квазислоях (б).

В третьей главе диссертации «Синтез системы автоматического управления процессом экстракции» решена задача синтеза системы автоматического управления технологическим процессом экстракции, представляющая собой множество взаимосвязанных локальных систем управления, реализующих оптимальные уставки верхнего уровня, непосредственно управляя технологическими параметрами.

Разработана цифровая многосвязная система управления технологическими параметрами процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом (рис.3.).

При разработке системы управления процессом экстракции возникает необходимость компенсации взаимовлияния управляемых технологических параметров в окрестности оптимальных режимов работы агрегата. Это связано с тем, что наличие взаимосвязанности каналов передач существенно усложняет решение задачи обеспечения устойчивости и придание желаемых динамических свойств системой управления. В этом случае возникает необходимость компенсировать взаимовлияние перекрестных каналов связи, обеспечивая автономность контуров управления. Автономность каналов управления обеспечивается за счет ввода компенсирующих устройств, позволяющих уменьшить взаимовлияние перекрестных каналов связи.

В этом случае матрица передаточных функций замкнутой системы с учетом

матричных представлений передаточных функций компенсирующих устройств $W_k(p)$ и регуляторов $W_p(p)$ определяется следующим образом:

$$\bar{y} = (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u \cdot y^3,$$

где I -единичная матрица $r \times r$; y^3 – задания для каждого канала управления.

Условие автономности каналов связи обеспечивается при диагональности матрицы $(I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)$. Так как I -единично-диагональная матрица, то произведение $(W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)$ также будет диагональной: $R = W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u$, где R -диагональная матрица, $diag[R] = diag[W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u]$.

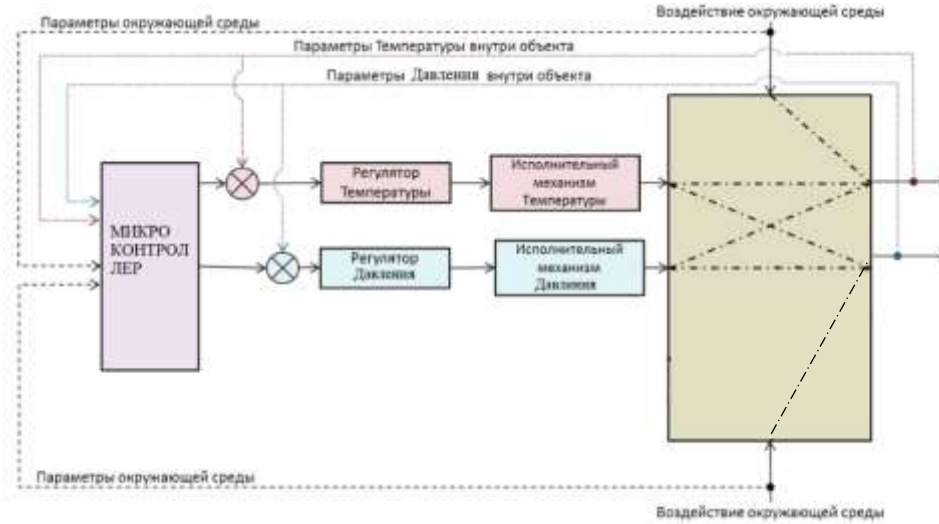


Рис.3. Функциональная схема системы автоматического управления процессом экстракции.

Передаточная функция W_p^u -диагональная матрица, в этом случае матрица R будет диагональной при условии, что произведение $(W_o^u \cdot W_k^u)$ также является диагональной матрицей. Умножая эти две матрицы, получим:

$$W_o^u \cdot W_k^u = \begin{bmatrix} W_o^{u[1][1]}(z) + \sum_{i=2}^r W_o^{u[i][1]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) & \dots & W_o^{u[r][1]}(z) + \sum_{i=2}^{r-1} W_o^{u[i][1]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) \\ W_o^{u[1][2]}(z) + \sum_{i=2}^r W_o^{u[i][2]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) & \dots & W_o^{u[r][2]}(z) + \sum_{i=2}^{r-1} W_o^{u[i][2]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ W_o^{u[1][r]}(z) + \sum_{i=2}^r W_o^{u[i][r]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) & \dots & W_o^{u[r][r]}(z) + \sum_{i=2}^{r-1} W_o^{u[i][r]}(z) \cdot W_k^{u[r][i]}(z) \end{bmatrix}.$$

Приравнивая к нулю недиагональные элементы перемноженной матрицы, получим:

$$W_o^u \cdot W_k^u + W_o^{uu} = 0, \\ W_o^u = \begin{bmatrix} W_o^{u[1]} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & W_o^{u[r]} \end{bmatrix}; W_k^u = \begin{bmatrix} W_k^{u[1]} \\ \vdots \\ W_k^{u[r]} \end{bmatrix}; W_o^{uu} = \begin{bmatrix} W_o^{uu[1]} \\ \vdots \\ W_o^{uu[r]} \end{bmatrix},$$

где $W_o^{u[1]}$ -диагональная матрица, элементы которой определяются вычеркиванием i -ой строки и i -го столбца матрицы W_o^u ; элементы вектора $W_k^{u[1]}$ получаются вычеркиванием из i -го столбца i -ой строки матрицы W_k^u ; элементы

вектора $W_o^{uu[1]}$, получаемого из i -го столбца, определяются вычеркиванием i -ой строки матрицы W_o^u .

При выполнении условия невырожденности матрицы W_o^u , уравнение имеет единственное решение: $W_k^u = (W_o^u)^{-1} \cdot W_o^{uu}$.

Тогда передаточная функция динамического компенсатора в матричном виде определяется по формуле:

$$W_k(p) = W_o^{-1}(p) \text{diag} W_o(p).$$

Применяя методы теории одномерных систем, можно найти передаточные функции регулятора по каждому каналу управления с использованием полученной диагональной передаточной матрицы замкнутой системы управления.

На основе полученных уравнений для определения структуры и параметров компенсаторов разработан алгоритм поиска настроечных параметров управляющей части многомерной цифровой системы управления, позволяющий обеспечить высокое быстродействие и точность многомерной цифровой системы управления. Это позволяет решить задачи автоматизации синтеза система управления.

Процесс нахождения оптимальных значений настроечных параметров цифровых регуляторов начинается с расчета переходных процессов замкнутой многомерной системы компьютерного управления.

Расчет переходных процессов замкнутой многосвязной системы цифрового управления осуществляется с учетом как основных, так и перекрестных связей объекта с помощью разностных уравнений в следующем виде:

$$E_1 = Y_1^3 - Y_1, U_1^u = \theta^u \cdot \sigma^u, U_1 = I^u \cdot U_1^u, \theta_1^u = \theta_{o1}^u \cdot \sigma_{o1}^u, Y_1 = I_{o1}^u \cdot Y_1^u,$$

где U_1^u, E_1, Y_1^3 - вектор значений управляющих воздействий, вектор ошибки управления, вектор заданий соответственно;

$$\theta^{[m,l]} = \begin{cases} \left[u_{i-1}^{[m,l]}, \dots, u_{i-n^{u[m,l]}}^{[m,l]}, u_{l-d^{u[m,l]}}^{[m,l]}, \dots, u_{i-k^{u[m,l]}-d^{u[m,l]}}^{[m,m]} \right], m \neq l \\ \left[u_{i-1}^{[m,l]}, \dots, u_{i-n^{u[m,l]}}^{[m,l]}, e_i^{[m]}, \dots, e_{i-k^{u[m,m]}}^{[m,l]} \right], m = l \end{cases} \quad \text{-значения переменных состояния}$$

регуляторов, включающие настроечные параметры регуляторов

$$\sigma^{[m,l]} = \left[g_1^{[m,l]}, \dots, g_{n^{u[m,l]}}^{[m,l]}, r_0^{[m,l]}, \dots, r_{k^{u[m,l]}}^{[m,l]} \right]^T; \quad U_1 = \left[u_i^{[1]}, \dots, u_i^{[r]} \right]^T \text{-оптимальные значения}$$

управляющих воздействий; $I = I_{o1} = I_o$ -матрицы суммирования; $Y_1^u = Y^u$ -значения выходов каналов связи; $\theta_{o1} = \theta_o$ -матричное представление переменных состояния каналов связи; $\sigma_{o1} = \sigma_o$ - параметры каналов моделей связей; $Y_1 = Y$ -вектор выходов объекта управления.

При синтезе системы управления для определения оптимальных управляющих воздействий в качестве критерия качества переходных процессов использовался квадрат управления, значение которого при настройке регуляторов минимизировалось:

$$F = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{L+J} U_j^2(i) \rightarrow \min; (j = \overline{1, M}; i = \overline{1, J}).$$

При поиске оптимальных управляющих воздействий процессом экстракции по критерию быстродействия, необходимо определить минимально возможное число тактов перевода в соответствии с теоремой об N -интервалах по формуле:

$$L = \text{Int} \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P_{ij} / M + 0.5 \right\},$$

где P_{ij} - порядок передаточной функции (дифференциального уравнения) j -го входа i -го выхода канала объекта управления; M - количество выходов; N - количество входов.

Требуемое состояние объекта управления определяется условием:

$$Y_i(L+K) = G_i(L+K) - Y_i^*(L+K), i = \overline{1, N}; K = 0, \tilde{N}_i,$$

где $Y_i^*(L+K)$ - прогнозируемое значение i -й выходной переменной; $G_i(L+K)$ - требуемое значение i -й выходной переменной.

В случае нулевых начальных условий эти зависимости будут иметь вид:

$$Y_i(L+K) = \sum_{j=1}^M \sum_{m=1}^L U_j(m) * \omega_{ij}((L+K-m+1)*T), i = \overline{1, N}; K = \overline{0, C_i},$$

где T - период дискретизации управляющего сигнала; C_i - число тактов фиксации i -й выходной переменной; $\omega((L-K)T)$ - значение весовой функции (реакции на импульс длительности T) в $L-K$ -м такте.

На основе динамических моделей процесса с учетом условий оптимальности, используя метод наименьших квадратов получим систему линейных алгебраических уравнений:

$$[\omega_{ij}(L+K-m+1)] * U_j(m) = G_i(L+K) - Y_i^*(L+K).$$

Решив системы линейных уравнений, находим искомые значения управляющих воздействий в виде линейных комбинаций прогнозируемых ошибок:

$$U_j(m) = \sum_{i=1}^N \sum_{K=0}^{C_i} R_{im} \left(\sum_{s=1}^{i=1} C_s + K \right) * E_i(L+K),$$

где R_{im} - вектор-строка матрицы $W(p)^{-1}$.

Таким образом, эквивалентная импульсная передаточная функция цифрового регулятора определяется по формуле:

$$D(z) = \frac{U(z)}{e(z)} = \sum_{j=0}^n K_j e(jT) z^{-j} / \sum_{j=0}^n e(jT) z^{-j},$$

где K_j - коэффициент усиления на j -м такте управления.

В работе для определения настроечных оптимальных параметров регуляторов многомерного цифрового управляющего устройства предложен высокоэффективный алгоритм вычисления, учитывая длительность импульсных управляющих воздействий, вырабатываемых микроконтроллером в соответствии с заданным критерием, представляемый векторной оптимизацией.

Анализ функционирования цифровой системы управления процессом

экстракции показал, что созданная система обладает высоким быстродействием, меньшей чувствительностью к погрешностям измерения и меньшей ошибкой регулирования.

В четвертой главе «Разработка и внедрение программного комплекса «Управления процессом экстракции» приводятся результаты практического применения разработанных моделей и алгоритмов для синтеза системы компьютерного управления технологическими параметрами процесса экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом. Для выбора оптимального технологического режима процесса экстракции в качестве основных факторов, характеризующих процесс экстракции растительного сырья, рассматривались следующие переменные:

1. Управляющие переменные y_1 , y_2 , где y_1 -расход CO_2 газа, y_2 -расход теплоагента.
2. Управляемые параметры y_1 , y_2 , где y_1 -давление CO_2 газа, y_2 - температура CO_2 , которые косвенно влияют на концентрацию масла в мисцелле.

На основе экспериментальных данных для экстракции виноградных косточек, определены динамические характеристики, которые представлены в виде передаточной функции:

$$W(P) = \begin{bmatrix} \frac{0,15}{20,5p+1} & \frac{0,6}{25,7p+1} \\ \frac{1,8}{40,2p+1} & \frac{0,12}{37,8p+1} \end{bmatrix}.$$

Используя методики определения передаточной функции компенсирующих устройств и цифрового регулятора, найдены матричные передаточные функции:

Для компенсатора:

$$W^k(p) = \frac{1}{18,6p^2 + 9,11p + 0,27} \cdot \begin{bmatrix} 136,7p^2 + 28,7p + 0,09 \\ 113,6p^2 + 39,9p + 1,9 \end{bmatrix}.$$

Для цифрового регулятора:

$$D_1(z) = \frac{28.873967411379 \times (z^2 - 1.8839992141678 \times z + 0.89335955825975)}{(z-1) \times (z + 0.49060171058447)}.$$

$$D_2(z) = \frac{29.911715589623 \times (z^2 - 1.7804034877349 \times z + 0.7971193460581)}{(z-1) \times (z + 0.48110850223935)}.$$

Подставляя передаточные функции этих элементов, смоделирована система управления с помощью Simulink/Matlab. Графики переходного процесса представлены на рисунке 4.

Как видно из рис.4, разработанная система управления обладает достаточной для рассматриваемого процесса точностью, удовлетворительным качеством динамических процессов регулирования при наличии времени запаздывания в объекте. Полученные переходные процессы демонстрируют небольшое время регулирования при отработке реакций на задающее воздействие. Дальнейшее уменьшение времени регулирования представляет трудность в виду инерционности процесса и ограниченности управляющего воздействия.

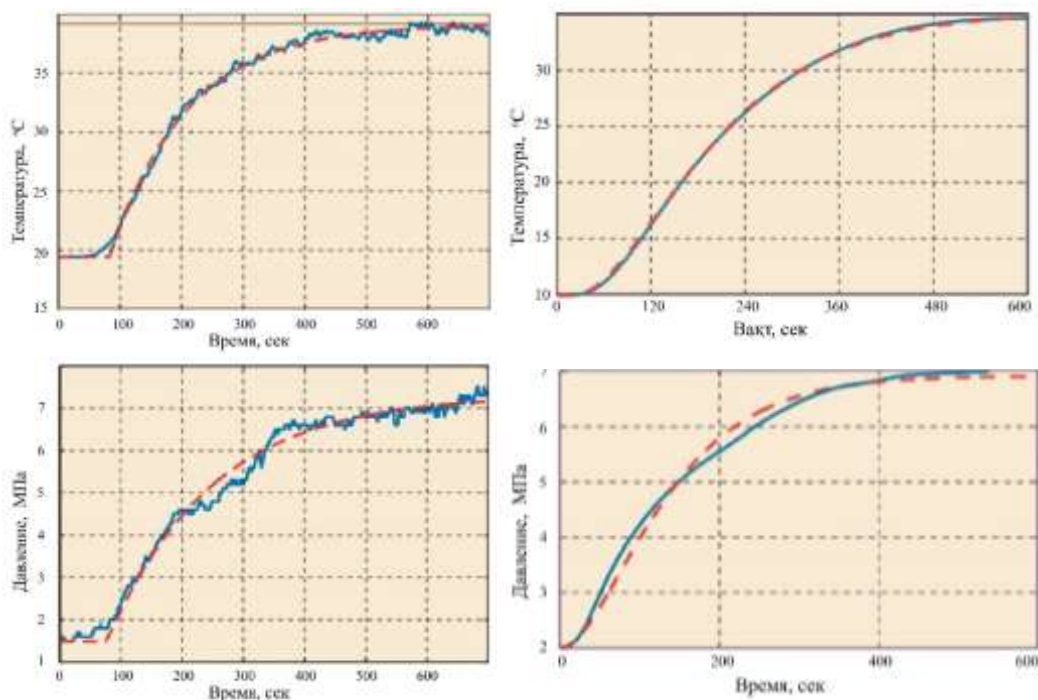


Рис.4.Переходные процессы оптимальной системы управления.

С целью инженерной реализации многосвязной системы компьютерного управления технологическими параметрами процесса экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом на лабораторной установке в данной главе разработана обобщенная функционально-технологическая схема системы управления, включающая системы автоматической стабилизации параметров технологического процесса и систему оперативного управления режимами работы оборудования, а также систему визуализации для автоматического мониторинга процесса.

При этом в качестве объекта управления взята совокупность оборудования экстрактора, как основного, так и вспомогательного: встроенный микроконтроллер на базе Arduino UNO, регулирующие органы для управления положения клапанов, предназначенные для подачи энергии, материалов и сырья.

Разработанная компьютерная система управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом позволяет решить следующие задачи:

- получение текущих значений информации о переменных, характеризующих состояние технологического процесса;
- обеспечение стабилизации технологических параметров процесса непосредственного воздействия на регулирующий орган.

Компьютерная система управления процесса экстракции состоит из нескольких подсистем: подсистема оперативного управления режимами работы технологических агрегатов, подсистема стабилизации параметров технологического процесса, подсистема, реализующая управляющие воздействия.

Разработанная компьютерная система управления процессом экстракции имеет трехуровневую структуру.

Нижней уровень управления осуществляет следующие операции:

- сбор данных о технологическом состоянии процесса экстракции;
- выработка управляющих сигналов на регулирующие органы агрегата.

Средний уровень системы управления выполняет:

- расчет оптимальных параметров законов регулирования по выбранным критериям;
- выработка заданий для каналов управления;
- поддержание заданного режима (уставки) работы технологического агрегата.

Верхний уровень управления предназначен для:

- расчета оптимальных параметров процесса (давления и температуры) на основе статистико-математической модели, обеспечивающей требуемые значения концентрации мисцеллы;
- настройки, конфигурирования и программирования микроконтроллера;
- формирования архивных отчетов и протоколирования производственных ситуаций;
- отображения процесса экстракции в реальном времени.

На основе разработанных моделей и алгоритмов синтеза цифровой системы управления создан лабораторный стенд (Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Патент на полезную модель № FAP 01250 от 31.10.2017), в состав которого входят: интеллектуальные датчики для получения первичной информации о ходе технологического процесса, основное оборудование - экстракционная колонна, а также средства для преобразования и передачи цифровой информации и др.

При этом микроконтроллер может быть связан с ЭВМ верхнего уровня через сеть Ethernet, что позволяет дистанционно управлять процессом.

В качестве инструмента разработки специального программного комплекса для микроконтроллера использовались MatLAB+Embercadero Delphi+C++, которые работают на операционных системах Windows, Linux и MacOS.

Разработан человеко-машинный интерфейс с помощью Embercadero Delphi, позволяющий наблюдать в режиме реального времени за технологическим процессом и в нужный момент времени вносить изменения. В интерфейсе отображается ход технологического процесса и состояние исполнительных механизмов в режиме реального времени.

Внедрение предложенных моделей и алгоритмов управления процессом экстракции растительного сырья показало повышение производительности и увеличения эффективности производства за счет уменьшения потерь конечной продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе концепции системного анализа и теории управления разработаны динамические модели и алгоритмы синтеза системы управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом. В итоге получены следующие результаты:

1. Проведен системный анализ современного состояния и тенденции развития систем управления динамическими объектами, выявлены направления, способствующие повышению эффективности управления с учетом особенностей процесса, и на основе этого предложена двухуровневая структура системы управления технологическим объектом-экстрактором.

2. Разработана методика построения динамической математической модели сверхкритического состояния процесса экстрагирования растительного сырья с учетом внутреннего перераспределения растворимых веществ, которая позволяет выявить закономерности динамики процесса экстракции при разных размерах измельчения сырья.

3. Разработаны многосвязные динамические математические и компьютерные модели массообменных процессов экстракции растительного сырья, определены ограничения и допущения, составляющие базу разрабатываемых математических моделей.

4. Разработана статистико-математическая модель процесса экстракции, позволяющая определять предельные показатели эффективности процесса и рассчитывать оптимальные режимные параметры экстрактора.

5. На основе статистико-математической модели сформулирована задача оптимизации процесса экстракции и разработан алгоритм поиска оптимальных технологических параметров на основе модифицированного метода симплексного планирования.

6. Разработан алгоритм определения структуры и оптимальных параметров цифрового регулятора для управления массообменным процессом, позволяющий переводить объект в заданное состояние за минимально возможное время.

7. Разработаны алгоритмы синтеза системы многомерной цифровой системы управления CO₂-экстрактором по критерию быстродействия, которые позволяют принимать обоснованные оптимальные решения в различных производственных ситуациях.

8. Предложена функционально-алгоритмическая структура многомерной цифровой системы управления параметрами CO₂-экстрактора, приведены результаты реализации алгоритмов управления при различных производственных (до и после критических состояний) ситуациях. Система позволяет увеличить концентрацию масла с 88,3% до 91% и уменьшить потери компонентов растительного сырья с 6,5% до 3,8% целевых продуктов.

9. Разработанные моделирующие алгоритмы и специальный программный комплекс внедрены на реальных объектах. Суммарный экономический эффект от реализации системы управления составляет около 196 млн сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/30.12.2019.T.03.02
AT TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

BUKHARA ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE

FAYZIEV SHAVKAT ISMATOVICH

**MODELING AND RESEARCH OF THE PROCESS CONTROL SYSTEM
FOR THE EXTRACTION OF PLANT MATERIALS LIQUEFIED
CARBON DIOXIDE**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

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

Tashkent-2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.4.PhD/T1093.

The dissertation has been prepared at the Bukhara engineering-technological institute.

The abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: Siddikov Isamiddin Xakimovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: Kasyanov Gennady Ivanovich (Russian Federation)
doctor of technical sciences, professor

Ismailov Mirxalil Agzamovich
doctor of technical sciences, professor

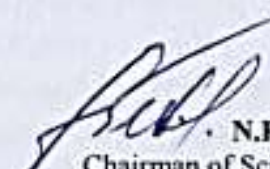
Leading organization: Tashkent chemical-technological Institute

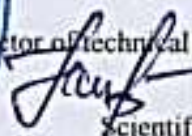
Defense of dissertation will take place in «15» 06 2021 at 12⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).


The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 109). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41).

Abstract of dissertation sent out on «02» 06 2021 year.
(mailing report № 1, on «01» 03 2021 year).




N.R. Yusupbekov
Chairman of Scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician


U.F. Mamirov
Scientific secretary of Scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy (PhD) on technical sciences


H.Z. Igamberdiyev
Chairman of the Academic seminars under the
Scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to develop models and algorithms for the study of a digital control system for the extraction of plant raw materials with liquefied carbon dioxide.

The object of the research work is the control system of the process of extraction of plant raw materials with liquefied carbon dioxide.

The scientific novelty of the research work is as follows:

a statistical and mathematical model of the process of extraction of plant raw materials with supercritical liquefied carbon dioxide has been developed, which differs from the known ones in that it allows you to determine the limiting indicators of the process efficiency and calculate the optimal operating parameters of the extractor;

an imitation-optimization algorithm for determining the optimal values of technological parameters of the extraction process with a high concentration of the obtained ingredients was developed, based on a modified method of simplex planning, and differing from the known ones in higher speed and calculation accuracy;

an effective algorithm for optimal tuning of the digital controller parameters has been developed, which compensates for cross channels and provides the desired control properties of a multidimensional dynamic object;

for the first time, an algorithm was developed for the synthesis of a multidimensional digital system for automatic control of the extraction process of plant raw materials with liquefied CO₂ gas in a supercritical state, taking into account the non-stationarity of the process.

Implementation of the research results. Based on the scientific results of the synthesis of the control systems for the extraction of plant raw materials with liquefied carbon dioxide, the following have been introduced:

Computer models and algorithms for determining the optimal parameters of the control system for the extraction of plant raw materials with liquefied carbon dioxide were implemented “Zhondor oziq-ovgat savdo” LLC (Reference of the “Uzyogmoysanoat” Association No. AA / 3-932 dated August 29, 2020). As a result, the quality of the concentration characteristics of vegetable oil has improved;

algorithms for the synthesis of optimal control of the extraction process with liquefied carbon dioxide have been introduced at “Vangozi Agro Export” LLC (Reference of the “Uzyogmoysanoat” Association No. AA / 3-932 dated August 29, 2020). As a result, a high accuracy of control of technological parameters of the process was achieved;

a synthesized multi-linked digital control system the technological parameters of the process of obtaining ingredients was introduced at “NPP Plasma K” LLC (Implementation Act of the Russian “NPP Plasma K” LLC dated December 26, 2019). The result is a reduction in energy costs for energy-intensive technological processes.

The structure and scope of the thesis. The content of the thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, list of references and appendices. The total volume of the thesis is 117 pages.

ЭЪЛОНҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим(Часть I; Part I)

1. Файзиёв Ш.И. Формализация процесса управления CO₂ - экстракцией растительного сырья // Universum: технические науки: научный журнал. -Москва, 2021. -№ 1(82). Часть 1. -С.24-26 (№18; Ulrich's Periodicals Directory; №35; CrossRef; DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.82.1-1.24-26>)

2. Сиддиков И.Х., Мамасодикова Н.Ю., Файзиёв Ш.И. Формализованное описание математической модели процесса экстракции масла // Научно-технический журнал ФерПИИ. Фергана, ФерПИИ.2020, -№5. –С.112-117 (05.00.00; № 20).

3. Файзиёв Ш.И., Абидов К.З., Гафуров К.Х. Экспериментальное исследование технологического процесса CO₂ - экстракции ингредиентов из растительного сырья // Universum: технические науки: научный журнал. -Москва, 2020. -№ 8(77). Часть 1. -С.44-47 (№18; Ulrich's Periodicals Directory; №35; CrossRef; DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2020.77.8-1>)

4. Siddikov I.Kh., Fayziev Sh.I., Gafurov K.Kh., Ibragimov U.M. Automatic control system for the concentration of ingredients from vegetable raw materials using liquefied CO₂ // International Journal of Advanced Science and Technology. -Australia, 2020. Vol. 29, No. 11s, PP. 32-37. (№41; SCImago;)

5. Siddikov I.Kh., Fayziev Sh.I., Ismoyilov Kh.B., Uvayzov S.K. Synthesis of the neuro-fuzzy adaptive control system of a dynamic object // The Journal of Test Engineering and Management. –USA, 2020. Volume 83. PP. 11236-11246. (№41; SCImago;)

6. Fayziev Sh.I. Synthesis of an automatic control system with pulse-width modulation according to the speed criterion // International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2020 Applications, Trends and Opportunities -Tashkent.4-6 th of November 2020. (ЎЗР ОАК Раёсатининг қарори №368 30.10.2020 й.)

7. Siddikov I.Kh., Fayziev Sh. Synthesis of automatic control system for the concentration of ingredients from plant raw materials using liquefied CO₂ // International scientific and technical journal “Chemical technology. Control and management”. -Tashkent, 2019. -№4-5. –PP.113-118 (05.00.00; № 12).

8. Сиддиков И.Х., Гафуров К.Х., Файзиёв.Ш.И. Разработка математической модели процесса экстракции масел с использованием законы материального баланса // Научно-технический журнал “Развитие науки и технологий”. -Бухара, 2019. -№4. –С.107-111 (05.00.00; № 24).

9. Gafurov K.Kh., Ibragimov U.M., Fayziev Sh.I. Statistical-mathematical model of the process of extraction of pumpkin seeds by CO₂-extraction // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. –Austria, 2017. #1-2. -PP.59-63. (№35; CrossRef; DOI: <https://doi.org/10.29013/AJT-17-1.2-59-63>).

II бўлим (часть II; Part II)

10. Файзиев Ш.И. Сиқилган карбонат ангидрид гази билан ингредиентлар олиш технологиясининг ўзига хослиги / «Озиқ-овқат, нефтгаз ва кимё саноатини ривожлантиришнинг долзарб муаммоларини ечишнинг инновацион йўллари» мавзусидаги Халқаро илмий-амалий конференцияси. -Бухоро, 2020. 3-том, 12–14 ноябр. 361-364 б.

11. Файзиев Ш.И. Сиқилган карбонат ангидрид гази билан ингредиентлар олиш технологиясининг ишлаш принципи / «Озиқ-овқат, нефтгаз ва кимё саноатини ривожлантиришнинг долзарб муаммоларини ечишнинг инновацион йўллари» мавзусидаги Халқаро илмий-амалий конференцияси. - Бухоро, 2020. 3-том, 12–14 ноябр. 364-366 б.

12. Файзиев Ш.И. Разработка информационно-коммуникационной системы управления процессом CO₂-экстракции / Материалы международной научной конференции «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства»-Бухара,2019. 2-й том, 14–16 ноября. –С.396-399

13. Шарипов О.О., Гафуров К.Х., Файзиев Ш.И. Разработка человеко-машинного интерфейса для теплового насоса CO₂-экстракционной установки / Научно - практический журнал «Современные материалы, техника и технологии». -Курск,2017, -№1. -С.232-237

14. Гафуров К.Х., Файзиев.Ш.И., Ибрагимов У.М. Разработка схемы и программы управления температурой и давлением растворителя в экстракционном контуре производства экстрактов из растительного сырья / журнал “Научный вестник Бухарского государственного университета” - Бухара, 2016. №3. –С.25-32 (01.00.00; № 3).

15. Гафуров К.Х., Усмонов А.У., Файзиев Ш.И., Ибрагимов У.М. CO₂-экстракциялаш жараёнини бошқариш схемасини ишлаб чиқиш // “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий - техникавий журнали, -Бухоро,2016. -№3. 66-73 б.

16. Гафуров К.Х., Джураев Х.Ф., Мехмонов И.И., Файзиев Ш.И. Экстрактор высокого давления / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Патент на полезную модел № FAP 01250 от 31.10.2017.

17. Сиддиков И.Х., Файзиев Ш.И., Гафуров К.Х. Программное обеспечение для контроля и регулирования концентрацией экстракта в мисцелле экстракции со сжатым CO₂ / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06932 от 23.09.2019.

18. Сиддиков И.Х., Файзиев Ш.И., Ибрагимов У.М., Гафуров К.Х. Программное обеспечение для управления процессом экстракции растительного сырья сжиженным углекислым газом / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06933 от 23.09.2019.

19. Файзиев Ш.И., Ибрагимов У.М., Гафуров К.Х., Усмонов А.У. Программное обеспечение для регулирования давления процесса экстракции

со сжатым CO₂ / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 04715 от 15.09.2017.

20. Гафуров К.Х., Файзиев Ш.И., Ибрагимов У.М., Усмонов А.У. Программное обеспечение для регулирования температуры процесса экстракции со сжатым CO₂ / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 04779 от 28.09.2017.

Автореферат «Til va adabiyot ta'limi» журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди (26.01.2021).

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 35/21.

Гувоҳнома № 10-3719
«Тошкент кимё технология институти» босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.