

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК - ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc. 03/28.02.2022.Т.101.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК - ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

МИРЗАЕВА ШОХИСТА УСМОНОВНА

СО₂ МУҲИТДА БЕҲ ИЛДИЗИНИ ЭКСТРАКЦИЯЛАШ
ЖАРАЁНИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ

02.00.16 – Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш жараёнлари ва
аппаратлари

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ

Бухоро – 2022

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**
**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on
technical sciences**

Мирзаева Шохиста Усмоновна

СО₂ муҳитда беҳ илдизини экстракциялаш жараёнини такомиллаштириш..... 3

Мирзаева Шохиста Усмоновна

Совершенствование процесса экстракции лакричного корня в среде СО₂..... 21

Mirzaeva Shokhista Usmonovna

Improving the process of extracting licorice root in a CO₂ environment..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works..... 42

**БУХОРО МУҲАНДИСЛИК - ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc. 03/28.02.2022.Т.101.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК - ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

МИРЗАЕВА ШОХИСТА УСМОНОВНА

**СО₂ МУҲИТДА БЕҲ ИЛДИЗИНИ ЭКСТРАКЦИЯЛАШ ЖАРАЁНИНИ
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**02.00.16 – Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш жараёнлари ва
аппаратлари**

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

Бухоро – 2022

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В 2018.2.PHD/Т 652 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Бухоро муҳандислик-технология институтида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.bmti_info@edu.uz) ва «Ziynet» Ахборот - таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Джураев Хайрулло Файзиевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Мирзаев Шавкат Мустақимович
техника фанлари доктори, профессор

Жумаев Қайом Каримович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Қарши муҳандислик - иктисодиёт институти

Диссертация ҳимояси Бухоро муҳандислик-технология институти ҳузуридаги DSc.03/28.02.2022.Т.101.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «11» август соат 11 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 200117, Бухоро шаҳар, К.Муртазоев кўчаси, 15-уй. Тел.: (99865)223-78-84, факс: (99865) 223-78-84; email: bmti_info@edu.uz).

Диссертация билан Бухоро муҳандислик-технология институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ 377 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 200117, Бухоро шаҳар К.Муртазоев кўчаси, 15-уй. Тел.: (99865) 223-78-84).

Диссертация автореферати 2022 йил «12» июль куни тарқатилди.
(2021 йил «12» июль даги № 5 рақамли ресстр баённомаси).



Н.Р. Баракаев

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

Р.Р. Ҳайитов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш котиби т.ф.д., кат.ил.ходим

И.Б.Исабаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунё бўйича ўсимлик хомашёсини қайта ишлаш орқали озиқ-овқат, фармацевтика саноати учун экологик тоза экстрактлар ишлаб чиқаришнинг замонавий технологияларидан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шунга кўра, ўсимлик хомашёларини самарали экстракциялаш жараёнининг интенсив усулларини жорий этиш, энергия ва ресурс тежамкор техника ва технологияларни яратиш муҳим аҳамият касб этади.

Жаҳонда ўсимлик хомашёси таркибидаги биологик фаол моддалар (БФМ) нинг табиий хусусиятларини сақлаган ҳолда, уларнинг юқори концентрацияли экстрактларини ишлаб чиқаришнинг жараён ва қурилмаларини яратиш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шунга кўра, озиқ-овқат, фармацевтика саноати учун зарур бўлган беҳ илдизи таркибидаги БФМларни олиш имконини берувчи, хавфсизлик стандартлари талабларига тўла жавоб берадиган, юқори критик босимда сиқилган CO₂ гази ёрдамида ишловчи экстракциялаш жараёни ва қурилмаларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда олиб борилган беш йиллик ислохотлар натижасида Янги Ўзбекистонни вужудга келтиришнинг зарур сиёсий-ҳуқуқий, ижтимоий-иқтисодий ва илмий-маърифий асослари яратилган. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясини «Инсон кадрини улуғлаш ва фаол маҳалла йили»да амалга оширишга оид Давлат Дастурида “Доривор ўсимликларни қайта ишлаш асосида 17 турдаги субстанциялар ва биологик фаол моддалар ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш дастурини ишлаб чиқиш. Жумладан йилига 83,8 тонна доривор ўсимликлар экстрактларини (анор қовуғи, қизилмия илдизи, наъматок меваси, узум уруғи ва қовуғи) қайта ишлаш асосида биологик фаол моддалар субстанцияларини ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш;”¹ бўйича муҳим вазифалар белгиланган. Беҳ илдизини етиштириш, қайта ишлаш корхоналарини модернизация қилиш, импорт ўрнини босувчи ва экспортбоп маҳсулотлар ишлаб чиқаришни ташкил этиш, табиий ресурслардан оқилона фойдаланиш, маҳаллий ва хорижий компаниялар инвестицияларини жалб қилган ҳолда, беҳ илдизини етиштириш ва саноат миқёсида қайта ишлашни кўпайтириш, юқори кўшимча қийматга эга экспортбоп маҳсулотлар ишлаб чиқаришни ташкил этиш, 2022-йилгача Қорақалпоғистон Республикасида 3970 гектар, Хоразм вилоятида эса 700 гектар майдонда плантациялар барпо этишни режалаштириш, 2026-йилга келиб Қорақалпоғистон Республикасида 30966 тоннани, Хоразм вилоятида эса 5600 тонна беҳ илдизини етиштиришни таъминлаш бўйича вазифалар белгилаб берилган². Шунга кўра, жаҳон талабларига мос беҳ

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 7 январдаги ПФ-60-сонли «2022 — 2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 16 майдаги ПК-2970-сон “Ўзбекистон Республикасида қизилмия ўсимлигини етиштириш ҳамда саноат усулида қайта ишлашни кўпайтириш тўғрисида ги” Қарори.

илдизи таркибидан экстрактларини олиш учун юқори босимда сиқилган CO_2 гази асосида ишлашга мўлжалланган, самарали, энергия тежамкор технологияларни қўллаш орқали махсулотлар ишлаб чиқариш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016-йил 12-апрелдаги “Республика озиқ-овқат саноатини бошқаришни ташкил этишни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПҚ-2492-сонли қарорида, Вазирлар Маҳкамасининг 2018-йил 27-январдаги “Ўзбекистон Республикасида қизилмия ва бошқа доривор ўсимликларни етиштириш ҳамда саноат усулида қайта ишлашни янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги №63 қарори, ҳамда ушбу соҳада қабул қилинган бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни бажаришда мазкур диссертация тадқиқоти маълум даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожлантиришнинг V - “Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш” устувор йўналиши доирасида бажарилган

Муаммонинг ўрганганлик даражаси. Ўсимлик хомашёларини комплексли қайта ишлаш, экстракциялаш жараёни давомида модда алмашинувни жадаллаштириш, техника ва технологияларни такомиллаштириш бўйича илмий тадқиқотлар хориж олимлари Г.И. Касьянов, Б.С. Алаев, Л.Г. Александров, В.Э. Банашек, Р.Х. Блягоз, В.А. Карамзин, А. Богданович, Р.И. Шаззо, В. Kaufmann, Р. Kraulis, В.В. Кафаров, S.M. Ghoreishi, С.П. Рудобашта, Е.П. Кошевой, А.В. Пеховлар ўз хиссаларини қўшишган. Шу соҳа бўйича ўзбек олимларидан З.С. Салимов, Н.Р. Юсупбеков, А.Ф. Сафаров, А. И. Глушенкова, А.Артыков, Х.С. Нурмухамедов, Р.М. Мирзакаримов, Е. Сейтмуратов, Ю.К. Кадиров, К.Х. Гафуров, Қ.К. Жумаев, С.А. Абдурахимов ва бошқалар илмий изланишлар олиб борган.

Ҳозирги кунда амалга оширилган ишлар бўйича хомашёнинг сифат кўрсаткичларини сақлайдиган юқори сифатли экстрактлар олиш учун CO_2 муҳитда экстракциялаш жараёнининг амалий имкониятлари тасдиқланган.

Шу билан бирга, беҳ илдизини юқори босимда сиқилган CO_2 гази ёрдамида экстракциялаш жараёни тўлиқ ўрганилмаган ва технологик жараёнларнинг оптимал режимлари бўйича етарли даражада тадқиқот ишлари олиб борилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация тадқиқоти Бухоро муҳандислик-технология институтининг илмий-тадқиқот ишлари режаларининг №А-9-1-“Суюлтирилган карбонат ангидриддан фойдаланган ҳолда ўсимлик хом-ашёсидан ингредиентлар ишлаб чиқаришнинг ресурс тежовчи экологик тоза технологиясини ишлаб чиқиш” мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади CO_2 муҳитда беҳ илдизини экстракциялаш жараёнини такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

беҳ илдизини CO_2 муҳитда экстракциялашнинг экспериментал лаборатория ускунасини ишлаб чиқиш ва жараёнини тадқиқ қилиш;

CO_2 муҳитда беҳ илдизини экстракциялаш жараёнининг тизимли таҳлили, экстракциялаш жараёнида фазаларо диффузия қонуниятларини тадқиқ қилиш;

беҳ илдизини экстракциялаш жараёнига таъсир этувчи омилларни аниқлаш ҳамда натижаларни қайта ишлаш асосида экстракциялаш жараёнини тавсифловчи умумий регрессия тенгламасини олиш;

CO_2 - муҳитнинг модда алмашинуви жараёнига таъсир қонуниятларини математик ифодалаш, MatLab дастурий таъминотини қўллаш орқали компьютер моделини ишлаб чиқиш ва экстракциялаш жараёнини олиб боришнинг оптимал параметрларини аниқлаш;

фазаларо модда алмашинуви жадаллаштириш орқали беҳ илдизини CO_2 - муҳитда экстракциялаш жараёнини такомиллаштириш.

Тадқиқот объекти сифатида беҳ илдизи, унинг экстрактив компонентлари, CO_2 газининг фазавий ҳолати, экстракциялаш жараёни, экстрактор қурилмаси олинган.

Тадқиқотнинг предмети CO_2 газини қўллаш орқали беҳ илдизини экстракциялаш жараёнини тадқиқ қилиш ҳамда математик ва компьютер моделларининг қўллашдан ташкил этган.

Тадқиқотнинг усуллари. Илмий-тадқиқот ишида кўп босқичли тизимли таҳлил, экспериментларни статистик ва математик режалаштириш, моделлаштириш, технологик жараёнини оптималлаштириш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

беҳ илдизи таркибидаги биологик фаол моддаларнинг экстракцияланиш самарадорлиги CO_2 газининг босимига, температурасига, таъсир этиш давомийлигига ва фазаларо диффузия коэффициентига боғлиқлиги аниқланган;

беҳ илдизини экстракциялаш жараёнининг мақбул режимларини аниқлаш имконини берувчи математик ва компьютер моделлари ишлаб чиқилган;

беҳ илдизини экстракциялаш жараёнига таъсир этувчи омилларнинг оптимал қийматлари аниқланган;

юқори критик босимда сиқилган CO_2 газини эритувчи сифатида қўллаш орқали беҳ илдизини экстракциялаш жараёни такомиллаштирилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

беҳ илдизи таркибидан биологик фаол моддаларни ажратиб олишга йўналтирилган экстракциялаш усули танлаб олинган;

математик моделлаштириш орқали беҳ илдизи заррачаларининг квази қатламлари бўйича суюқ ва қаттиқ фазалар таркибидаги концентрациянинг

Ўзгариш эгри чизиклари олинган ва натижаларнинг адекват эканлиги аниқланган;

беҳ илдизини юқори критик босимда сиқилган CO_2 гази муҳитида экстракциялаш жараёнининг ярим саноат қурилмаси ишлаб чиқилиб, тажрибалар асосида беҳ илдизи таркибидан ажралиб чиқаётган экстракт миқдорининг таъсир этувчи омилларга боғлиқлиги аниқланган;

CO_2 муҳитда экстракциялаш жараёнининг оптимал параметрлари ва режимлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тажрибалар ўтказиш давомида замонавий юқори аниқликдаги асбоблар қўлланилган. Олинган тажриба натижалари Matlab, Mathcad, Microsoft Excel компьютер дастурлари ёрдамида қайта ишланганлиги ва ҳақиқий жараёнга адекват математик моделлар олинганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти беҳ илдизи таркибида мавжуд бўлган биологик фаол моддаларни аниқлаш, экстракциялаш жараёнининг рационал технологиясини таҳлил қилиш, ва экстракциялаш жараёнини жадаллаштириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти беҳ илдизини самарали экстракциялашда сиқилган CO_2 газининг мақбул босимини асослашга, математик ва компьютерли моделлаштиришга, ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишга, экстракциялаш жараёнининг техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлашга, беҳ илдизи таркибидаги БФМ ларни тўла экстракцияланишига хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Юқори босимда сиқилган CO_2 газини қўллаб беҳ илдизини экстракциялаш жараёнини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

юқори босимда сиқилган CO_2 газини қўллаб такомиллаштирилган экстракциялаш жараёни ва аппарати Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг «2021–2025 йилларда амалиётга жорий этиш бўйича инновацион ишланмалар рўйхати»га киритилган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2021 йил 18 декабрдаги 18-129/12-21-сон маълумотномаси). Натижада, сиқилган CO_2 газининг босими $8 \div 9,5$ МПа бўлганда экстракциялаш жараёнини $1,3 \div 1,4$ мартага жадаллаштириш ҳамда таркибида БФМ миқдори 35,5% сақланган экстракт олиш имконияти яратилган;

беҳ илдизини юқори босимда сиқилган CO_2 гази қўлланилган экстракциялаш жараёни ва тажриба синов қурилмаси Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг «2021–2025 йилларда амалиётга жорий этиш бўйича инновацион ишланмалар рўйхати»га киритилган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2021 йил 18 декабрдаги 18-129/12-21-сон маълумотномаси). Натижада, беҳ илдизининг экстракти ошқозон ичак, бронхит, сурункали чарчоқ, пневмония ва бошқа касалликларини даволашда қўллаш учун тавсия берилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 17 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 42 та илмий иш, жумладан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия этилган илмий журналларда 19 та мақола, 8 таси хорижий (шулардан 1 та Web of Science базасига кирувчи журналда) журналларда, 11 таси республика журналларида чоп этилган. ЭҲМ лар учун дастурий маҳсулотларга Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан рўйхатдан ўтган 2 та гувоҳнома олинган.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 117 саҳифани ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзуси юзасидан ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади, вазифалари, объект ва предмети тавсифланган, фан ва техника ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган, илмий тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти очиқ берилган, бажарилган тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Ўсимлик хомашёсини экстракциялаш жараёнлари, уларни амалга оширишнинг технологик хусусиятлари, экстракциялаш ускуналари”** деб номланган биринчи бобида ўсимлик хомашёларини экстракциялаш жараёни ва қурилмаларининг илмий техник маълумотлари адабиётлар таҳлили асосида ўрганилган. Экстракциялаш жараёнининг модда алмашинув тизимида CO_2 газидан фойдаланишнинг ҳозирги замон ҳолати таҳлил қилиниб, CO_2 муҳитда экстракциялаш жараёнининг хавфсизлиги, афзалликларини аниқлаш ва энергия харажатларини камайтириш учун тадқиқот ўтказиш зарурлиги кўрсатилган. Ўсимлик хомашёси таркибида мавжуд бўлган, CO_2 муҳитда эрувчи моддаларни ажратиш олиш техникаси ва технологиясини такомиллаштириш асосида сифатли экстрактлар олиш усуллари ёритилган. Тадқиқот ишининг мақсади ва вазифалари белгилаб олинган.

Диссертациянинг **“ CO_2 муҳитда бех илдизини экстракциялаш жараёнини тизимли таҳлил қилиш ва математик моделлаштириш”** деб номланган иккинчи бобида бех илдизини CO_2 гази ёрдамида экстракциялаш жараёнини жадаллаштириш масаласини ечишда тизимли таҳлил стратегиясига асосланган математик ва компьютарли моделлаштириш усулларида фойдаланилди. Тадқиқот ўтказиш объектлари, қурилмалари, усуллари таҳлил қилинган. Экстракциялаш жараёнини етти босқичли иерархик структураси ишлаб чиқилиб, технологик тизим ва қурилмада бех

илдизи экстракти концентрациясининг ўзгариши, иссиқлик ўтказиш ва модда алмашинув жараёнларининг ўзаро боғлиқлиги, майдаланган хомашё заррачаларининг қатламлари бўйича диффузия, модда бериш қонуниятларини тавсифловчи математик ва компьютер модель ишлаб чиқилган.

Қаттиқ фаза таркибидан суюқ фазага ўтаётган БФМ миқдори:

$$G_M = G_0 \cdot a_0 - G_0 \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a \quad (1)$$

бу ерда G_0 -хомашё сарфи, a_0 -мисцелла таркибидаги биологик фаол модда миқдорининг ўртача концентрацияси.

Эритувчи таркибидаги БФМ концентрациясининг ўзгариши қуйидаги тенглама орқали ифодаланади:

$$\frac{dy}{d\tau} = \frac{1}{V\rho} (Ly_0 - Ly + G_M) \quad (2)$$

бу ерда L, V, ρ – мос ҳолда суюқ фаза сарфи, ҳажми ва зичлиги; y_0 -эритувчи таркибидаги БФМ нинг бошланғич концентрацияси; y -мисцелла таркибидаги БФМ нинг чиқиш концентрацияси; G_M - жмых таркибидан эритувчига ўтган БФМ миқдори.

Маҳсулот заррачаларининг ички қатлампидан ташқи қатлами томон ўтаётган БФМ миқдори қуйидагича ифодаланади:

$$M_{\text{БФМ3}} = M_{\text{мц3}} \cdot a_{\text{БФМ3}} \quad (3)$$

$$\frac{d(M_{\text{мц3}} \cdot a_{\text{БФМ3}})}{d\tau} = M_{\text{мц3}} - a_{\text{БФМ3}} \quad (4)$$

бу ерда: $M_{\text{БФМ3}}$ -модданинг ички қатлампидан ташқи қатламга ўтаётган БФМ миқдори; $M_{\text{мц3}}$ -мисцелла миқдори; $a_{\text{БФМ3}}$ -мисцелла таркибидаги БФМ концентрацияси.

Экстракция жараёни мобайнида маҳсулотнинг ички квази қатлампидан ташқи қатламга ўтаётган БФМ миқдори модда ўтказиш коэффициенти билан характерланади. Бех илдизи таркибидаги БФМ концентрациясининг ўзгаришини тавсифловчи математик ифодаларни қуйидагича ёзамиз:

$$\frac{da_3}{dt} = \frac{1}{m_3} \cdot (G_{\text{к3}} - G_{\text{ч3}}) \quad (5)$$

бу ерда, $G_{\text{к3}}$ - жмых заррачаси квази қатламга ўтаётган БФМ сарфи; $G_{\text{ч3}}$ -жмых заррачаси квази қатлампидан чиқаётган БФМ сарфи; m_3 заррачанинг ўрта квази қатлампидаги мисцелла массаси:

$$m_3 = V_{\text{мц3}} \cdot \rho_{\text{мц3}} \quad (6)$$

бунда, $V_{\text{мц3}}, \rho_{\text{мц3}}$ –мос ҳолда мисцелла ҳажми ва зичлиги.

Бех илдизи заррачасининг ички квази қатлампидан ташқи қатламга ўтган БФМ сарфи:

$$G_{\text{ч3}} = k \cdot F_{\text{таш}} \cdot (a_{\text{ичк3}} - a_{\text{таш2}}) \quad (7)$$

бу ерда k -модда бериш коэффициенти; $F_{\text{таш}}$ - жмых квази қатламининг ташқи юзаси; $a_{\text{ичк3}}, a_{\text{таш2}}$ -ташқи ва ички квази қатламлардаги концентрациялар фарқи.

Модда бериш коэффициентини:

$$k = \frac{D \cdot \rho_{\text{мц}}}{\sigma} \quad (8)$$

Беҳ илдизи заррачаларининг ички ва ўрта квази қатламларидан вақт бирлиги ичида ажратиб олинаётган БФМ миқдорининг ўзгариши фазалараро модда алмашинув қонуниятлари асосида тадқиқ қилинди.

Жараёнининг даврий режими учун аппаратдаги мисцелла сарфи:

$$L = L_0 \frac{1 - y_0}{1 - y} \quad (9)$$

бу ерда L_0 -аппаратга кираётган эритувчининг сарфи; L -аппаратдан чиқаётган мисцелла сарфи.

Суюқ фазасидаги БФМ концентрациясининг ўзгаришини тавсифловчи математик ифода қуйидаги кўринишга эга:

$$\frac{dy}{dt} \cdot m = L_0 \cdot y_0 - L_0 \frac{1-y_0}{1-y} y + G_{\text{БФМ}} \quad \text{ёки} \quad \frac{dy}{dt} \cdot m = L_0 \cdot (y_0 - \frac{1-y_0}{1-y} y) + G_{\text{БФМ}} \quad (10)$$

(10) тенглама ёрдамида аппаратдан чиқаётган мисцелла концентрациясини қуйидагича аниқлаймиз:

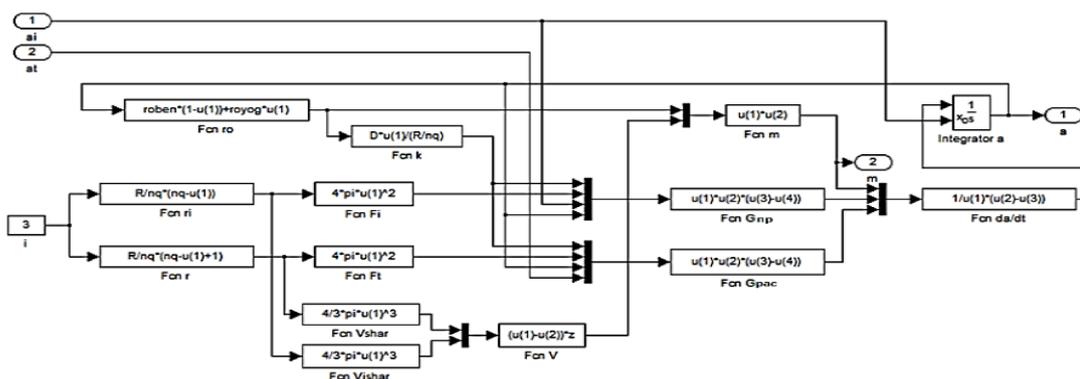
$$y = \frac{L_0 y_0 + G_m}{G_m + L} \quad (11)$$

Беҳ илдизини экстракциялаш жараёнида фазалараро диффузия қонуниятини тадқиқ қилиш учун тасодифий излаш принципи қўлланилиб, жараённинг компьютер модели ёрдамида экстракциялаш жараёнининг мақбул режимига мос диффузия коэффициентини аниқланди.

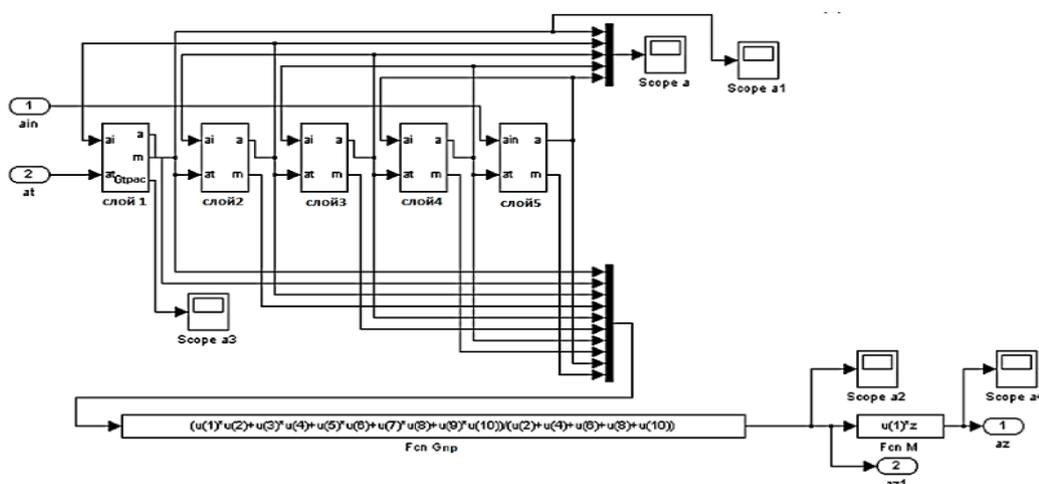
Маълумки, маҳсулотнинг квази қатламлари бўйича экстракцияланиш жараёни бир хил амалга оширилмайди. Шу нуқтаи назардан суюқ ва қаттиқ фаза таркибидаги БФМ концентрациясининг вақт бирлигида ўзгариши бир хил қийматга эга бўлмайди.

Маҳаллий беҳ илдизи хомашёсининг квази қатламларида экстракциялаш жараёнини тадқиқ қилиш учун, маҳсулот ўрта квази қатламларининг компьютер модели ишлаб чиқилди (1-расм).

Экстракциялаш жараёни давомида беҳ илдизи таркибидаги БФМ ни ажратиб олиш учун CO_2 газининг босими ҳамда муҳит температурасининг чегаравий қийматлари аниқланди. Экстракция жараёнининг моддий баланс тенграмасига мувофиқ, “қаттиқ фаза+суюқлик” системасида беҳ илдизи заррачаларининг квази қатламларидаги БФМ концентрациясининг ўзгаришини тавсифловчи компьютер модел ишлаб чиқилди (2-расм).

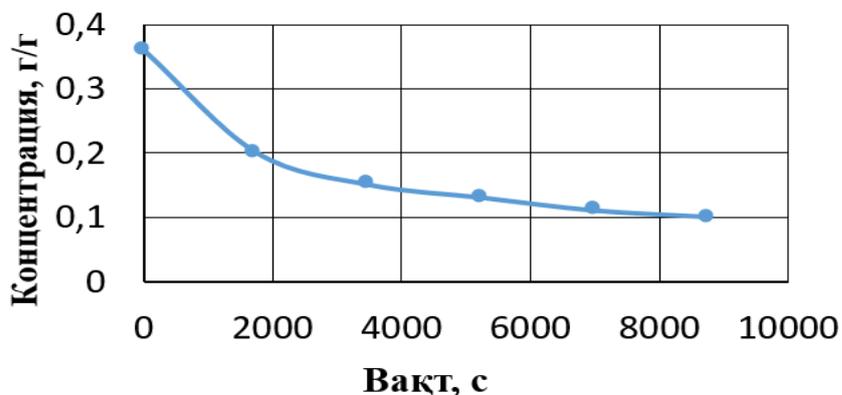


1-расм. Бех илдизи заррачаси квази қатламида БФМ концентрацияси ўзгаришини ифодаловчи компьютер модели



2-расм. Бех илдизи заррачасида БФМ ўртача концентрацияси ўзгаришининг компьютер модели

Тадқиқот натижаларининг таҳлили шуни кўрсатадики, махсулотнинг ташқи қатламидаги заррачаларида экстракцияланиш тезроқ, ички қатламида эса секинроқ боради. Бу ўз навбатида экстракцияланиш жараёнининг жадаллашуви диффузия коэффициентига боғлиқлигини характерлайди. Вақт бирлигида БФМ концентрациясининг ўзгариши 3-расмда келтирилган.

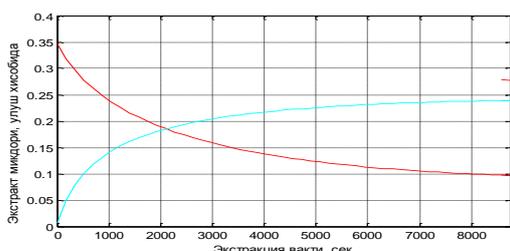


3-расм. БФМ концентрациясининг вақт бирлигида ўзгариши

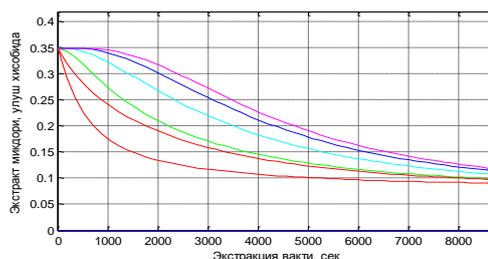
Графикдан кўриниб турибдики, экстракциялаш жараёни давомида каттиқ фазанинг ташқи қатламида модданинг экстракцияланиши жадаллашиб, концентрация миқдори камайиб боради. Ички қатламдаги

БФМ миқдори вақт бирлиги ичида ташқи қатламга ўта бошлайди. Демак, модданинг бир қатламдан иккинчи бир қатламга ўтиш тезлиги диффузия коэффициентига боғлиқ.

Олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики, экстракциялаш жараёни давомида қаттиқ фаза таркибидан суюқ фаза таркибига ўтаётган модда миқдори, экстракциялаш қурилмасида ҳосил қилинган эритувчи CO₂ нинг босимига, муҳитнинг температурасига ҳамда диффузия коэффициентига боғлиқ. Модда концентрациясининг ўзгаришини компьютерли модели бўйича олинган натижалари 4 ва 5 расмларда келтирилган.



4-расм. Қаттиқ ва суюқ фазадаги БФМ концентрациясининг ўзгариши ($D=0,9 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$)



5-расм. Қаттиқ фазанинг квази қатламларида БФМ концентрациясининг ўзгариши ($D=0,9 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$)

4-расм бўйича шуни изоҳлаш мумкинки, беҳ илдизини экстракциялаш жараёни дастлабки 3000 сек. вақт оралиғида жадаллашиб, қаттиқ фаза таркибидан ажралиб чиқаётган модда миқдори ошиб боради ва 8000 сек. сўнг мувозанат ҳолатига ўтади. Қаттиқ фазадаги БФМ нинг эритувчи таркибига ўтиши натижасида дастлабки 2000 сек. вақт оралиғида қаттиқ фаза таркибида БФМ концентрациясининг камайиши кузатилиб, тўла ажралиб чиқиш давомийлиги 4000-8000 сек. ораликни ташкил этади. Беҳ илдизи заррачаларининг барча квази қатламлари бўйича концентрация ўзгаришини таҳлил қиладиган бўлсак, юқори қатламдаги заррачанинг бутун ҳажми бўйича экстракциялаш жараёни 4000-5000 сек., ўрта ва ички қатламда эса 8000-9000 сек. ташкил этди (5-расм).

Экстракциялаш жараёнининг компьютер модели ҳамда ўтказилган тажрибалар асосида олинган тадқиқот натижалари 1-жадвалда келтирилган

1-жадвал

Назарий ва тажриба натижалари

Вақт, сек	БФМ нинг қолдиқ концентрацияси, г/г		Дисперсия
	Тажриба натижалари	Назарий натижалар	
0	0,36	0,38	0,00040
1750	0,2	0,23	0,00090
3500	0,15	0,17	0,00040
5250	0,13	0,15	0,00040
7000	0,11	0,12	0,00010
8750	0,1	0,11	0,00010
			0,000383

Ўртача квадратик оғиш 4,53 % га тенг.

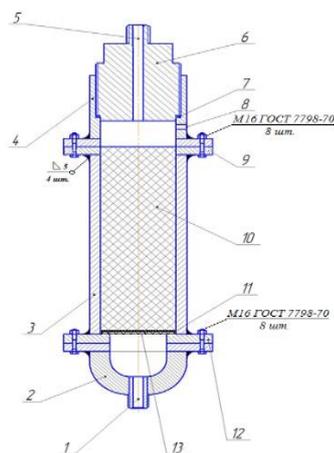
Озиқ-овқат ва фармацевтика саноати учун зарур бўлган, беҳ илдизи таркибидаги моддаларни CO_2 муҳитда экстракциялаш жараёнининг тизимли таҳлили асосида жараённи тавсифловчи математик моделлар ишлаб чиқилди. Жараённинг компьютер модели асосида заррача қатламлари бўйича вақт бирлигида концентрация ўзгаришларини ифодаловчи эгри чизиқлар олиниб, диффузия коэффицентлари аниқланди. Таъсир этувчи параметрларнинг ўзаро боғлиқлик қонуниятлари тадқиқ қилинди.

Ишлаб чиқилган математик ва компьютер моделлар экстракция жараёнини оптималлаштириш, рационал технологик ва аппарат конструкцияси бўйича амалий масалаларини ҳал қилиш учун асос бўла олади.

Тадқиқот ишининг “Тадқиқ қилинаётган объектларнинг характеристикалари, тажриба қурилмаси ва тадқиқот натижалари. Таҳлил қилиш ва баҳолаш усуллари” деб номланган учинчи бобида CO_2 гази ёрдамида беҳ илдизини экстракциялаш қурилмасининг тузилиши, юқори самарали суюқлик хроматографияси таҳлили, беҳ илдизини экстракциялаш жараёнининг технологик режимлари ва параметрлари, статистик ишлов бериш усуллари ёритилган.

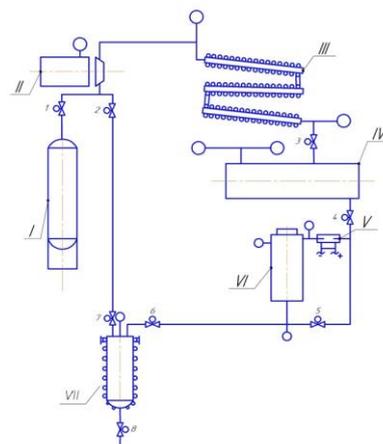
Беҳ илдизини юқори босимда сиқилган CO_2 гази ёрдамида экстракциялаш учун мўлжалланган экстракторнинг конструкцияси таклиф қилинган бўлиб, унинг қобиғи 12X18H10T русумли зангламайдиган пўлатдан тайёрланган (6-расм).

Тадқиқотлар асосида юқори босимда ишлайдиган, кўшимча аппаратлардан – компрессор, дроселли вентиль, конденсатор ва иссиқлик алмаштиргичдан ташкил топган экстракциялаш жараёнини амалга оширишнинг тажриба синов қурилмаси ишлаб чиқилди (7-расм).



6-расм. Юқори босимли экстрактор

- 1 - экстракт чиқиш патрубкиси,
- 2 - остки қопқоқ, 3 - цилиндрик қобик,
- 4 - устки қопқоқ, 5 - хом ашё кириш патрубкиси, 6 - қопқоқсимон гайка,
- 7 - маҳкамлагич, 8 – эритувчини киритиш учун тирқиш, 10 - кассета, 11 - панжарали таглик, 9-12 - фланецлар, 13 - экстракт оқиб чикувчи пластиналар зеер.



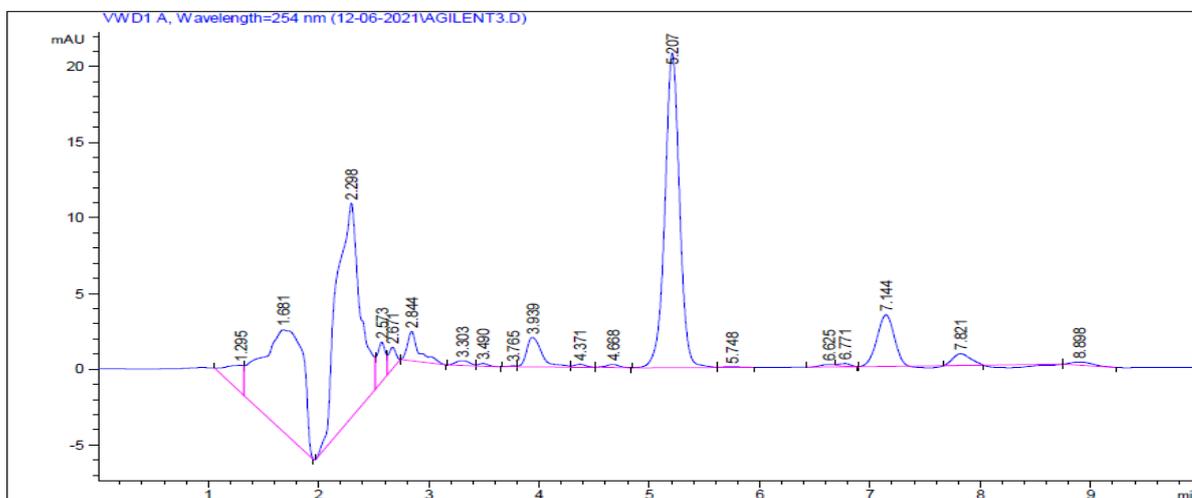
7-расм. Тажриба қурилмасининг принципал схемаси.

- I - юқори босимли CO_2 гази билан тўлдирилган баллон;
- II - компрессор;
- III - конденсатор; IV - сифим;
- V - иссиқлик алмаштиргич;
- VI - экстрактор;
- VII - ажраткич-буғлаткич.

Беҳ илдизи экстрактини CO_2 - муҳитда экстракциялаш жараёнининг тажриба синов қурилмаси куйидагича ишлайди. Ўлчаи 0,6-0,8 мм. бўлган беҳ илдизининг майдаланган заррачаси махсус тайёрланган сеткали кассетага солиниб, экстрактор VI нинг ишчи камерасига жойлаштирилгач, экстрактор герметик маҳкамланади. Сўнг тизимга CO_2 гази юборилиб тизимдаги хаво тўлиқ чиқарилади. Бунинг учун 2-вентиль очиқ, 3-вентиль ёпиқ ҳолатда бўлиши таъминланади. CO_2 гази баллон I дан компрессор II га қабул қилиниб, 8-10 МПа гача сиқилгач суюқ фазага ўтади. Суюқ фаза ҳолатига ўтган CO_2 гази конденсатор III орқали сиғим IV йиғилади. Суюқ ҳолатдаги эритувчи вентиль 4 очилиши билан иссиқлик алмаштиргич V га қабул қилиниб температураси 33,0-33,5 °C етказилгач экстракторнинг устки қисмидан патрубкка орқали ишчи камерага узатилади. Бунда конденсаторга киришда эритувчининг босими ва конденсатордан чиқишдаги ҳарорати мос равишда манометр ва термометр билан ўлчанади. Эритувчи хомашёнинг қатламлари бўйича ўтиб, унинг таркибидаги БФМларни ўзига тўла эритиб олгунча ёпиқ цикл бўйича экстракциялаш жараёни давом этади. Экстракциялаш жараёни тугагач, 5 вентиль ёпилиб, 6 дроссель вентиль очилади. Бунда эритувчининг дросселланиши содир бўлиб, босими тушиб газ ҳолатига ўтади. Шунга мувофиқ экстракциялаш жараёни даврий режимда амалга оширилади.

Экстракциялаш жараёни давомида олинган беҳ илдизи экстрактининг кимёвий таркибини ўрганиш натижасида тритерпенлар ва флавоноидларга тегишли бўлган муҳим моддаларнинг таркибий қисмлари ўрганилди. Ажратиб олинган моддалар юқори самарали суюқлик хроматографияси усули ёрдамида тадқиқ қилиниб, унинг таркибида глицирризин кислотаси, глициррет кислотаси, ликвиритигенин, ликвиритин, изоликвиритигенин, изоликвиритин, ликуразид, ононин, формононетин моддалари мавжудлиги аниқланди (8-расм) .

Хроматография 254 нм тўлқин узунлигида амалга оширилиб, давомийлиги 15 мин., колонна ҳарорати 18 °C, элюент тезлиги 1000 мл/мин., намуна ҳажми $20 \cdot 10^{-3}$ мл. ташкил этди. Стандарт намуна сифатида аммоний глицирризинатдан (глицирризин кислота тузи) фойдаланилди.



8-расм. Беҳ илдизи экстрактининг хроматограммаси

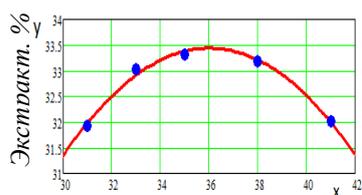
Беҳ илдизи ва олинган экстрактнинг физик – кимёвий кўрсаткичлари “UzTest” Давлат унитар корхонаси Бухоро филиали тизимидаги синов лабораториялари мажмуасининг озиқ-овқат ва халқ истеъмоли маҳсулотларини синовдан ўтказиш бўйича аккредитацияланган лабораторияда, микробиологик таҳлиллар эса санитария-эпидемиология марказининг микробиологик лабораториясида ўрганилди.

Олиб борилган тадқиқотлар асосида беҳ илдизи таркибидан БФМ экстракциялаш режимининг рационал параметрларини аниқлаш имконини берувчи кўп факторли режалаштириш усули қўлланилди. Босим, температура таъсирида БФМ концентрациясининг ўзгариш қонуниятларини тадқиқ қилиш учун бир қатор тажрибалар ўтказилди. Экстракциялаш жараёнини тавсифловчи регрессион тенглама олиниб, концентрация ўзгаришининг босимга, температурага ва экстракциялаш довомийлигига боғлиқлигини ифодаловчи натижалар олинди (9, 10, 11- расмлар).

$$y = -0,058 \cdot t^2 + 4,176 \cdot t + 41,772 \quad (12)$$

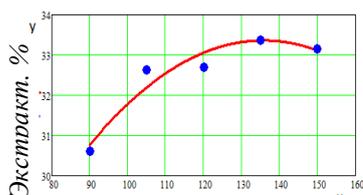
$$y = -0,00124 \cdot \tau^2 + 0,3366 \cdot \tau + 10,5366 \quad (13)$$

$$y = 0,7257 \cdot P^2 - 0,2211 \cdot P + 75,08 \quad (14)$$



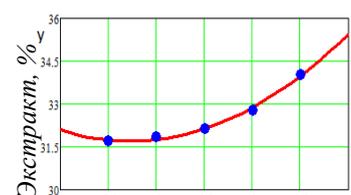
Температура, °C

9 -расм. Экстракт концентрациясининг хароратга боғлиқлик эгри чизиғи



Жараён давомийлиги, мин

10 – расм. Экстракт концентрациясининг вақтга боғлиқлик эгри чизиғи



Босим, МПа

11- расм. Экстракт концентрациясининг босимга боғлиқлик эгри чизиғи

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, беҳ илдизи таркибидаги компонентларни тўла ажратиб олиш учун мақбул бўлган экстрагент босими 8-9,5 МПа, температураси 33-35 °C ни, жараён давомийлиги 150 минутни ташкил этади.

Математик статистика ва эҳтимоллар назарияси қонуниятларига мувофиқ жараёни тавсифловчи, таъсир доираси юқори ва паст бўлган функциялар аниқланиб, қисман боғлиқлик даражаси юқори бўлган функцияларининг аҳамиятини чизиқли бўлмаган кўпайтирувчи корреляция коэффиценти R ёрдамида аниқланди:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N - 1) \cdot \sum_1^N (Y_3 - Y_p)^2}{(N - k - 1) \cdot \sum_1^N (Y_3 - Y_{yp})^2}} \quad (15)$$

бу ерда N - тасвирланган нуқталар сони ($N=5$); k – танланган факторлар сони ($k=3$); Y_3 - экспериментал натижа; Y_p - назарий натижа; Y_{yp} - ўртача қиймат.

Муҳим аҳамиятга эга бўлган функция:

$$t_R = \frac{R\sqrt{N - k - 1}}{1 - R^2} \quad (16)$$

R корреляция коэффициентларининг қийматлари ва унинг аҳамияти t_R 2- жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Корреляция коэффициенти R ва унинг қисман функциялар учун аҳамияти t_R

Функция	R	t_R	Функциянинг аҳамияти
$Y_1(t)$	0,988	73,5 > 2	Аҳамиятли
$Y_2(P)$	0,95	15,46 > 2	Аҳамиятли
$Y_3(\tau)$	0,99	237 > 2	Аҳамиятли

Таъриба натижалари асосида экстракциялаш жараёни учун регрессия коэффициентлари аниқланиб, умумий эмпирик регрессия тенгламаси олинди

$$Y_{\text{чик}} = \frac{(41,772 + 4,176 \cdot t - 0,058 \cdot t^2) \cdot (10,537 + 0,336 \cdot \tau - 0,0001 \cdot \tau^2)}{32,492 \cdot (75,080 - 0,2211 \cdot P + 7257 \cdot P^2)^{-1}} \quad (17)$$

(17) тенгламага кўра, таъсир этувчи параметрлар бўйича корреляция коэффициентлари қуйидагиларни: ҳарорат учун $R=0,67$, аҳамиятлилиги $t_R=2,105$; босим учун $R=0,77$, аҳамиятлилиги $t_R=3,386$, ҳамда экстракция жараёнининг давомийлиги бўйича $R=0,87$, аҳамиятлилиги $t_R=2,012$ ташкил этди.

“Беҳ илдини экстракциялаш жараёнини оптималлаштириш ва технологик ишланмалар самарадорлиги” деб номланган тўртинчи бобда хомашёнинг капилляр-ғовак структурасидаги БФМ ни ажратиб олиш имкониятини берувчи CO_2 -муҳитда экстракциялаш жараёни таҳлил қилиниб, оптималлаштириш усули қўлланилди. Ушбу усулнинг моҳияти шундан иборатки, технологик тизимни оптималлаштиришда, системада иштирок этаётган юқори ва қуйи тизимлар учун алоҳида-алоҳида содалаштирилган оптималлаштириш муаммоларини ҳал қилиш ва тизим элементлари кесимида олинган натижаларни мувофиқлаштириш ҳисобланади.

Ҳозирги кунда кенг қўлланилаётган усуллардан бири, бу тадқиқот вазибаларини уч босқичли оптималлаштириш ҳисобланади:

глобал оптималлаштириш - ҳар бир технологик тизимнинг кириш ва чиқиш параметрларига кўра иссиқлик ва модда алмашинув жараёнларини оптималлаштириш;

минтақавий оптималлаштириш – алоҳида олинган қурилмаларнинг кириш ва чиқиш параметрларига кўра оптималлаштириш;

маҳаллий оптималлаштириш -технологик тизимдаги ҳар бир аппарат ёки қурилмада кечадиган жараённи оптималлаштириш.

Маълумки, иссиқлик узатиш, модда алмашинув қурилмаларидаги узлуксиз жараёнларни локал (маҳаллий) оптималлаштириш орқали қўйилган масаланинг аниқ ечимини топиш қийинчилик туғдиради. Чунки жараён давомида иссиқлик узатиш, модда алмашинув тизимларида таъсир этувчи омиллар сони ортиб бориши билан кенг қамровли ҳисоб - китобларни амалга ошириш талаб этилади. Шу нуқтаи назардан, ушбу тадқиқот ишида экстракциялаш жараёнини оптималлаштириш масалаларини ечиш учун таъсир этувчи омиллар ва уларнинг чегаравий қийматлари, оптималлик

мезони ҳамда мақсад функциясини аниқлаш мақсадида технологик жараёни оптималлаштиришнинг поғонали таҳлил усулидан фойдаланилди.

Поғонали таҳлилнинг биринчи босқичида экстракциялаш жараёни давомида хомашёнинг капиллярлар ғовак структурасида кечадиган модда ўтказиш ва диффузия қонуниятлари ўрганилиб, оптималлаштириш критериялари аниқланди. Поғонали таҳлилнинг иккинчи босқичида оптималлик критерияси сифатида эритувчининг фазавий ўзгариши, омил сифатида эритувчининг босими ва қаттиқ заррачанинг ўртача радиуси танлаб олинди. Учинчи босқичда майдаланган қаттиқ заррача массасининг эритувчи массасига нисбати бўйича гидромодул танланиб модда алмашинув жараёни тадқиқ қилинди. Тўртинчи босқичда технологик тизим ва аппарат миқёсида таҳлиллар ўтказилиб, оптималлаштириш объекти сифатида конструктив ва технологик кўрсаткичлар жумладан, оптималлаштириш критерияси сифатида модда алмашинув юзаси F , ва эритувчининг сарфи G қабул қилиб олинди. Кўриб чиқиладиган экстракциялаш жараёнига таъсир этувчи омилларнинг чегаравий қийматларини, оптималлик критерияси ҳамда мақсад функцияларини аниқлашда экспериментал ва назарий натижаларга ҳамда олдинги бобларда олиб борилган таҳлилларга асосланиб, CO_2 - экстракциялаш жараёнининг мақбул режимлари аниқланди. Бешинчи босқичда оптималлаштириш объекти сифатида CO_2 экстрактор ва унда кечадиган жараён таҳлил қилинди. Маълумки, CO_2 экстрактор технологик тизимнинг бир қисми ҳисобланиб, мақсадга йўналтирилган тайёр маҳсулот ишлаб чиқарилади. Шунга мувофиқ, экстракциялаш технологик жараёнининг оптималлаштириш масаласи технологик харажатларни минималлаштириш ҳисобланиб, уни қуйидаги функция кўринишида ифодалаш мумкин:

$$Z = f(G_э, G_c, Э) \rightarrow \min \quad (18)$$

бу ерда: $G_э$ - экстрагент сарфи, G_c - хомашё сарфи, $Э$ - электроэнергия сарфи.

Шунга мувофиқ, экстракциялаш жараёнининг оптимал критерийси сифатида экстракцияланаётган модда чиқилишининг максимал қиймати қабул қилиниб, таъсир этувчи параметрлардан боғлиқлик функцияси олинди:

$$Y_{\text{чиқ}} = f(P, T, \tau) \rightarrow \min \quad (19)$$

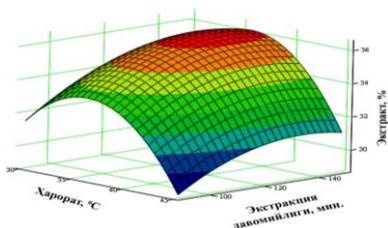
CO_2 муҳитда беҳ илдизини экстракциялаш жараёнини оптималлаштириш масаласини ечишнинг алгоритми ишлаб чиқилиб, таъсир этувчи омилларнинг оптимал қийматлари аниқланди.

Экстракция жараёнида муҳим факторлар бўлиб: эритувчи босимининг - юқори даражаси $P=9,0$ МПа, қуйи даражаси $P=8,5$ МПа; температурасининг - юқори даражаси $t=35$ °С, қуйи даражаси $t=33$ °С; экстракциялаш жараёни давомийлигининг - максимал қиймати $\tau = 136$ мин., минимал қиймати $\tau = 134$ мин.

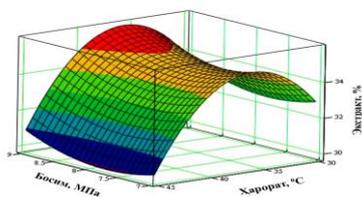
Экстракциялаш жараёнининг назарий тадқиқотлари бўйича вақт бирлиги ичида беҳ илдизи таркибидан ажратиб олинган БФМ миқдори

35,77 % ни, тажриба натижалари бўйича эса 36% ташкил этади. Бу ўз навбатида назарий ва тажриба натижаларининг мувофиқлигини кўрсатади.

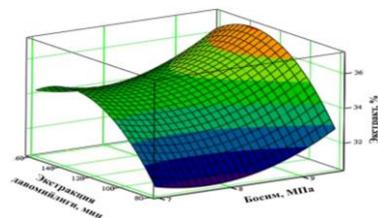
Экстракциялаш жараёнида беҳ илдизи таркибидан олинаётган экстракт унумининг таъсир этувчи омиллардан боғлиқлигини тавсифловчи натижалар 12,13,14 - расмларда келтирилган.



12 - расм. Экстракт унумининг температура ва жараён давомийлигига боғлиқлик графиги



13 - расм. Экстракт унумининг температура ва босимга боғлиқлик графиги



14 - расм. Экстракт унумининг босимга ва жараён давомийлигига боғлиқлик графиги

12, 13 ва 14 - расмлардан кўриш мумкинки, экстракциялаш жараёни давомида беҳ илдизи таркибидаги БФМнинг максимал экстракцияланиш самарадорлиги экстракторда ҳосил қилинган муҳитнинг босимига, температурасига, жараённинг давомийлигига боғлиқ. Экстрактордаги сиқилган CO₂ газининг босими P=8,5-9,0 МПа, температураси t=33-35⁰С ҳамда жараённинг давомийлиги 134-136 минутни ташкил этганда 36% атрофида экстракт олиш имконини берди.

Моддалар эрувчанлиги кўп ҳолларда температурага боғлиқ. Аммо, температуранинг ошиши, хомашё таркибидаги БФМнинг сифат кўрсаткичига таъсир кўрсатади. Шу нуқтаи назардан, газ муҳитидаги эритувчининг босимини критик нуқтагача ошириш орқали унинг температурасини минимал қийматгача тушириш имкониятини берувчи, беҳ илдизи таркибидаги БФМни максимал миқдорда ажратиб олишнинг технологик тизими яратилди ва экстракция жараёни такомиллаштирилди.

Экстракциялаш жараёнини жорий этиш ва амалга оширишдан кутилаётган иқтисодий самарадорлик (минг. сўм.):

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_T - E_n \cdot K = 362377 - 0,15 \cdot 315330 = 315\ 077$$

бу ерда E_n - капитал жамланма самарадорлигининг меъёрий коэффиценти (0,15); K - ишлаб чиқариш фондларига солиштирма капитал жамланма, минг сўм.

Ишлаб чиқариш фондларига қўйилган капитал жамланмани қоплаш муддати:

$$T = K / \mathcal{E}_3 = 315330 / 315077 = 1,001 \text{ йил.}$$

Йиллик даромад 414, 238 · 1000 = 414 238 минг сўм.

Технологик жараённи математик моделлаштириш ва оптималлаштириш орқали олинган мақбул режимлар ҳамда реал ишлаб чиқариш шароитида ўтказилган синов натижалари асосида такомиллаштирилган юқори технологик параметрларга эга бўлган беҳ илдизини экстракциялаш жараёни ва қурилмаси, дастлабки табиий хоссага эга бўлган экстрактлар олиш имкониятини берди.

ХУЛОСА

1. Беҳ илдизини CO_2 муҳитда экстракциялаш жараёнининг тажриба қурилмаси ишлаб чиқилиб, тўлиқ факторли экспериментни режалаштириш асосида таъсир этувчи омиллар аниқланди.
2. Ўсимлик хомашёларини экстракциялаш жараёни ва қурилмаларининг замонавий ҳолати ва ривожланиш тенденцияларининг тизимли таҳлили амалга оширилди.
3. Беҳ илдизи экстракти чиқишининг муҳит босимига, температурасига ҳамда экстракциялаш давомийлигига боғлиқлигини тавсифловчи умумлаштирилган регрессион тенглама олинган.
4. Турли ўлчамдаги беҳ илдизи заррачаларининг квази қатламларида экстракциялаш жараёнини тавсифловчи, жараёнининг динамик қонуниятларини ифодаловчи, мақбул режимларни ҳисоблаш имконини берувчи математик ва компьютер моделлар ишлаб чиқилган.
5. Экстракциялаш жараёни давомида майдаланган беҳ илдизи заррачаларининг квази қатламлари бўйича модда алмашинув ва диффузия қонуниятлари ўрганилиб, “қаттиқ жисм+суяқ” системасида модда концентрациясининг диффузия коэффициентига боғлиқлиги аниқланди.
6. Назарий ва экспериментал тадқиқотлар асосида беҳ илдизини экстракциялаш жараёнига таъсир этувчи параметрларнинг оптимал қийматларини танлаш ва қўллаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди. Жумладан, эритувчи босимининг - юқори даражаси $P=9,0$ МПа, қуйи даражаси $P=8,5$ МПа; температурасининг - юқори даражаси $t=35$ °С, қуйи даражаси $t=33$ °С; экстракциялаш жараёни давомийлигининг – максимал қиймати $\tau = 136$ мин., минимал қиймати $\tau = 134$ мин. ташкил этиши асосланди.
8. Юқори босимда сиқилган CO_2 газини қўллаб беҳ илдизини экстракциялаш жараёни бўйича амалга оширилган тадқиқот натижалари амалиётга жорий этилиб, Россия Федерациясининг Краснодар шаҳридаги “Научно-производственное предприятие Плазма К” МЧЖдаги соф фойда 21,2 млн.рубли, Бухоро вилоятидаги “Pharm Active” ва “Bukhara Roses” МЧЖ даги иқтисодий самарадорлик эса 315 млн. сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 03/28.02.2022. Т.101.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ БУХАРСКОМ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО -ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МИРЗАЕВА ШОХИСТА УСМОНОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ
ЛАКРИЧНОГО КОРНЯ В СРЕДЕ CO₂**

02.00.16 – Процессы и аппараты химических технологий и пищевых производств

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

Бухара – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером В 2018.2.PhD/T652

Диссертационная работа выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте. Автореферат диссертации написан на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице (www.bmti_info@edu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziyo.net).

Научный руководитель:

Джураев Хайрулло Файзиевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мирзаев Шавкат Мустахимович
доктор технических наук, профессор

Жумаев Каюм Каримович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация:

Каршинский инженерно-экономический институт

Защита диссертации состоится «11» августа 2022 года в «14» часов на заседании научного совета DSc.03/28.02.2022. Т.101.01 при Бухарском инженерно-технологическом институте (Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, дом 15). Тел.: (+99865)223-78-84, факс: (+99865)223-78-84, email: bmti_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института под № 377 (200117 г. Бухара, ул. К.Муртазаева 15). Тел.: (+99865) 223-78-84)

Автореферат диссертации разослан «21» июля 2022 года.
(реестр протокола рассылки № 5 от «20» июля 2022г.)



Н.Р. Баракаев
Председатель научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

Р.Р. Хайитов
Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.т.н., ст.науч.сот.

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Сегодня в мире особое внимание уделяется использованию современных технологий производства экологически чистых экстрактов для пищевой и фармацевтической промышленности путем переработки растительного сырья. Соответственно, важными являются внедрение интенсивных методов эффективного извлечения растительного сырья, создание энерго- и ресурсосберегающих технологий и техники.

В мире ведутся исследования по созданию процессов и устройств для получения высококонцентрированных экстрактов биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья при сохранении их природных свойств. В связи с этим особое внимание уделяется совершенствованию процесса экстракции и оборудования работающего на основе сжатого под высоким критическим давлением CO₂ газа, полностью отвечающего требованиям норм безопасности, позволяющего получать экстракты БАВ из лакричного корня, необходимых для пищевой и фармацевтической промышленности.

В республике в результате реформ, за последние пять лет, налажены политико-правовые, социально-экономические и научно-просветительские основы, необходимые при формировании Нового Узбекистана. В государственной программе по реализации стратегии развития Нового Узбекистана «Год человеческого достоинства и активной махалли» на 2022-2026 годы, ставятся задачи: «Разработка программы регулирования производства 17 видов субстанций и биологически активных веществ на основе переработки лекарственных растений. В том числе, наладить производство биологически активных веществ на основе переработки 83,8 тонны экстрактов лекарственных растений (кожуры граната, лакричного корня, плодов ромашки, косточек и кожуры винограда) в год»¹. А так же, поставлены задачи по выращиванию лакричного корня, модернизацию производственных мощностей, организации производства импортозамещающей и экспортоориентированной продукции, рациональное использование природных ресурсов, привлечение инвестиций местных и иностранных компаний для выращивания и увеличения промышленной переработки лакричного корня, организации производства экспортной продукции с высокой добавленной стоимостью, созданию промышленных плантаций до 3970 га в Республике Каракалпакстан, 700 га- в Хорезмской области до 2022 года. А также заготовки лакричного корня до 30 966 тонн в Республике Каракалпакстан, и 5600 тонн- в Хорезмской области к 2026 году². Соответственно, важным является применение эффективной и

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы» ПУ-60 от 7 января 2022 года.

² Постановление Президента Республики Узбекистан от 16 мая 2017 года № ПП-2970 «О мерах по увеличению производства и промышленной переработки корня солодки (лакрицы) в Республике Узбекистан».

энергосберегающей технологии для получения из лакричного корня высоко концентрированных биологически активных веществ на основе сжатого газа CO_2 при высоких критических давлениях, отвечающих мировым требованиям.

Настоящее исследование в определенной степени служит реализации задач, поставленных в указах и постановлениях и других нормативных актах, принятых в этой сфере (Постановление Президента Республики Узбекистан ПП-2492 от 12 апреля 2016 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию организации управления пищевой промышленностью Республики», Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №63 от 27.01.2018 года «О мерах по дальнейшему развитию производства и промышленной переработки солодки и других лекарственных растений в Республике Узбекистан»).

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики.

Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением по развитию науки и технологии Республики Узбекистан V- «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

Степень изученности проблемы. В научные исследования по комплексной переработке растительного сырья, ускорению обмена веществ в процессе экстракции, совершенствованию техники и технологии внесли свой вклад зарубежные ученые: Г.И. Касьянов, Б.С. Алаев, Л.Г. Александров, В.Е. Банашек, Р.Х. Блягоз, В.А. Карамзин, А. Богданович, Р.И. Шаззо, Б. Кауфтманн, П. Краулис, В.В. Кафаров, С.М. Горейши, С.П. Рудобашта, Е.П. Кошевой, А.Б. Пеховы. В этой же области вели научные исследования узбекские ученые: З.С. Салимов, Н.Р. Юсупбеков, А.Ф. Сафаров, А. И. Глушенкова, А. Артыков, Х.С. Нурмухамедов, Р.М. Мирзакаримов, Э. Сейтмуратов, Ю.К. Кадыров, К.Х. Гафуров, К.К. Жумаев, С.А. Абдурахимов и др.

К настоящему времени проделанная работа подтвердила практическую целесообразность проведения процесса экстракции в среде CO_2 для получения качественных экстрактов, сохраняющие естественные свойства.

Вместе с тем процесс экстрагирования лакричного корня в среде высокого давления CO_2 полностью не изучен, а также недостаточно исследованы оптимальные режимы проведения технологических процессов.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, в котором выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Бухарского инженерно-технологического института по практическому проекту №А-9-1 - «Разработка ресурсосберегающей экологически чистой технологии производства ингредиентов из растительного сырья с использованием сжиженной углекислоты».

Целью исследования является совершенствование процесса экстракции лакричного корня в среде CO_2 .

Задачи исследования:

разработка экспериментального лабораторного оборудования для экстракции лакричного корня в среде CO_2 и исследование процесса;

системный анализ, исследование закономерностей межфазной диффузии процесса экстракции лакричного корня в среде CO_2 ;

выявление факторов, влияющих на процесс экстракции, а также получение общего уравнения регрессии, описывающего процесс экстракции на основе обработки результатов эксперимента;

математическое описание закономерностей влияния CO_2 газа на процесс массообмена, разработка компьютерной модели и определение оптимальных параметров экстракции с использованием программного обеспечения MatLab;

совершенствование процесса экстракции лакричного корня в среде CO_2 путем ускорения межфазного массообмена.

Объектом исследования выбраны лакричный корень, его экстрактивные компоненты, фазовое состояние CO_2 газа, процесс экстракции, экстракционная установка.

Предметом исследования является исследование процесса экстракции лакричного корня с использованием CO_2 , а также с применением математических уравнений и компьютерной модели процесса.

Методы исследования. В исследовательской работе использовались методы многоуровневого системного анализа, статистического и математического планирования экспериментов, моделирования и, оптимизации технологических процессов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

обоснованы зависимости эффективности извлечения биологически активных веществ, содержащихся в лакричном корне, от давления, температуры, продолжительности воздействия сжатого CO_2 газа и коэффициента межфазной диффузии:

разработана математическая и компьютерная модель, позволяющая определить оптимальные режимы процесса экстракции лакричного корня;

определены оптимальные значения факторов, влияющих на процесс экстракции лакричного корня;

усовершенствован процесс экстракции лакричного корня, при использовании в качестве растворителя сжатого при высоком давлении CO_2 газа.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

выбран метод экстракции, направленный на извлечение биологически активных веществ из лакричного корня;

путём математического моделирования получены кривые изменения концентрации жидкой и твёрдой фазы на квазислоях частиц лакричного корня и определена адекватность результатов;

разработана полупромышленная установка для экстракции лакричного корня в среде сжатого при высоком давлении CO_2 газа, на основе опытов определены зависимости количества экстракта лакричного корня от влияющих факторов;

определены оптимальные параметры и режимы процесса экстракции в среде CO_2 .

Достоверность результатов исследования. Эксперименты были проведены с использованием современных высокоточных приборов. Результаты экспериментов обрабатывались с использованием компьютерных программ Matlab, Mathcad, Microsoft Excel и обоснованы адекватной математической моделью реального процесса.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований объясняется выявлением активных веществ, присутствующих в лакричном корне, анализом рациональной технологии и интенсификацией процесса экстракции.

Практическая значимость результатов исследований заключается в обосновании оптимального давления сжатого CO_2 газа для эффективной экстракции лакричного корня, математического и компьютерного моделирования, повышении эффективности производства, определении технико-экономических показателей процесса экстракции, полном извлечении биологически активных веществ из лакричного корня.

Внедрение результатов исследования.

На основе научных результатов, полученных по совершенствованию процесса экстракции лакричного корня в среде CO_2 под высоким давлением:

усовершенствованный процесс экстракции и аппарат с использованием сжатого газа CO_2 под высоким давлением включены в «Список инновационных разработок, принятых к внедрению в 2021-2025 годах Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана» (справка 18-129/12-21 Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана от 18 декабря 2021 года). В результате при давлении сжатого газа CO_2 8÷9,5 МПа удаётся ускорить процесс экстракции в 1,3÷1,4 раза и получить экстракт с содержанием БАВ 35,5%;

процесс экстрагирования лакричного корня с применением сжатого газа CO_2 под высоким давлением и экспериментально-испытательное устройство включены в «Список инновационных разработок, принятых к внедрению в 2021-2025 годах Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана» (справка 18-129/12-21 Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана от 18 декабря 2021 года). В результате экстракт из лакричного корня рекомендован для применения при лечении таких заболеваний, как желудочно-кишечные заболевания, бронхит, хроническая усталость, пневмония и т.д.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были представлены и обсуждены на 17 международных и 4 республиканских научных конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 42 научные работы, в том числе 19 статей в научных изданиях, из них 11 в республиканских и 8 в зарубежных журналах (в том числе 1 входящее в базу данных Web of Science), рекомендованных ВАК Республики Узбекистан, 1 монография. Получено 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность проведённого исследования, описываются цели, задачи, объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям науки и техники, раскрывается научная новизна и практические результаты научно-исследовательской работы, обоснована достоверность полученных результатов, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования, и сведения опубликованных работ и структура диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Процессы экстракции растительного сырья, технологические особенности их осуществления, экстракционные установки»** на основе литературного обзора изучены научно технические сведения о процессе и аппаратах экстракции растительного сырья. Анализ современного состояния использования газа CO_2 в системе управления процессом экстракции показывает необходимость проведения исследований для определения преимуществ безопасности процесса экстракции в среде CO_2 и снижения энергозатрат. Описаны способы получения качественных экстрактов, основанные на совершенствовании техники и технологии экстракции растворимых в среде CO_2 веществ, содержащихся в растительном сырье. Определены цели и задачи исследования.

Во второй главе исследования **«Системный анализ и математическое моделирование процесса экстракции лакричного корня в среде CO_2 »** использовались методы математического и компьютерного моделирования, основанные на стратегии системного анализа, для решения задачи интенсификации процесса экстракции лакричного корня с использованием сжатого CO_2 газа. Проанализированы объекты, аппараты и методы исследования. Разработана семи ступенчатая иерархическая структура процесса экстракции, математическая и компьютерная модели описывающие изменение концентрации экстракта лакричного корня в технологической системе и устройстве, взаимозависимость тепло- и массообменных процессов, диффузию слоев измельченных частиц сырья, законы массопередачи.

Количество БАВ, перешедшего из твердой фазы в жидкую:

$$G_m = G_0 \cdot a_0 - G_0 \frac{1 - a_0}{1 - a} \cdot a \quad (1)$$

где G_0 - расход сырья, a_0 - средняя концентрация БАВ в мисцелле.

Изменение концентрации БАВ в растворителе выражается следующим уравнением:

$$\frac{dy}{d\tau} = \frac{1}{V\rho} (Ly_0 - Ly + G_m) \quad (2)$$

где L , V , ρ – расход, объём и плотность жидкой фазы; y_0 – начальная концентрация БАВ в растворителе; y – исходящая концентрация БАВ в мисцелле; G_m – расход БАВ, перешедший из жмыха в растворитель.

Количество БАВ, перешедшего из внутреннего слоя частиц продукта во внешний слой:

$$M_{\text{БАВЗ}} = M_{\text{мцЗ}} \cdot a_{\text{БАВЗ}} \quad (3)$$

$$\frac{d(M_{\text{мцЗ}} \cdot a_{\text{БАВЗ}})}{d\tau} = M_{\text{мцЗ}} - a_{\text{БАВЗ}} \quad (4)$$

где: $M_{\text{БАВЗ}}$ – количество БАВ, перемещающегося из внутреннего слоя вещества во внешний слой; $M_{\text{мцЗ}}$ – количество мисцеллы; $a_{\text{БАВЗ}}$ – концентрация БАВ в мисцелле.

Количество БАВ, переходящего из внутреннего квазислоя продукта во внешний слой в процессе экстракции, характеризуется коэффициентом переноса вещества. Запишем математическое выражение, описывающее изменение концентрации БАВ в лакричном корне, следующим образом:

$$\frac{da_3}{d\tau} = \frac{1}{m_3} \cdot (G_{\text{прЗ}} - G_{\text{расЗ}}) \quad (5)$$

где: $G_{\text{прЗ}}$ – приход БАВ в квазислой частицы жмыха; $G_{\text{расЗ}}$ – расход БАВ через квазислой частицы жмыха; m_3 – масса мисцеллы в среднем квазислое частицы:

$$m_3 = V_{\text{мцЗ}} \cdot \rho_{\text{мцЗ}} \quad (6)$$

где: $V_{\text{мцЗ}}$, $\rho_{\text{мцЗ}}$ – соответственно, объём и плотность мисцеллы.

Расход БАВ, переходящего из внутреннего квазислоя лакричного корня во внешний:

$$G_{\text{расЗ}} = k \cdot F_{\text{внеш}} \cdot (a_{\text{внутЗ}} - a_{\text{внеш2}}) \quad (7)$$

где: k – коэффициент массопередачи; $F_{\text{внеш}}$ – площадь внешнего квазислоя частицы; $a_{\text{внутЗ}} - a_{\text{внеш2}}$ – разность концентраций внутреннего и внешнего квазислоев.

Коэффициент массопередачи:

$$k = \frac{D \cdot \rho_{\text{мц}}}{\sigma} \quad (8)$$

В процессе экстрагирования на основе теоретических исследований проанализировано количество БАВ, переходящего от внутреннего и среднего квазислоев продукта в единицу времени, и изучены закономерности межфазного массообмена.

Расход мисцеллы в аппарате при периодическом режиме процесса экстракции:

$$L = L_0 \frac{1 - y_0}{1 - y} \quad (9)$$

где L_0 – расход растворителя, поступающего в аппарат; L – расход мисцеллы в аппарате.

Математическое выражение, описывающее изменение концентрации БАВ в жидкой фазе, имеет следующий вид:

$$\frac{dy}{d\tau} \cdot m = L_0 \cdot y_0 - L_0 \frac{1-y_0}{1-y} y + G_{\text{БАВ}} \quad \text{или} \quad \frac{dy}{d\tau} \cdot m = L_0 \cdot \left(y_0 - \frac{1-y_0}{1-y} y \right) + G_{\text{БАВ}} \quad (10)$$

Используя уравнение (10), концентрацию мисцеллы, выходящей из аппарата, определяем следующим образом:

$$y = \frac{L_0 y_0 + G_m}{G_m + L} \quad (11)$$

Для изучения закономерностей межфазной диффузии при экстракции лакричного корня использован принцип случайного поиска, а с помощью компьютерной модели процесса определен коэффициент диффузии, соответствующий оптимальному режиму процесса экстракции.

Известно, что процесс экстракции на квазислоях продукта осуществляется неодинаково. Исходя из этого, изменение концентрации БАВ жидкой и твердой фазы в единицу времени не имеет одинакового значения.

Для изучения процесса экстракции в квазислоях сырья лакричного корня была разработана компьютерная модель для средних квазислоев материала (рис. 1).

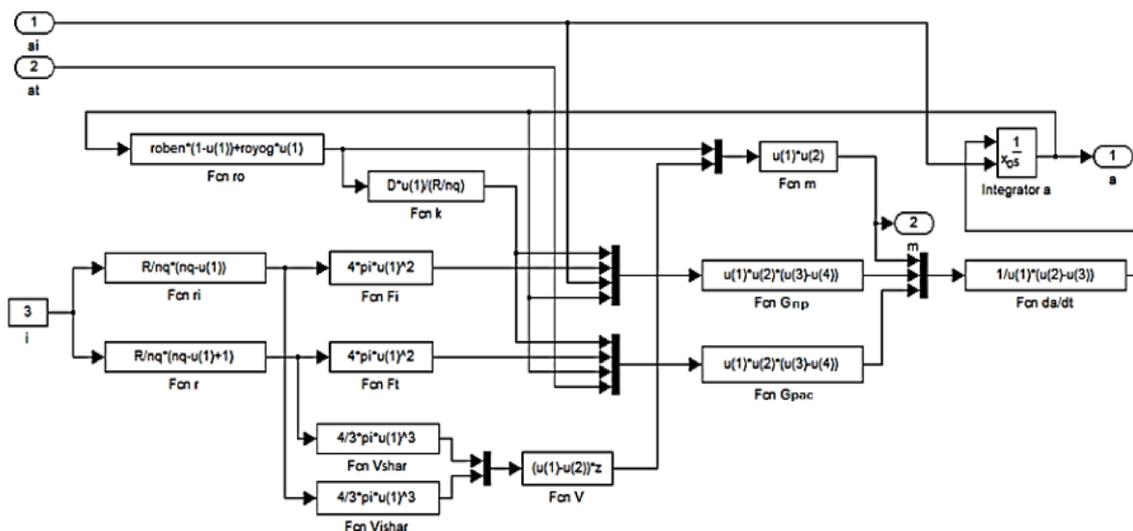


Рис. 1. Компьютерная модель описывающая изменение концентрации БАВ в квазислое частиц лакричного корня

В процессе экстракции, для извлечения БАВ из лакричного корня, определены предельные значения давления CO₂ газа и температура среды. По уравнению материального баланса процесса экстракции разработана компьютерная модель, описывающая изменение концентрации БАВ в квазислоях лакричного корня в системе «твёрдая фаза + жидкость» (рис. 2).

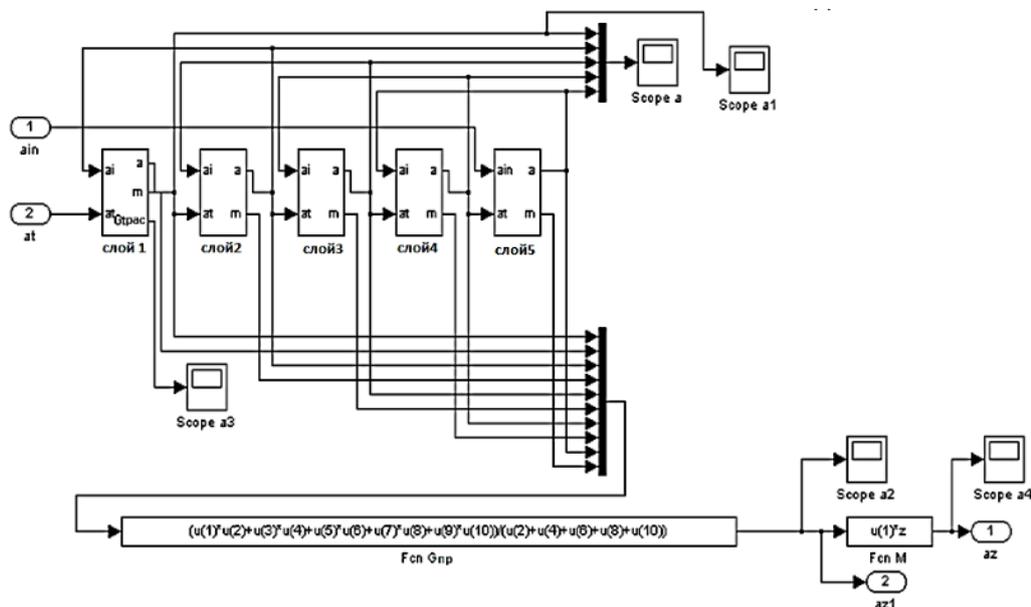


Рис. 2. Компьютерная модель изменения средней концентрации БАВ в частицах лакричного корня

Анализ результатов исследования показывает, что во внешнем слое частицы продукта экстрагирования происходят быстрее, а во внутреннем медленнее. Это объясняется тем, что интенсивность процесса экстрагирования зависит от коэффициента диффузии. Изменение концентрации БАВ в единицу времени показано на рисунке 3.

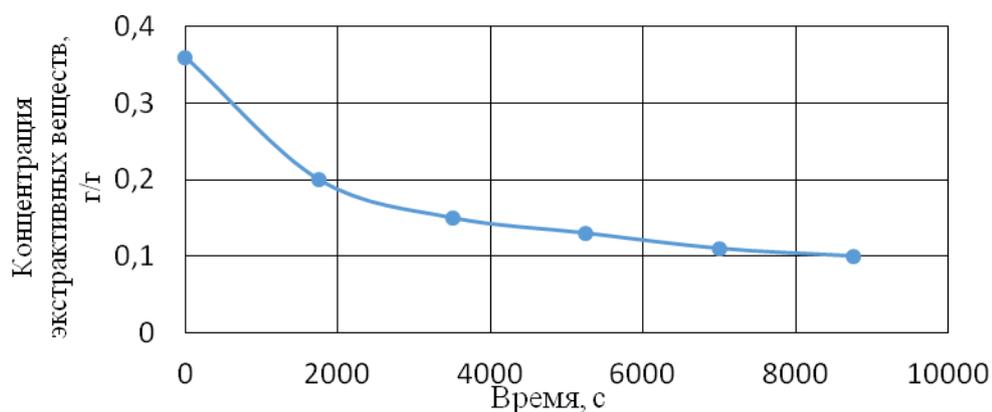


Рис. 3. Изменение концентрации БАВ в единицу времени

Из графика видно, что в процессе экстракции интенсифицируется извлечением вещества во внешний слой твёрдой фазы и соответственно уменьшается величина его концентрации. БАВ из внутреннего слоя начинают перемещаться во внешний слой в единицу времени.

Следовательно, интенсивность перехода вещества из одного слоя в другой зависит от коэффициента диффузии.

Проведенные исследования показали, что в процессе экстракции, количество вещества перешедшего из твёрдой фазы в жидкую зависит от давления растворителя CO₂, образующегося в экстракционной установке, температуры окружающей среды и коэффициента диффузии. Результаты изменения концентрации вещества, полученные на компьютерной модели, представлены на рис. 4 и 5.

Как видно из рисунка 4, процесс экстракции лакричного корня ускоряется в течение первых 3000 сек. количество вещества, выделяемое из твёрдой фазы, увеличивается, а после 8000 сек. достигает равновесия. В результате перехода БАВ из твёрдой фазы в растворитель, в первые 2000 сек. наблюдается снижение концентрации в твёрдой фазе, а продолжительность полного извлечения, составляет 4000-8000 сек. Если, анализировать изменение концентрации во всех квазислоях частиц лакричного корня, то равновесное состояние в верхнем слое составляет 4000-5000 сек, в среднем и внутреннем слоях 8000-9000 сек. (рис. 5).

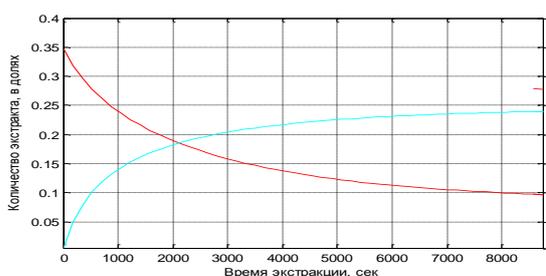


Рис. 4. Изменение концентрации БАВ в твёрдой и жидкой фазах ($D = 0,9 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$)

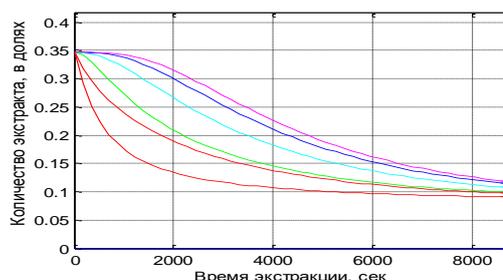


Рис. 5. Изменение концентрации БАВ в квазислоях твёрдой фазы ($D = 0,9 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$)

Результаты исследования процесса экстракции на основе компьютерной модели и экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты теоретических и экспериментальных исследований

Время, сек	Остаточная концентрация БАВ, г/г		Дисперсия
	Экспериментальные результаты	Теоретические результаты	
0	0,36	0,38	0,00040
1750	0,2	0,23	0,00090
3500	0,15	0,17	0,00040
5250	0,13	0,15	0,00040
7000	0,11	0,12	0,00010
8750	0,1	0,11	0,00010
			0,000383

Среднеквадратическое отклонение составляет 4,53 %.

На основе системного анализа разработана математическая модель, описывающая процесс экстракции лакричного корня в среде CO_2 , извлечения веществ необходимых для пищевой и фармацевтической промышленности. На основе компьютерной модели процесса были получены кривые и определены коэффициенты диффузии, отражающие изменение концентрации в единицу времени по слоям частиц. Исследованы закономерности взаимозависимостей влияющих параметров.

Разработанная математическая и компьютерная модели могут быть положены в основу решения практических задач оптимизации процесса экстракции, рационального технологического и аппаратурного проектирования.

В третьей главе исследования, «Характеристика исследуемых объектов, экспериментальная установка и результаты исследования. Методы анализа и оценки» рассмотрена конструкция и принцип действия установки экстракции лакричного корня с использованием CO_2 , анализирована высоко эффективная жидкостная хроматография экстрактов лакричного корня, технологические режимы и параметры процесса экстракции лакричного корня, методы статистической обработки.

Предложена конструкция экстрактора для экстракции лакричного корня с использованием сжатого CO_2 газа при высоком давлении. Корпус которого выполнен из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т (рис.6).

На основании проведенных исследований создана экспериментальная установка для реализации процесса экстракции, работающая при высоком давлении, состоящая из дополнительных оборудования – компрессора, дроссельного вентиля, конденсатора и теплообменника (рис. 7).

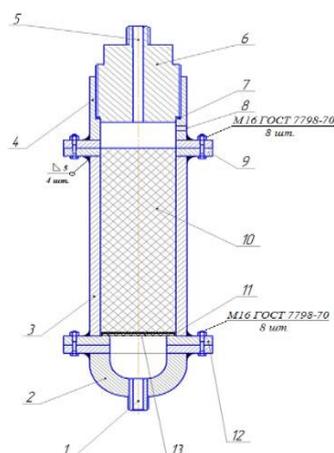


Рис.6. Экстрактор высокого давления

- 1- Патрубок для выхода экстракта,
- 2 – дно экстрактора,
- 3 - цилиндрический корпус, 4 - крышка,
- 5 - патрубка для входа сырья, 6 - крышка-гайка, 7 - уплотнитель, 8 - отверстие для поступления растворителя, 10 - кассета, 11 - сетчатое днище, 9-12 - фланцы,
- 13 - зерновые пластины.

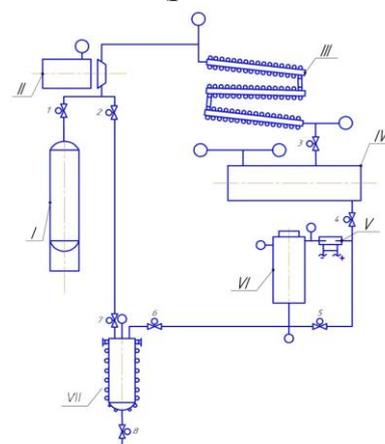


Рис.7. Принципиальная схема экспериментальной установки

- I - баллон высокого давления, наполненный CO_2 газом; II - компрессор; III - конденсатор; IV - емкость; V - теплообменник;
- VI - экстрактор; VII - сепаратор-испаритель.

Лабораторная установка процесса экстракции лакричного корня в среде CO_2 работает следующим образом. Специально подготовленную сетчатую кассету, заполненную измельчённым до размера 0,6-0,8 мм лакричным корнем, помещают в рабочую камеру экстрактора VI, после экстрактор герметизируют. Затем в систему подаётся CO_2 газ и полностью удаляется воздух. Для этого нужно убедиться, что клапан 2 открыт, а клапан 3 закрыт. Газ CO_2 отбирается из баллона I в компрессор II и сжимается до 8-10 МПа, в следствии чего, газ переходит в жидкую фазу. Газ CO_2 , перешедший в жидкофазное состояние, через конденсатор III собирается в баке IV. После открытия клапана 4, жидкий растворитель отводится в теплообменник V и нагревается до температуры 33-33,5 °С, после этого из верхней части экстрактора по трубопроводу подаётся в рабочую камеру. При этом давление растворителя на входе в конденсатор и его температура при выходе из конденсатора измеряется манометром и термометром, соответственно. Растворитель проходит через слои сырья и процесс экстракции продолжается по замкнутому циклу до полного растворения в нём БАВ. После завершения процесса экстракции, вентиль 5 закрывается и открывается дроссельный клапан 6. При этом растворитель дросселируется, давление падает, экстрагент переходит в газообразное состояние. Соответственно, процесс экстракции осуществляется в периодическом режиме.

В результате изучения химического состава CO_2 - экстракта лакричного корня, определены важные компоненты индивидуальных веществ, относящихся к тритерпенам и флавоноидам. Извлеченные вещества анализированы методом высоко эффективной жидкостной хроматографии. Определено, что в составе данного вещества имеются глицирризиновая кислота, глицирретовая кислота, ликвиритигенин, ликвиритин, изоликвиритигенин, изоликвиритин, ликуразид, ононин, формонетин (рис. 8).

Хроматографию проводили при длине волны 254 нм., длительности – 15 мин., температуры колонки 18 °С, скорости элюента 1000 мл/мин., и объеме пробы $20 \cdot 10^{-3}$ мл. В качестве стандарного образца использовался глицирризинат аммония (соль глицирризиновой кислоты).

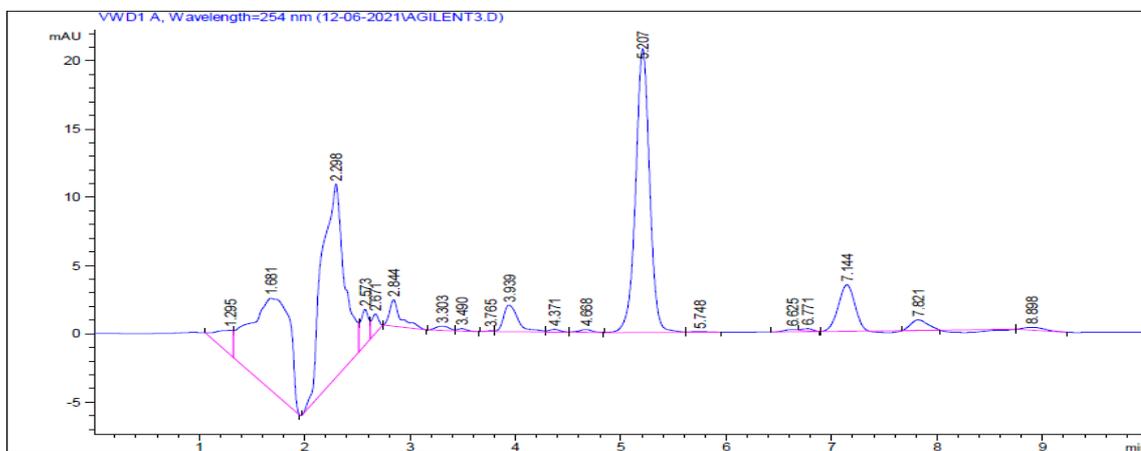


Рис. 8. Хроматограмма экстракта лакричного корня

Физико-химические показатели лакричного корня и извлечённого экстракта из лакричного корня были исследованы в аккредитованной лаборатории по испытаниям пищевой продукции и товаров народного потребления комплекса испытательных лабораторий Бухарского филиала Государственного унитарного предприятия «UzTest». Микробиологический анализ произведен в лаборатории микробиологии санитарно-эпидемиологического центра.

На основании исследований использован метод многофакторного планирования, позволяющий определить рациональные параметры режима извлечения БАВ из лакричного корня. Проведены ряд экспериментов по изучению закономерностей изменения концентрации БАВ под влиянием давления и температуры. Получено уравнение регрессии, описывающее процесс экстракции. Полученные результаты, показывают, что изменение концентрации зависит от давления, температуры и продолжительности экстракции (рис. 9, 10, 11).

$$y = -0,058 \cdot t^2 + 4,176 \cdot t + 41,772 \quad (12)$$

$$y = -0,00124 \cdot \tau^2 + 0,3366 \cdot \tau + 10,5366 \quad (13)$$

$$y = 0,7257 \cdot P^2 - 0,2211 \cdot P + 75,08 \quad (14)$$

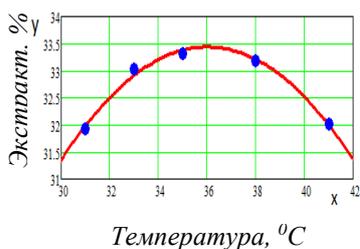


Рис. 9. График зависимости концентрации экстракта от температуры

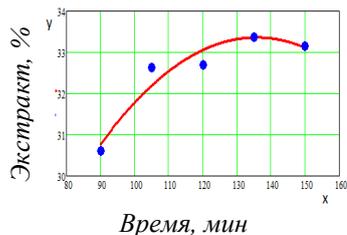


Рис. 10. График зависимости концентрации экстракта от времени

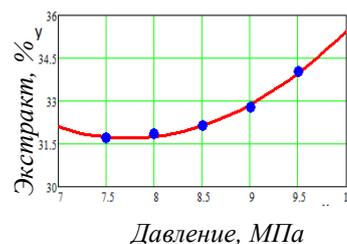


Рис. 11. График зависимости концентрации экстракта от давления

Полученные результаты показывают, что оптимальная температура для полного выделения БАВ из лакричного корня составляет 33-35 °С, продолжительность процесса 150 минут, давление растворителя 8-9,5 МПа.

В соответствии с законами математической статистики и теории вероятностей определены функции, описывающие процесс, с высокой и низкой уровнями влияния, с помощью нелинейного умножения коэффициента корреляции R значимости функций:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N - 1) \cdot \sum_1^N (Y_э - Y_p)^2}{(N - k - 1) \cdot \sum_1^N (Y_э - Y_{cp})^2}} \quad (15)$$

где N – количество описанных точек (N = 5); k – количество выбранных факторов (k = 3); Y_э – результат эксперимента; Y_p – теоретический результат; Y_{cp} – среднее значение.

Значимость функции:

$$t_R = \frac{R\sqrt{N - k - 1}}{1 - R^2} \quad (16)$$

Значения коэффициентов корреляции R и их значимость t_R приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициент корреляции R , и его значение для частичных функций t_R .

Функция	R	t_R	Значимость функции
$Y_1(t)$	0,988	$73,5 > 2$	значима
$Y_2(P)$	0,95	$15,46 > 2$	значима
$Y_3(\tau)$	0,99	$237 > 2$	значима

На основании экспериментальных исследований были определены коэффициенты регрессии для процесса экстракции и получено обобщенное эмпирическое уравнение:

$$Y_{\text{вых}} = \frac{(41,772 + 4,176 \cdot t - 0,058 \cdot t^2) \cdot (10,537 + 0,336 \cdot \tau - 0,0001 \cdot \tau^2)}{32,49^2 \cdot (75,080 - 0,2211 \cdot P + 7257 \cdot P^2)^{-1}} \quad (17)$$

Согласно уравнению (17) коэффициенты корреляции для влияющих параметров составляют: для температуры $R=0,67$, значимость $t_R=2,105$; для давления $R=0,77$, значимость $t_R=3,386$, а для продолжительности процесса экстракции $R=0,87$ и значимость $t_R=2,012$.

В четвертой главе «**Оптимизация процесса экстракции лакричного корня и эффективность технологических разработок**» проанализирован процесс экстракции в среде CO_2 , применён метод оптимизации, позволяющий извлечь БАВ из капиллярно-пористой структуры лакричного корня. Суть этого метода заключается в оптимизации технологической системы, отдельному решению упрощённых оптимизационных задач для верхних и нижних систем, входящих в эту систему, и согласования результатов, полученных на пересечении элементов системы.

Сегодня, одним из наиболее широко используемых методов является трехэтапная оптимизация исследовательских задач:

глобальная оптимизация – оптимизация тепловых и массообменных процессов по входящим и исходящим параметрам каждой технологической системы;

региональная оптимизация – оптимизация входящих и исходящих параметров отдельных устройств;

локальная оптимизация – оптимизация процесса, происходящего в каждом аппарате или устройстве технологической системы.

Известно, что тепло- и массообмен веществ затрудняет поиск чёткого решения проблемы за счёт локальной оптимизации непрерывных процессов в массообменных устройствах. Потому что в процессе теплообмена по мере увеличения количества факторов, влияющих на тепло- и массообменные системы, необходимо проводить комплексные расчёты. В связи с этим в данном исследовании применялся метод ступенчатого анализа оптимизации процесса для определения факторов, влияющих на процесс экстракции, и их значений, критериев оптимальности и целевой функции.

На первом этапе ступенчатого анализа изучены закономерности переноса и диффузии вещества в капиллярно-пористой структуре сырья в

процессе экстракции и определены критерии оптимизации. На втором этапе анализа в качестве критериев оптимальности был выбран фазовый переход растворителя, а в качестве критерия выбраны – давление растворителя и средний радиус твёрдой частицы. На третьем этапе изучен процесс теплообмена путём подбора гидромодуля по отношению массы измельчённой твёрдой частицы к массе растворителя. На четвёртом этапе проведён анализ технологической системы и аппарата процесса экстракции, в качестве критерия оптимизации приняты площадь поверхности массообмена F и расход растворителя G . На основе экспериментальных и теоретических результатов, анализа предыдущих глав были определены оптимальные режимы процесса CO_2 экстракции, а также определены предельные значения влияющих факторов, критерий оптимальности и целевая функция рассматриваемого процесса. На пятом этапе был проанализирован CO_2 экстрактор как объект оптимизации и процесс, протекающий в нём. Известно, что CO_2 - экстрактор является частью технологической системы, который производит целевой готовый продукт. Таким образом, задачей оптимизации технологического процесса экстракции является минимизация технологических затрат, которые могут быть представлены по обобщенной форме:

$$Z = f(G_3, G_c, \mathcal{E}) \rightarrow \min \quad (18)$$

где: G_3 – расход экстрагента, G_c – расход сырья, \mathcal{E} – расход электроэнергии.

Соответственно, в качестве оптимального критерия процесса экстрагирования был принят максимальный выход экстрагируемого вещества и получена функция зависимости от влияющих параметров:

$$Y_{\text{вых}} = f(P, T, \tau) \rightarrow \min \quad (19)$$

Разработан алгоритм решения задачи оптимизации процесса экстракции лакричного корня в среде CO_2 и определены оптимальные значения влияющих факторов.

Наиболее важными факторами являются: верхний уровень давления растворителя $P=9,0$ МПа, нижний уровень $P=8,5$ МПа; верхний уровень температуры $t=35$ °С, нижний уровень $t=33$ °С; продолжительность процесса экстракции, максимальное значение $\tau=136$ мин., минимальное значение $\tau=134$ мин.

По результатам теоретических исследований процесса экстракции количество полученного БАВ из местного лакричного корня в единицу времени составляет 35,77%, а по результатам эксперимента - 36%. Это показывает совместимость теоретических и экспериментальных результатов.

Результаты, характеризующие зависимость выхода экстракта, полученного из лакричного корня в результате экстрагирования, от влияющих факторов, представлены на рис. 12,13,14.

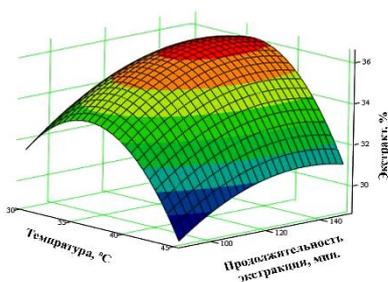


Рис. 12. График зависимости выхода экстракта от температуры и продолжительности процесса

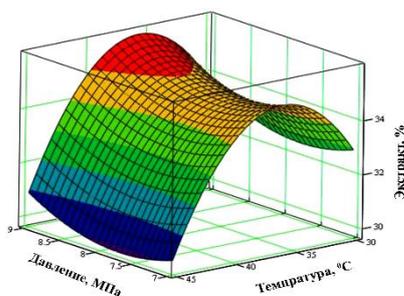


Рис. 13. График зависимости выхода экстракта от температуры и давления

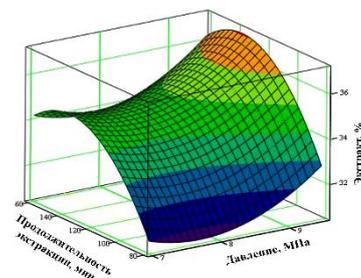


Рис. 14. График зависимости выхода экстракта от времени и давления

Как видно из рисунков 12, 13 и 14, максимальная эффективность извлечения БАВ из лакричного корня в процессе экстракции зависит от давления, температуры образующихся в экстракторе и продолжительности процесса. При давлении сжатого углекислого газа $P=8,5\div 9,0$ МПа, температуры $T=33\div 35$ °С и продолжительности процесса 134÷136 минут, позволяет извлечь около 36% экстракта.

Растворимость веществ часто зависит от температуры. Однако повышение температуры влияет на качество БАВ в сырье. В связи с этим разработана технологическая система и усовершенствован процесс извлечения максимального количества БАВ из лакричного корня, что позволяет снизить его температуру до минимального значения за счёт повышения давления растворителя в газовой среде до критической точки.

Ожидаемая экономическая эффективность внедрения и реализации процесса экстракции (тыс. сум):

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_r - E_n \cdot K = 362377 - 0,15 \cdot 315330 = 315\ 077$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности накопления капитала (0,15); K – удельные капитальные вложения в производственные фонды, тыс. сум.

Срок погашения капитальных вложений в производственные фонды:

$$T = K / \mathcal{E}_3 = 315330 / 315077 = 1,001 \text{ год.}$$

Годовой доход $414\ 238 \cdot 1000 = 414\ 238$ тыс. сум.

На основе оптимальных режимов, полученных путём математического моделирования и оптимизации технологического процесса, и результатов испытаний, проведенных в реальных производственных условиях, процесс и установка экстрагирования местного лакричного корня с улучшенными высокими технологическими показателями позволили получить экстракты с исходными природными свойствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана лабораторная установка процесса экстракции лакричного корня в среде сжатого CO_2 газа под высоким давлением и определены влияющие факторы, на основе планирования полнофакторного эксперимента.
2. Произведён системный анализ современного состояния и тенденций развития процесса и устройств экстракции растительного сырья.
3. Получено обобщенное уравнение регрессии, описывающее зависимость выхода экстракта лакричного корня от давления, температуры и продолжительности экстракции.
4. Разработана математическая и компьютерная модель, описывающая динамические закономерности, позволяющая рассчитывать оптимальные режимы процесса экстракции в квази слоях при различных размерах частиц лакричного корня.
5. В процессе экстракции изучены закономерности массообмена и диффузии в квазислоях измельчённой частицы лакричного корня, установлено, что в системе «твёрдое тело+жидкость» концентрация вещества зависит от коэффициента диффузии.
6. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по выбору и применению оптимальных значений параметров, влияющих на процесс экстракции лакричного корня. В частности, верхний уровень давления растворителя $P=9$ МПа, нижний уровень $P=8,5$ МПа; верхний предел температуры $t=35$ °С, нижний предел $t=33$ °С; продолжительность процесса, максимальное $t=136$ мин., минимальное $t=134$ мин.
7. Результаты исследований по экстрагированию лакричного корня в среде сжатого CO_2 газа под высоким давлением внедрено в эксплуатацию в ООО «Научно-производственное предприятие «Плазма К» г. Краснодар, Россия с прогнозируемой чистой прибылью в размере 21,2 млн. руб а также внедрено в ООО «Pharm Active» и ООО «Bukhara Rose» Бухарской области с экономической эффективностью 315 млн.сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSC. 03/28.02.2022.T.101.01 AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE BUKHARA ENGINEERING -
TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

BUKHARA ENGINEERING - TECHNOLOGICAL INSTITUTE

MIRZAEVA SHOKHISTA USMONOVNA

**IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF EXTRACTION OF LICORICE
ROOT IN A CO₂ ENVIRONMENT**

02.00.16 - Processes and apparatus of chemical technologies and food productions

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

Bukhara-2022

The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B 2018.2. PhD/T 652

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

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

Scientific supervisor:

Djuraev Xayrullo Fayzievich
doctor, technical sciences, professor

Official opponents:

Mirzaev Shavkat Mustaqimovich
doctor of technical sciences, professor

Jumaev Qayum Karimovich
candidate of technical sciences, docent

Leading organization:

Karshi Engineering - Economical Institute

Defense of the dissertation will take place on 11.08 2022 at «14:00» o'clock at the meeting of Scientific Council number DSc. 03/28.02.2022.T.101.01 Bukhara Engineering-Technological Institute. (Address: 200100, Bukhara, st. K. Murtazaev 15. Tel.: (+99865) 223-78-84, fax: (+99865) 223-78-84, email: www.bmti_info@edu.uz).

The dissertation has been registered at the Information-Resource Center of the Bukhara Engineering -Technological Institute. (№ 377 from which in the IRC). (200117 Bukhara, st. K. Murtazaev 15). Tel.: (+99865) 223-78-84).

The abstract of dissertation has been distributed «12» July 2022 year.
(Protocol at the regiter No 5 dated «10» may 2022 year.)



N.R. Barakaev
Chairman of Scientific Council of the awarding of the Scientific Degrees, Doctor of technical sciences, professor

R.R. Khayitov
Scientific secretary of the Scientific Council for the awarding of the Scientific Degrees, Doctor of technical sciences, senior researcher

I.B. Isabayev
Chairman of the Scientific Seminar for the awarding of Scientific Degrees, Doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of the (PhD) thesis)

The aim of the research is to improve the process of extraction of licorice root in a CO₂ environment.

The object of the research is selected licorice root, its extractive components, spatial composition of CO₂ gas, extraction process, extraction facility.

The scientific novelty of the research is as follows:

the dependences of the efficiency of extraction of biologically active substances contained in the licorice root on pressure, temperature, duration of exposure to compressed CO₂ gas and interfacial diffusion coefficient are substantiated:

a mathematical and computer model has been developed to determine the optimal modes of the licorice root extraction process;

the optimal values of the factors influencing the extraction process of licorice root were determined;

the extraction process of licorice root has been improved, using CO₂ gas compressed at high pressure as a solvent.

Implementation of research results.

Based on scientific results obtained on the improvement of the process of extraction of licorice root in a high pressure CO₂ environment:

an improved extraction process and an apparatus using high-pressure compressed CO₂ gas are included in the «List of innovative developments accepted for implementation in 2021-2025 of the Uzbekistan Food Industry Association» (certificate № 18-129 / 12-21 dated December 18, 2021 of the Food Industry Association of Uzbekistan). As a result, at a pressure of compressed CO₂ gas of 8÷9.5 MPa, it is possible to speed up the extraction process by 1.3÷1.4 times and obtain an extract with a BAS content of 35,5%;

the process of extracting licorice root using compressed CO₂ gas under high pressure and an experimental test device are included in the «List of innovative developments accepted for implementation in 2021-2025 by the Food Industry Association of Uzbekistan» (certificate № 18-129 / 12-21 dated December 18, 2021 of the Food Industry Association of Uzbekistan). As a result, licorice root extract is recommended for use in the treatment of diseases such as gastrointestinal diseases, bronchitis, chronic fatigue, pneumonia, etc.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 117 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (часть I; part I)

1. K. Gafurov, B. Muhamadiev, Sh.U. Mirzaeva, Production ingredients from plant raw materials by CO₂ extruction, Lambert Academic Publishing, Монография, 2018. - P. 70-93.
2. К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева, CO₂ – экстракция: проблемы и перспективы. // Развитие науки и технологий Бухарский инженерно-технологический институт №4, 2015. С. 22-26 (05.00.00; №24).
3. Ш.У.Мирзаева, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ф.С. Кулдашева, Массоперенос при фильтрации сверхкритического CO₂, через зернистый слой обрабатываемого растительного материала. // Развитие науки и технологий Бухарский инженерно-технологический институт №4, 2016, С. 19-22. (05.00.00; №24).
4. Х.Ф.Джураев, К.Х.Гафуров, Б.Т.Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева, Ф.С.Кулдошева. Влияние степени измельчения растительного сырья на скорость сверхкритической CO₂ – экстрагирования. // Развитие науки и технологий Бухарский инженерно-технологический институт №4, 2017, Б. 80-84. (05.00.00; №24).
5. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ф.С. Кулдошева, Мирзаева Ш.У., Определение параметров до – и сверхкритической экстракции растительного сырья двуокисью углерода. // Развитие науки и технологий Бухарский инженерно-технологический институт №1, 2018, Б. 50-55. (05.00.00; №24).
6. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Н.Р. Джураева , Ш.У. Мирзаева. Коэффициент диффузии и растворимость растительных ингредиентов в сверхкритической углекислоте. // Фан ва технологиялар тараққиёти Бухоро муҳандислик – технология институти №1, 2018, Б. 66-71. (05.00.00; №24).
7. Sh.U. Mirzaeva. Extraction of Glycyrrhizic Acid from Licorice Root using CO₂. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Volume 6, Issue 4, April 2019, India, - P. 8939-8946. (05.00.00; №8).
8. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Мирзаева Ш.У. Системный анализ процесса экстракции растительных материалов в экстракционной установке. // Развитие науки и технологий, №3, 2020, С. 11-15. (05.00.00; №24).
9. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Получение глицирризиновой кислоты из местного лакричного корня методом экстракции. // Развитие науки и технологий Бухарский инженерно-технологический институт №1, 2020, Б. 80-84. (05.00.00;

№24).

10. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Ж. Жумаев. Математическое моделирование процесса экстракции сверхкритической экстракции биологически активных веществ из местного лакричного корня, *Universum: Технические науки, научный журнал.* // №10(79), Москва. 2020. <https://7universum.com/ru/tech/archive/category/1079>

II бўлим (часть II; part II)

11. Ш.У. Мирзаева, К.Х.Гафуров, Ж. Жумаев. Свидетельство об официальной регистрации программы для электронных – вычислительных машин Оптимизация процесса получения CO₂ экстракта из лакричного корня DGU 09833, 05.01.2021.
12. А.А. Артиков, О. А. Маматкулов, Ж.Х. Хасанов, А.Б. Усенов, З. А. Машарипова, Свидетельство об официальной регистрации программы для электронных – вычислительных машин Программное обеспечение для расчета необходимой концентрации продукта в твердой частице в процессе экстракции DGU 13935, 28.12.2021.
13. Сафаров О.Ф., Гафуров К.Х., Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Сверхкритические флюидные экстракты их растительного сырья и их пищевая безопасность. // «Научный вестник Бухарского государственного университета», №4, 2015, С. 6-14. (01.00.00; №3).
14. Сафаров О.Ф., Гафуров К.Х., Ш.У. Мирзаева. Энергосбережение в установке для экстракции сверхкритическим углекислым газом. // «Научный вестник Бухарского государственного университета», №1, 2016, С. 21-26. (01.00.00; №3).
15. К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Сверхкритическая [СК] CO₂ экстракция глицирризиновой кислоты из местных лакричных корней. // Бутлеровские сообщения №1, том 49. 2017, Татарстан, С. 108-114.
16. К.Э. Рузиева, Б.Т. Мухаммадиев, К.Х. Гафуров, Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева. Химические реакции в сверхкритических флюидах. // Научный вестник Бухарского государственного университета, №2, 2017 г. С. 34-38. (01.00.00; №3).
17. К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, К.Э. Рузиева, В.Н. Ахмедов. Моделирование разных режимов экстракции системой растворителей этанол+CO₂. // Научный журнал, Ученый XXI века 1-3, 2017, С. 44-47.
18. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Сравнительный анализ влияния давления и температуры на процесс сверхкритической CO₂-экстракции растительного сырья. // Бутлеровские сообщения №7, том 55. 2018, Татарстан, С. 109-113.
19. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Сверхкритическая CO₂ экстракция глицирризиновой кислоты из местного лакричного корня: оптимизация условий экстракции, используя RSM (response surface methodology). *Новости науки*

- Казахстана, научно-технический журнал, Казахстан, №4, 2019, С.- 55-72.
20. K. Gafurov, B. Muhammadiev, Sh. Mirzaeva, F. Kuldosheva. Obtaining extracts from plant raw materials using carbon dioxide. // Пищевая наука и технология, Научно-производственный журнал Одесса, Том 14 № 1 (2020), С. 47-53. (01.00.00; (1) Web of Science)
 21. Х.Ф. Джураев, К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ж. Жумаев, Ш.У.Мирзаева. The influence of technological parameters on the process of CO₂-extraction of biologically active substances from licorice root. // The American journal of applied science, Volume 2, 2020. P. 273-286.
 22. Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева, Турсунов Р. Полезные свойства солодки (лакрицы). материалы научной конференции “Применение инновационных подходов и технологий как приоритет в развитии активного предпринимательства” Бухара, 2018, С. 48.
 23. К.Х.Гафуров, Б.Т.Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Применение технологии СО₂-экстракции для растительного сырья Узбекистана. // Технологические особенности производства и применения СО₂-экстрактов из растительного сырья, Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного университета, 2018, С. – 45-47.
 24. Б.Т. Мухаммадиев, Л.Н. Ниязов, Ш.У. Мирзаева, Сверхкритическая флюидная экстракция растительных ингредиентов и их пищевая безопасность. // Материалы 66-ой годичной научно-практической конференции ТГМУ и Абу али ибни Сино с международным участием, в рамках которой проходят Симпозиум детских хирургов «Хирургия пороков развития у детей и Веб-симпозиум по нормальной физиологии, посвященные «Году развития туризма и народных ремесел», Душанбе, 2018, С. – 192.
 25. К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Получение экстракта из местного лакричного корня сверхкритической СО₂-экстракцией, Технологические особенности производства и применения СО₂-экстрактов из растительного сырья. // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного университета, 2018, С. – 23-24.
 26. К.Х. Гафуров, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева. Аппаратурное оформление процесса экстракции сверхкритической СО₂, Современные аспекты производства и переработки сельхозхозяйственной продукции. // Сборник статей по материалам V Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции Кубанского ГАУ. 2019. Краснодар. С. 394-399.
 27. Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева. Системный анализ экстракции маслосодержащего материала в экстракционной установке с сверхкритическим углекислым газом. // Материалы международной

- научной конференции «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства», Бухара-2019, С. - 109-113.
28. Ш.У. Мирзаева, У.Р. Рахматов. Общая характеристика сырья солодки. // Материалы международной научной конференции «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства», Бухара-2019, С. – 323-325.
 29. Ш.У. Мирзаева, Б.Т. Мухаммадиев, Ф.С. Кулдошева. Химический состав лакрицы (солодки). // XI Международной научно-технической конференция Техника и технология пищевых производств тезисы докладов, Могилёв, 2019., С. 210.
 30. К.Х. Гафуров, Ш.У. Мирзаева. Supercritical CO₂ extraction glycyrrhizic acid from licorice roots. // XI Международной научно-технической конференция Техника и технология пищевых производств тезисы докладов, Могилёв, 2019., С. 207.
 31. Ш. Мирзаева, А.Ш. Хайитова. Оптимизация процесса сверхкритической - CO₂ экстракции глицирризиновой кислоты из местных лакричных корней с использованием RSM – response surface methodology. // Химия в современной фармации: от молекулы к лекарству. Фундаментальные и прикладные аспекты, Материалы студенческой научно-практической конференции с международным участием, «Оренбургский государственный медицинский университет», Оренбург, 2019.С. - 69-70.
 32. Ш.У. Мирзаева, Б.Т.Мухаммадиев, Ф.С. Кулдошева, Свойства лакрицы и применение. // XI Международной научно-технической конференция Техника и технология пищевых производств тезисы докладов, Могилёв, 2019., С. 211.
 33. Sh. U. Mirzaeva., J.V. Mirzaev. The technological performance CO₂ in supercritical fluids state. // Инновации в индустрии питания и сервисе Электронный сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. Краснодар. 2020 г., С. 196-199.
 34. Х.Ф. Джураев, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева. Суперкритическая CO₂ – экстракция глабридина из корней солодки. Международная научно-практическая заочная конференция «Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения», Краснодар, 2020 г, С. 45-52.
 35. Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева. Флюидная экстракция – ресурсо-энергосберегающая технология XXI –века. XIII Международной научно-технической конференция Техника и технология пищевых производств тезисы докладов, Могилёв, 2020 г., С. 388-389.
 36. Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева, З. Худойбердиев. Способ получения экстракта из солодкового корня. // XIII Международной научно-

- технической конференция Техника и технология пищевых производств тезисы докладов, Могилёв, 2020., С. 386-387.
37. Х.Ф. Джураев, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева. Исследование сверхкритических CO₂ экстрактов листьев солодки. // Международная научно-практическая заочная конференция «Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения», Краснодар, 2020, С. 21-27.
 38. М.С. Нарзиев, Ш.У. Мирзаева, Ж.В. Мирзаев. Системный анализ экстракции CO₂ экстрагентом технологической линии производства экстракта местного лакричного корня. // Инновации в индустрии питания и сервисе эл. сборник мат. IY Международной научно-прак-й конф-и, Краснодар, 2020, С. 192-196.
 39. Б.Т. Мухаммадиев, Мирзаева Ш.У., Ф.С. Кулдошева, Общая характеристика сырья солодки. // XIII Международной научно-технической конференция Техника и технология пищевых производств тезисы докладов, Могилёв, 2020., С. 382-383.
 40. Ш.У. Мирзаева. Исследования по извлечению компонентов экстракцией из местного лакричного корня жидким (сверхкритическим) углекислым газом. Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы промышленной инженерии», Бухара, 2021, С. 603-604.
 41. Мухаммадиев Б.Т., Жумаев Ж., Мирзаева Ш.У. Технологии использующие сверхкритическую CO₂, Совершенствование технологии консервирования сырья растительного и животного происхождения. // Материала международной научно-практической конференции. Краснодар, 2021, С. 200-203.
 42. Мухаммадиев Б.Т., Жумаев Ж., Мирзаева Ш.У. Математическое моделирование процесса CO₂ – экстракции местного лакричного корня. // Совершенствование технологии консервирования сырья растительного и животного происхождения, Материала международной научно-практической конференции. Краснодар, 2021, С. 264-269.

Автореферат “Дурдона” нашриётида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек,
рус ва инглиз тилларидаги матнларнинг мослиги текширилди.



Босишга рухсат этилди: 18.07.2022 йил. Бичими 60x84 1/16 ,
«Times New Roman» гарнитурда ракамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3. Адади: 100 нусха. Буюртма № 150.
Гувоҳнома А1 №178. 08.12.2010.

“Садриддин Салим Бухорий” МЧЖ босмаҳонасида чоп этилди.
Бухоро шаҳри, М.Иқбол кўчаси, 11-уй. Тел.: 65 221-26-45

