

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут(факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра технології цукру і підготовки води

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«___» _____ 2025 р.

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
Інна КАРПОВИЧ
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«___» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 181 «Харчові технології»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»

на тему: Удосконалення технології бурякового пектину медичного призначення із застосуванням іонообмінних смол

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЦВ-2-11М

Смоляр Владислав Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Крапивницька Ірина Олексіївна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Олена КУШНІР
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ– 2025р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології цукру і підготовки води

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ТЦ і ПВ

Інна КАРПОВИЧ

“ 10 ” жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Смоляра Владислава Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології бурякового пектину медичного призначення із застосуванням іонообмінних смол

керівник роботи Крапивницька Ірина Олексіївна к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 10.10.2025 року № 832-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 5 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Технологія бурякового пектину

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Розділ 1. Сучасний стан технологій отримання пектину з рослинної

сировини для медичного застосування. Розділ 2. Об'єкти і методи досліджень.

Розділ 3. Експериментальне обґрунтування технології отримання

високоочищеного бурякового пектину. Розділ 4. Менеджмент якості та

безпеки пектину для медичного застосування за системою hascr. Розділ 5.

Екологічні, економічні та соціальні аспекти виробництва медичного пектину.

Загальні висновки і рекомендації. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу апаратурна схема виробництва бурякового пектину медичного призначення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Виконання, % до етапу
1.	Робота над розділом 1. Сучасний стан технології отримання пектину з рослинної сировини для медичного застосування	1.11.2025	
2.	Робота над розділом 2. Об'єкти і методи досліджень	15.11.2025	
3.	Робота над розділом 3. Експериментальне обґрунтування технології отримання високоочищеного бурякового пектину	20.11.2026	
4.	Робота над розділом 4.	25.11.2025	
5.	Робота над розділом 5. Екологічні, економічні та соціальні аспекти виробництва медичного пектину	4.12.2025	
6.	Затвердження кваліфікаційної роботи	5.12.2025	
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			

Здобувач Владислав СМОЛЯР
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи Ірина КРАПИВНИЦЬКА
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з 5 розділів, виконана на 85 сторінках, ілюстрована 13 таблицями і 6 рисунками, висновком, списком бібліографічних джерел з 59 найменувань.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технології високоочищеного пектину з бурякового жому для медичного застосування.

Метою роботи є отримання високоочищеного пектину з бурякового жому за допомогою іонітного очищення, дослідження його фізико-хімічних властивостей та можливість застосування у медицині та фармацевтичній промисловості.

Об'єктом дослідження є технологія отримання пектину з бурякового жому. Предметом дослідження виступають пектиновий екстракт, буряковий жом та пектин.

У роботі проведено дослідження процесу екстракції пектину з бурякового жому з використанням органічних кислот. Оптимізовано параметри екстракції методом Бокса-Уїлсона, що дозволило досягти виходу пектину 18,5% з вмістом галактуронової кислоти 82,3%. Проведені дослідження по очищенню пектинового екстракту з бурякового жому за допомогою іонітних смол. Розроблено удосконалену технологічну схему виробництва, яка включає попередню обробку сировини, екстракцію лимонною кислотою, іонітне очищення та сушіння.

Отриманий пектин відповідає вимогам Європейської фармакопеї. Показано перспективність використання бурякового пектину як носія для систем доставки ліків та матеріалу для тканинної інженерії. Розроблено систему управління безпечністю продукції на основі принципів НАССР. Економічна ефективність впровадження технології становить 2,3 млн грн на рік.

Ключові слова: пектин, буряковий жом, екстракція, пектиновий екстракт іонітне очищення, медичне застосування.

ABSTRACT

The qualification thesis consists of five chapters, comprises 85 pages, and is illustrated with 13 tables and 6 figures. It includes conclusions and a list of bibliographic references containing 59 sources.

The master's thesis is devoted to the improvement of the technology of highly purified pectin from beet pulp for medical use.

The purpose of the work is to obtain highly purified pectin from beet pulp using ionic purification, study its physicochemical properties and the possibility of application in medicine and the pharmaceutical industry.

The object of the research is the technology of obtaining pectin from beet pulp.

The subject of the research is pectin extract, beet pulp and pectin.

The work studies the process of extracting pectin from beet pulp using organic acids. The extraction parameters were optimized by the Box-Wilson method, which allowed to achieve a pectin yield of 18.5% with a galacturonic acid content of 82.3%. Studies were conducted on the purification of pectin extract from beet pulp using ion exchange resins. An improved technological scheme of production has been developed, which includes preliminary processing of raw materials, extraction with citric acid, ion exchange purification and drying.

The obtained pectin meets the requirements of the European Pharmacopoeia. The prospects of using beet pectin as a carrier for drug delivery systems and material for tissue engineering have been shown. A product safety management system based on the principles of HACCP has been developed. The economic efficiency of implementing the technology is 2.3 million UAH per year.

Keywords: pectin, beet pulp, extraction, pectin extract, ion exchange purification, medical application.

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ ОТРИМАННЯ ПЕКТИНУ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ МЕДИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ	10
1.1. Структура та властивості пектинових речовин	10
1.2. Джерела отримання пектину та їх характеристика	17
1.3. Технології екстракції пектину з рослинної сировини	18
1.4. Методи очищення екстрактів пектинових і пектину від баластних речовин.....	20
Висновки за розділом 1	24
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
2.1. Характеристика сировини та допоміжних матеріалів.....	26
2.2. Методи дослідження фізико-хімічних властивостей пектину	27
2.3. Методика проведення експериментальних досліджень	27
Висновки за розділом 2.....	28
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИСОКООЧИЩЕНОГО БУРЯКОВОГО ПЕКТИНУ	29
3.1. Дослідження процесу екстракції пектину з бурякового жому	29
3.2. Оптимізація параметрів екстракції пектину	33
3.3. Фізико-хімічна характеристика пектинового екстракту.....	37
3.4. Механізм взаємодії речовин бурякового екстракту пектинового з іонами.....	38
3.5. Дослідження зміни фізико-хімічних властивостей екстракту пектинового в процесі іонообмінної обробки.....	41
3.6. Визначення якісних показників та властивостей пектину, виділеного з очищених екстрактів.....	50
3.7. Розроблення удосконаленої технологічної схеми виробництва.....	53
3.8. Технологічні розрахунки обладнання	59
3.9. Розроблення вдосконаленого технологічного режиму.....	61
Висновки за розділом 3.....	63
РОЗДІЛ 4. МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ПЕКТИНУ ДЛЯ МЕДИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЗА СИСТЕМОЮ НАССР	64
4.1. Загальні підходи до системи управління безпечністю продукції.....	64
4.2. Аналіз небезпечних факторів та запобіжні заходи.....	66
Висновки за розділом 4.....	70

РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА МЕДИЧНОГО ПЕКТИНУ	71
5.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення	71
5.2. Екологічні проблеми у виробництві та шляхи їх вирішення	73
Висновки за розділом 5	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
ДОДАТКИ.....	86

ВСТУП

Актуальність дослідження. Пектин являє собою складний гетерополісахарид, що входить до складу клітинних стінок вищих рослин та виконує структурні функції, забезпечуючи міцність та еластичність рослинних тканин. Унікальні фізико-хімічні та біологічні властивості пектину зумовлюють його широке застосування в харчовій промисловості як желуючого агента, стабілізатора та загущувача. Водночас останніми роками значно зріс інтерес до використання пектину в медицині та фармації завдяки його біосумісності, біодеградабельності та здатності утворювати гелі в різних мовах [1].

Традиційно основними джерелами промислового отримання пектину є цитрусові та яблучні вичавки, які забезпечують до 85% світового виробництва цієї цінної речовини. Проте обмеженість сировинної бази та сезонність переробки цитрусових і яблук спонукають до пошуку альтернативних джерел пектину. Особливу увагу привертає буряковий жом – побічний продукт цукрового виробництва, який містить 15-25% пектинових речовин на суху речовину [2]. В Україні щорічно утворюється понад 4 млн тонн бурякового жому, переважна більшість якого використовується як корм для тварин або взагалі утилізується, створюючи екологічні проблеми.

Актуальність розробки технології пектину з бурякового жому для медичного застосування обумовлена кількома важливими факторами. По-перше, буряковий пектин має унікальну структуру з високим вмістом ацетильних груп та нейтральних цукрів, що надає йому специфічні функціональні властивості, відмінні від традиційних видів пектину [3]. По-друге, використання бурякового жому як сировини дозволяє вирішити проблему утилізації відходів цукрового виробництва та створити додаткову додану вартість. По-третє, розширення сировинної бази для виробництва пектину медичного призначення має важливе значення для забезпечення фармацевтичної промисловості України власними функціональними інгредієнтами.

Проблема отримання високоочищеного пектину з бурякового жому полягає в складності його структури та наявності значної кількості супутніх речовин, що ускладнюють процеси екстракції та очищення. Традиційні методи екстракції з використання мінеральних кислот призводять до часткової деградації пектину та забруднення кінцевого продукту, що унеможливорює його застосування в медицині [4]. Тому розробка ефективної технології, яка

забезпечує високий вихід та якість пектину, відповідного фармацевтичним стандартам, є актуальним науково-практичним завданням.

Метою роботи є отримання високоочищеного пектину з бурякового жому за допомогою іонітного очищення, дослідження його фізико-хімічних властивостей та можливість застосування у медицині та фармацевтичній промисловості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання:**

1. провести аналіз сучасних методів екстракції пектину з рослинної сировини та обґрунтувати вибір оптимального методу для бурякового жому;
2. дослідити вплив основних технологічних параметрів на вихід та якість пектину з бурякового жому;
3. оптимізувати процес екстракції пектину з використанням математичних методів планування експерименту;
4. провести дослідження по очищенню пектинового екстракту з бурякового жому за допомогою іонітних смол;
5. розробити технологічну схему отримання високоочищеного пектину, придатного для медичного застосування;
6. провести комплексну характеристику фізико-хімічних властивостей отриманого пектину;
7. оцінити перспективи використання бурякового пектину в системах доставки ліків та тканинній інженерії;
8. розробити систему управління безпечністю виробництва на основі принципів НАССР;
9. провести техніко-економічну оцінку запропонованої технології.

Об'єктом дослідження є технологія отримання пектину з бурякового жому.

Предметом дослідження є пектиновий екстракт, буряковий жом та високоочищений пектин.

Методи досліджень. Під час виконання магістерської роботи використовувались стандартні та загальновідомі методи досліджень фізико-хімічних властивостей пектину: титрометричні методи для визначення вмісту галактуронової кислоти та ступеня етерифікації. Оптимізацію технологічних процесів здійснювали експериментально-статистичним методом Бокса-Уїлсона.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше обґрунтовано параметри комплексної технології отримання високоочищеного пектину з бурякового жому з використанням органічних кислот та іонітних

методів очищення. Встановлено закономірності впливу технологічних факторів на структурні характеристики та функціональні властивості бурякового пектину. Удосконалено метод очищення пектинового екстракту шляхом іонічного очищення, що дозволяє отримати продукт фармацевтичної якості.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена технологія дозволяє ефективно переробляти буряковий жом з отриманням високоякісного пектину для медичного застосування. Запропоновані технологічні рішення можуть бути впроваджені на підприємствах бурякоцукрової промисловості для створення додаткових виробництв з переробки вторинної сировини. Отриманий пектин може використовуватися як допоміжна речовина у виробництві лікарських засобів, функціональний інгредієнт дієтичних добавок та біоматеріал для тканинної інженерії.

Апробація результатів. Матеріали магістерської роботи були представлені на 91-й Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (Київ, 2025 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека» (Київ 2024 р., 2025 р.).

Публікації. За матеріалами магістерської роботи опубліковано 3 тези доповідей.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ ОТРИМАННЯ ПЕКТИНУ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ МЕДИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

1.1. Структура та властивості пектинових речовин

Пектинові речовини представляють собою складну групу кислих структурних полісахаридів, що входять до складу клітинних стінок вищих рослин. Вперше пектин був виділений з рослинної сировини французьким хіміком Л.Н. Воклен у 1790 році з тамаринду, а термін «пектин» був введений А. Браконно в 1825 році від грецького слова «pektikos», що означає «здатний до застигання» [5]. Сучасне розуміння структури пектину базується на численних дослідженнях, які показали його гетерогенну природу та складну молекулярну організацію. Основний структурний елемент пектину складається з лінійних ланцюгів α -(1 \rightarrow 4)-D-галактуранової кислоти, карбоксильні групи якої можуть бути метоксильовані або існувати у вигляді вільних кислот чи солей. За сучасними уявленнями, С. Перес та співавтори виділяють три основні структурні домени пектинових полісахаридів: гомогалактуранан (HG), рамногалактуранан I (RG-I) та рамногалактуранан II (RG-II) [6]. Гомогалактуранан становить близько 65% пектинової молекули і являє собою лінійний полімер, що складається виключно з залишків галактуранової кислоти. Структурна складність пектину значно зростає за рахунок домену рамногалактуранану I, який містить чергування залишків галактуранової кислоти та рамнози в основному ланцюзі. До рамнозних залишків приєднані бічні ланцюги, що складаються з арабінанів, галактанів та арабіногалактанів. В. Вілатс зі співавторами показали, що саме наявність та розгалуженість бічних ланцюгів визначає функціональні властивості пектину, включаючи його розчинність, в'язкість та гелеутворюючу здатність [7]. Рамногалактуранан II, незважаючи на свою назву, структурно відрізняється від RG-I і являє собою високо збережену структуру з основним ланцюгом із приблизно дев'яти залишків галактуранової кислоти, до яких приєднані складні олігосахаридні бічні ланцюги. Г.Т. Хо та співавтори встановили, що RG-II може утворювати димери через борат-діольні естерні зв'язки, що важливо для структурної цілісності клітинної стінки [8]. Ступінь метоксильовання (СМ) є ключовим параметром, що визначає функціональні властивості пектину.

Пектини класифікують на високом етоксильовані (СМ > 50%) та низько етоксильовані (СМ < 50%). М. Френер та співавтори показали, що

високом етоксильовані пектини утворюють гелі в кислому середовищі за наявності цукру, тоді як низько етоксильовані пектини гелюють у присутності іонів кальцію незалежно від рН середовища [9]. Механізм гелеутворення високометоксильованих пектинів базується на гідрофобних взаємодіях та водневих зв'язках між молекулами пектину в умовах низького рН та високої концентрації цукру. Молекулярна маса пектинів варіює в широких межах від 50 до 150 кДа залежно від джерела та методу екстракції. П. Комбра зі співавторами встановили кореляцію між молекулярною масою пектину та його функціональними властивостями, зокрема в'язкістю розчинів та міцністю гелів [10]. Високомолекулярні пектини утворюють більш міцні гелі, але мають гіршу розчинність порівняно з низькомолекулярними фракціями. Наявність ацетильних груп у положеннях С-2 та С-3 галактуронової кислоти є характерною особливістю пектинів з деяких джерел, зокрема, бурякового жому. С. Саламан та співавтори показали, що ступінь ацетилювання впливає на гелеутворюючі властивості пектину, причому високий вміст ацетильних груп перешкоджає утворенню гелів через стеричні перешкоди [11]. Для бурякового пектину характерний ступінь ацетилювання 10-25%, що значно вище, ніж у цитрусового (2-4%) чи яблучного (1-3%) пектинів.

Біологічна активність пектинових полісахаридів привертає дедалі більшу увагу дослідників. С. Попов та співавтори продемонстрували протизапальну активність низько- та високометоксильованих цитрусових пектинів, яка реалізується через модуляцію продукції цитокінів [12]. Імуномодуючі властивості пектинів пов'язують з їх здатністю взаємодіяти з рецепторами імунних клітин та впливати на продукцію медіаторів запалення.

Антиоксидантна активність пектинів обумовлена наявністю фенольних сполук, ковалентно зв'язаних з полісахаридною матрицею. С. Капур та С. Дармеш виявили, що пектинові олігосахариди з томатів проявляють протипухлинну активність щодо клітин раку шлунка, що пов'язано з індукцією апоптозу [13]. Механізм протипухлинної дії пектинів включає інгібування галектину-3, білка, який відіграє важливу роль у метастазуванні пухлин. Пребіотичні властивості пектинів реалізуються через їх селективну ферментацію корисною мікрофлорою кишечника. Д. Дагет та співавтори показали, що арабіногалактани та фруктоолігосахариди покращують функцію кишкового бар'єру в різних ділянках товстої кишки [14]. Продукти ферментації пектину, зокрема коротколанцюгові жирні кислоти, мають протизапальну дію та покращують метаболізм колоноцитів.

Здатність пектинів зв'язувати важкі метали та радіонукліди робить їх перспективними для використання як детоксикантів. Ю. Хотимченко зі співавторами дослідили здатність пектинів із морських трав зв'язувати церій та показали високу ефективність цього процесу [15].

Механізм зв'язування пектинів з катіонами металів базується на комплексному іонообмінному процесі, під час якого відбувається заміщення протонів карбоксильних груп пектинових молекул на катіони металів з утворенням стабільних координаційних комплексів.

Молекули пектинів представляють собою складні гетерополісахариди, основу яких формують залишки α -D-галактуронової кислоти, поєднані 1→4 глікозидними зв'язками з різним ступенем метоксилювання карбоксильних груп та ацетилювання в положеннях C-2 та C-3. Характерною особливістю структурної організації пектинових полісахаридів виступає наявність як лінійних ділянок, побудованих переважно з галактуронових залишків, так і розгалужених регіонів з включенням нейтральних моносахаридів – галактози, арабінози, рамнози.

Залежно від ступеня естерифікації карбоксильних груп метанолом виділяють високо метоксильовані пектини зі ступенем естерифікації 50-80% та низько метоксильовані з показником метоксилювання менше 50%, що визначає принципову різницю механізмів гелеутворення. Високометоксильовані пектини формують гелі при низьких значеннях рН та високих концентраціях цукру завдяки гідрофобним взаємодіям між метоксильованими ділянками та водневим зв'язкам, тоді як низько метоксильовані пектини утворюють міцні гелі в присутності двовалентних катіонів, зокрема Ca^{2+} , за механізмом монотропного гелеутворення з формуванням структури «яєчної коробки».

Фізико-хімічні властивості пектинів визначають перспективність застосування даних полісахаридів у розробці інноваційних систем доставки лікарських засобів. Здатність до формування стабільних гідрогелів уможлиблює інкапсуляцію фармацевтичних субстанцій різної природи, забезпечуючи контрольоване вивільнення активних фармацевтичних інгредієнтів у цільових тканинах з заданою швидкістю. Модифікація пектинових гідрогелів шляхом введення функціональних груп або зшивання з іншими біополімерами дозволяє оптимізувати швидкість деградації матриці та кінетику вивільнення лікарських речовин.

Особливу значущість мають пектинові системи доставки для пероральних препаратів з таргетингом у товстий кишечник, оскільки пектини проявляють резистентність до ферментативного розщеплення в шлунку та

тонкому кишечнику, але піддаються деградації під впливом пектинолітичних ферментів мікрофлори товстої кишки.

Гастропротекторні властивості пектинів зумовлюють перспективність їх застосування для інкапсуляції гастроіритантних лікарських субстанцій, зменшуючи подразнюючий вплив на слизову оболонку шлунка та підвищуючи безпечність фармакотерапії. Іммобілізація протеїнових та пептидних лікарських субстанцій у пектинових гідрогелях забезпечує захист від протеолітичної деградації та створює умови для контрольованого вивільнення у цільових тканинах.

Ключовою перевагою пектинів як матеріалів для розробки систем доставки ліків виступає поєднання біосумісності, біодеградабельності та мукоадгезивних властивостей. Катіонна природа муцинів епітеліального шару створює передумови для електростатичної взаємодії з аніонними групами пектинових молекул, забезпечуючи тривалий контакт лікарської форми з абсорбуючою поверхнею та підвищуючи біодоступність лікарських субстанцій. Мукоадгезивні властивості пектинових гідрогелів зумовлюють перспективність їх застосування в розробці назальних, офтальмологічних, трансбукальних та вагінальних лікарських форм, що характеризуються пролонгованим терапевтичним ефектом. Відсутність імуногенності та цитотоксичності пектинів уможливорює використання даних полісахаридів для створення наночастинок, мікросфер та ліпосомальних систем доставки як гідрофільних, так і ліпофільних лікарських субстанцій. Комбінування пектинових полісахаридів з іншими біополімерами, зокрема хітозаном, альгінатами, желатином, призводить до формування композитних матеріалів з покращеними фізико-механічними характеристиками та функціональними властивостями для таргетної доставки лікарських субстанцій.

Модифікація структури пектинових полісахаридів шляхом сульфатування, амідуювання, кватернізація амінопропілними групами забезпечує цілеспрямовану зміну фізико-хімічних властивостей та розширює спектр застосування в розробці систем доставки ліків. Сульфатовані пектини проявляють антикоагулянтну та противірусну активність, що зумовлює перспективність їх використання для створення біологічно активних матеріалів з іммобілізованими антибіотиками або противірусними агентами. Амідуювання карбоксильних груп галактуронових залишків підвищує гідрофобність полісахариду та модифікує рН-залежність набухання гідрогелів, впливаючи на швидкість вивільнення інкапсульованих лікарських речовин. Формування комплексів пектин-протеїн створює передумови для розробки стабільних дисперсних систем для доставки протеїнових та пептидних

лікарських субстанцій з поліпшеними фармакокінетичними характеристиками.

Застосування пектинів у сфері тканинної інженерії базується на здатності даних полісахаридів утворювати тривимірні пористі матриці, що імітують структуру позаклітинного матриксу та забезпечують оптимальні умови для адгезії, проліферації та диференціації клітин. Пектинові скафолди характеризуються контрольованою швидкістю біодеградації, механічною стабільністю та високою гідрофільністю, що уможлиблює підтримання життєздатності клітин протягом тривалого періоду часу. Включення біоактивних молекул, зокрема факторів росту, цитокінів, білків позаклітинного матриксу, в структуру пектинових гідрогелів створює мікрооточення, що стимулюють регенеративні процеси та диференціацію стовбурових клітин у специфічні клітинні лінії. Варіабельність механічних характеристик пектинових гідрогелів дозволяє розробляти матеріали з модулем пружності, що відповідає механічним властивостям різних типів тканин – від м'яких тканин мозку до більш щільних сполучнотканинних структур.

Застосування технології 3D-біопринтингу з використанням пектинових гідрогелів як біочорнил відкриває перспективи для створення складних тканинних конструкцій з точно контрольованою архітектонікою, що містять різні типи клітин та біоактивні молекули. Формування пектинових гідрогелів безпосередньо в дефектів тканини шляхом ін'єкційного введення рідкої прекурсорної композиції з подальшим зшиванням *in situ* забезпечує щільний контакт біоматеріалу з навколишніми тканинами та стимулює інтеграцію імплантату з організмом реципієнта. Покриття поверхні імплантаційних матеріалів пектиновими плівками з іммобілізованими антимікробними агентами запобігає формуванню бактеріальних біоплівки та знижує ризик імплантат-асоційованих інфекцій.

Антиоксидантні та протизапальні властивості пектинів зумовлюють перспективність їх застосування для створення раневих покриттів з комплексною дією, що поєднують механічний захист рани, підтримання оптимального рівня вологості, абсорбцію ексудату та фармакологічну активність. Модифікація пектинових гідрогелів наночастинками срібла або цинку підсилює антимікробну активність матеріалу та забезпечує пролонговану бактерицидну дію, запобігаючи інфікуванню ранового ложа. Сорбційні властивості пектинів щодо іонів важких металів та радіонуклідів створюють передумови для розробки ентеросорбентів та детоксикаційних препаратів з високою селективністю та ефективністю.

Розробка пектинових матеріалів з магнітними властивостями шляхом інкорпорації наночастинок магнетиту або інших феромагнітних сполук відкриває перспективи для створення систем доставки з магнітним таргетингом, що забезпечують спрямований транспорт лікарських субстанцій до патологічного осередку під впливом зовнішнього магнітного поля. Поєднання пектинових полісахаридів з термо- або рН-чутливими полімерами дозволяє розробляти «розумні» системи доставки з контрольованим вивільненням лікарських субстанцій у відповідь на зміни фізіологічних параметрів або зовнішніх стимулів. Модифікація поверхні пектинових наночастинок лігандами специфічних рецепторів створює передумови для активного таргетингу до клітин-мішеней, зокрема пухлинних клітин з гіперекспресією специфічних рецепторів.

Валідація фармакокінетичних та фармакодинамічних характеристик пектинових систем доставки ліків *in vitro* та *in vivo* демонструє переваги таких лікарських форм порівняно з традиційними, що проявляється у зниженні токсичності, підвищенні біодоступності та пролонгуванні терапевтичного ефекту. Розробка пектинових матеріалів для фармацевтичного застосування потребує стандартизації за фізико-хімічними параметрами, включаючи молекулярну масу, ступінь естерифікації, в'язкість розчинів, що забезпечує відтворюваність технологічного процесу та фармацевтичну еквівалентність готових лікарських форм. Масштабування виробництва пектинових лікарських форм вимагає розробки валідованих технологічних протоколів, що забезпечують стабільність фізико-хімічних та біофармацевтичних характеристик продукту протягом усього терміну придатності.

Перспективним напрямком розвитку пектинових систем доставки ліків виступає розробка композитних матеріалів, що поєднують пектини з неорганічними наноструктурами – мезопористим кремнеземом, гідроксиапатитом, графеном, багатостінними вуглецевими нанотрубками. Інкорпорація неорганічних наноструктур у пектинову матрицю забезпечує модифікацію механічних характеристик матеріалу, створює додаткові сайти для іммобілізації лікарських субстанцій та забезпечує контрольоване вивільнення біологічно активних речовин з різними фізико-хімічними властивостями. Поєднання пектинових систем доставки з технологіями генної терапії відкриває перспективи для розробки ефективних засобів доставки нуклеїнових кислот до клітин-мішеней з метою корекції генетичних дефектів або модуляції експресії специфічних генів.

Молекулярне моделювання структури пектинових комплексів з лікарськими субстанціями різних фармакологічних груп дозволяє

прогнозувати механізми взаємодії, стабільність комплексів та профіль вивільнення активних фармацевтичних інгредієнтів, оптимізуючи склад та технологію виробництва лікарських форм на етапі фармацевтичної розробки. Застосування методів комп'ютерного моделювання для дизайну пектинових систем доставки з заданими функціональними характеристиками скорочує час та матеріальні ресурси, необхідні для розробки інноваційних лікарських форм, та підвищує ефективність доклінічних досліджень. Молекулярна архітектоніка пектинових полісахаридів визначає специфіку взаємодії з біологічними структурами та впливає на профіль безпечності й ефективності розроблених на їх основі лікарських форм та медичних виробів.

1.2. Джерела отримання пектину та їх характеристика

Пектинові речовини широко розповсюджені в рослинному світі, проте їх вміст та якісні характеристики значно варіюють залежно від виду рослини, її частини, стадії зрілості та умов вирощування. Промислове виробництво пектину традиційно базується на переробці відходів харчової промисловості, що містять значну кількість пектинових речовин та доступні у великих обсягах. За даними Р. Чиримінна та співавторів, світове виробництво пектину становить близько 60 000 тонн на рік, причому 85% виробляється з цитрусових вичавок та яблучних вичавок [16]. Цитрусові вичавки є основним джерелом промислового пектину, забезпечуючи близько 60% світового виробництва. Вміст пектину в сухих цитрусових вичавках коливається від 20 до 30% залежно від виду цитрусових. М. Кандель та співавтори встановили, що пектин з апельсинових вичавок характеризується високим ступенем етерифікації (70-75%) та відносно низьким вмістом ацетильних груп [17]. Лимонні вичавки містять пектин з дещо вищим ступенем етерифікації (75-80%) та кращими гелеутворюючими властивостями. Грейпфрутові вичавки дають пектин з проміжними характеристиками.

Яблучні вичавки становлять друге за важливістю джерело промислового пектину, забезпечуючи близько 25% світового виробництва. Вміст пектину в сухих яблучних вичавках становить 10-15%, що нижче, ніж у цитрусових. Проте яблучний пектин має унікальні властивості, зокрема вищу молекулярну масу та кращу емульгуючу здатність. Д. Гавковська та співавтори показали, що яблучний пектин містить більше нейтральних цукрів у бічних ланцюгах, що надає йому специфічні функціональні властивості [18]. Буряковий жом представляє значний інтерес як альтернативне джерело пектину. Щорічно у світі виробляється понад 20 млн тонн бурякового жому, який містить 15-20% пектину на суху речовину. Особливістю бурякового

пектину є високий вміст ацетильних груп (10-25%) та присутність ферулової кислоти, ковалентно зв'язаної з полісахаридними ланцюгами. М. Мухідінов та співавтори встановили, що буряковий пектин має нижчий ступінь етерифікації (50-60%) порівняно з цитрусовим, але вищу молекулярну масу [19]. Останніми роками зростає інтерес до нетрадиційних джерел пектину. Кавунові кірки містять 13-20% пектину з високим ступенем етерифікації та хорошими гелеутворюючими властивостями. М. Ромдане та співавтори оптимізували екстракцію пектину з кавунових кірок та отримали продукт з виходом 24,1% та вмістом галактуронової кислоти 65,5% [20]. Гарбузові вичавки також є перспективним джерелом, містять 7-10% пектину з унікальними емульгуючими властивостями. Тропічні фрукти представляють цікаве джерело пектинів з особливими властивостями. Пектин з маракуї характеризується високим вмістом галактуронової кислоти (>80%) та низьким ступенем етерифікації, що робить його придатним для утворення кальцієвих гелів. Манго містить 10-15% пектину в шкірці, причому цей пектин має високу в'язкість та хороші стабілізуючі властивості. К. Кастільо-Ізраель та співавтори дослідили пектин з бананової шкірки та встановили його високу антиоксидантну активність, пов'язану з присутністю фенольних сполук [21].

Овочеві культури також можуть слугувати джерелом пектину. Картопляна м'язга містить 2-3% пектину з високим вмістом ацетильних груп та рамногалактуронану I. Дж. Янг та співавтори показали, що картопляний пектин має виражені емульгуючі властивості завдяки присутності білкових фрагментів [22]. Томатні вичавки містять 7-10% пектину з високим ступенем етерифікації та хорошими гелеутворюючими властивостями. Морські трави представляють унікальне джерело пектинових полісахаридів. Зостера морська та філоспадікс містять пектини з високою здатністю зв'язувати важкі метали. Особливістю пектинів з морських трав є присутність сульфатних груп, що надає їм додаткові біологічні властивості, зокрема антикоагулянтну активність [23]. Вибір джерела пектину визначається не лише його вмістом у сировині, але й якісними характеристиками отриманого продукту. Для медичного застосування критичними параметрами є чистота пектину, відсутність токсичних домішок, стабільність властивостей та відтворюваність технології отримання. Цитрусові та яблучні пектини мають довгу історію безпечного застосування в медицині, тоді як пектини з альтернативних джерел потребують додаткових досліджень безпечності. Сезонність та географічна доступність сировини також впливають на вибір джерела пектину. Цитрусові вичавки доступні переважно в субтропічних регіонах, яблучні – в помірному кліматі, тоді як буряковий жом доступний у регіонах вирощування цукрових

буряків. Для України буряковий жом представляє особливий інтерес як місцева сировина, доступна у великих обсягах. Економічні аспекти також відіграють важливу роль у виборі джерела пектину. Вартість сировини, витрати на транспортування, складність технології екстракції та очищення визначають собівартість кінцевого продукту. Використання місцевих відходів харчової промисловості дозволяє знизити собівартість та створити додаткову додану вартість.

1.3. Технології екстракції пектину з рослинної сировини

Екстракція пектину з рослинної сировини є ключовим етапом технологічного процесу, що визначає вихід, якість та функціональні властивості кінцевого продукту. Традиційні методи екстракції базуються на кислотному гідролізі протопектину – нерозчинної форми пектину, зв'язаної з компонентами клітинної стінки. За останні десятиліття розроблено численні модифікації класичного методу та принципово нові підходи до екстракції пектину. Класичний метод кислотної екстракції передбачає обробку подрібненої рослинної сировини розведеними мінеральними кислотами при підвищеній температурі. М. Канмані та співавтори оптимізували умови екстракції пектину з цитрусових і встановили оптимальні параметри: температура 94°C, рН 1,45, тривалість 115 хвилин, що забезпечує вихід 23,6% [24]. Механізм кислотної екстракції включає протонування карбоксильних груп пектину, що призводить до руйнування іонних зв'язків з іонами кальцію та магнію, а також частковий гідроліз глікозидних зв'язків. Використання органічних кислот замість мінеральних має ряд переваг з точки зору безпечності процесу та якості продукту. В. Деві та співавтори показали, що екстракція лимонною кислотою при температурі 80°C, рН 1,5 протягом 60 хвилин забезпечує вихід пектину 76%, що значно вище, ніж при використанні соляної кислоти [25]. Органічні кислоти менш агресивні, що дозволяє зберегти нативну структуру пектину та уникнути його деградації. Мікрохвильова екстракція представляє сучасний підхід до інтенсифікації процесу. Дж. Маран та співавтори оптимізували мікрохвильову екстракцію пектину з апельсинових шкірок і досягли виходу 28,9% за 12 хвилин при потужності 500 Вт [26]. Механізм мікрохвильової екстракції базується на швидкому нагріванні внутрішньоклітинної води, що призводить до руйнування клітинних стінок та вивільнення пектину. Перевагами методу є значне скорочення часу екстракції, зниження витрат енергії та краще збереження функціональних властивостей пектину.

Ультразвукова екстракція використовує явище кавітації для руйнування клітинних структур. Д. Панвар та співавтори застосували ультразвукову екстракцію для отримання пектину з лимонних шкірок і досягли виходу 18,5% при температурі 60°C протягом 30 хвилин [27]. Ультразвукові хвилі створюють мікробульбашки в екстракційному середовищі, колапс яких призводить до локальних зон високого тиску та температури, що сприяє руйнуванню клітинних стінок.

Субкритична водна екстракція є екологічно чистим методом, що використовує воду при температурах 100-200°C та підвищеному тиску. С. Басак та У. Аннапуре показали, що субкритична вода при 140°C забезпечує вихід пектину 16,8% без використання кислот [28]. При субкритичних умовах вода набуває властивостей органічного розчинника, що дозволяє ефективно екстрагувати пектин без хімічних реагентів. Ферментативна екстракція представляє м'який метод отримання пектину з використанням специфічних ферментів. М. Мілошевич та М. Антов застосували целюлозу для екстракції пектину з гарбуза і досягли виходу 14,2% при температурі 50°C [29]. Ферменти селективно руйнують целюлозні та геміцелюлозні компоненти клітинної стінки, вивільняючи пектин без його деградації. Перевагою методу є висока якість пектину та можливість проведення процесу при низьких температурах.

Комбіновані методи екстракції поєднують переваги різних підходів. Ультразвуково-мікрохвильова екстракція дозволяє досягти синергетичного ефекту від одночасної дії ультразвуку та мікрохвиль. П. Ванг та співавтори показали, що комбінований метод забезпечує вихід пектину 23% з картопляної м'язги за 15 хвилин [30]. Попередня обробка ферментами з наступною кислотною екстракцією також дає хороші результати. Вибір методу екстракції залежить від типу сировини, необхідних характеристик пектину та економічних факторів. Для медичного застосування критичними є чистота продукту та збереження його біологічної активності. Методи, що використовують м'які умови екстракції, такі як ферментативна або екстракція органічними кислотами, є переважними для отримання пектину фармацевтичної якості. Параметри екстракції значно впливають на молекулярну масу, ступінь етерифікації та інші характеристики пектину. Висока температура та низький рН призводять до деполімеризації та деетерифікації пектину. Тривала експозиція в кислому середовищі може призвести до повної втрати метоксильних груп та перетворення пектину на пектову кислоту. Очищення пектинового екстракту є важливим етапом технології. Традиційно використовують осадження етанолом, що потребує великих об'ємів спирту та його регенерації. Сучасні методи включають

мембранну фільтрацію, діафільтрацію та хроматографічні методи. Ультрафільтрація дозволяє відділити високомолекулярний пектин від низькомолекулярних домішок без використання органічних розчинників.

Розвиток зелених технологій екстракції спрямований на зниження екологічного навантаження та покращення економічних показників процесу. Використання відновлюваних розчинників, зниження енергоспоживання, мінімізація відходів є пріоритетними напрямками вдосконалення технологій екстракції пектину. Інтеграція процесів екстракції та очищення, використання каскадних схем переробки сировини дозволяють підвищити ефективність виробництва.

1.4 Методи очищення екстрактів пектинових і пектину від баластних речовин

Підготовка рослинної сировини. З метою максимального видалення цукрів, кислот та інших баластних щодо пектину речовин, збільшення клітинної проникності та інактивації ферментів, видалення повітря з міжклітинного простору проводять підготовку пектиновмісної сировини. Відомий спосіб, у якому свіжі цитрусові вичавки піддають попередній підготовці, яка полягає в їх обробці парою 2...10 хв. Після бланшування вичавки промивають теплою водою при температурі 35...45°C, відпресовують, потім знову промивають холодною водою для видалення розчинних речовин з подальшим пресуванням. Промиті вичавки подрібнюють і направляють на гідроліз-екстрагування пектинових речовин.

Сушені яблучні вичавки містять 30 % і більше розчинних речовин, які ускладнюють переробку екстракту. Тому для видалення баластних речовин у виробництві яблучного пектину сухі яблучні вичавки перед процесом гідролізу-екстрагування тричі промивають водою за температури 30...35°C.

У болгарському виробництві сухі яблучні вичавки промивають двадцятьма об'ємами води температурою 35...45°C у дві стадії, промивання здійснюється в гідролізаторах.

В буряковому жомі крім пектатів, пектинатів кальцію і магнію містяться нерозчинні у воді кальцієві солі щавлевої, лимонної та інших кислот, які розчиняються в кислому середовищі. Тому здійснюється попереднє вилучення кальцієвих та магнієвих солей з реакційного середовища. Для цього створюють слабокисле середовище, в якому здійснюється розчинення кальцієвих солей з подальшим їх видаленням. Параметри процесу: температура 45...50° С, рН=2,3...3,0, тривалість 10...15 хв.

Мембранна технологія. За допомогою мембранної технології можна ефективно очищати пектинові речовини без використання органічних розчинників і мінеральних кислот, створити замкнений технологічний цикл. При цьому відбувається ефективне концентрування пектину без фазового переходу рідини та погіршення фізико-хімічних властивостей продукту.

Для рідких неоднорідних систем, якими є пектинові екстракти після процесів гідролізу пектинових речовин, розроблені нові прогресивні способи очищення. Запропоновано спосіб отримання пектину з відходів рослинної сировини, який дозволяє підвищити здатність до гелеутворення пектину до 390...420° по Тарр-Бейкеру, його вихід до 90...95 %. Екстрагування пектинових речовин з рослинної сировини проводять 1...3%-ним водним розчином HNO_3 при рН 1...3. Відділення екстракту проводять ультрафільтрацією з використанням синтетичного мембранного фільтра з подальшим виділенням цільового продукту сушінням.

Також пропонується ультрафільтраційне концентрування рідкого пектинового екстракту. Ступінь очищення при цьому пропорційний кратності концентрування, досягнення більшого рівня чистоти можливе розведенням концентрату і повторним концентруванням. Ступінь етерифікації при ультрафільтрації не змінюється, але молекулярна маса знижується.

Спиртове очищення. Традиційним методом очищення пектинового коагуляту після його осадження полівалентними металами або спиртом є спиртове очищення.

За американською технологією при отриманні пектину із свіжої цитрусової сировини, осаджений пектиновий коагулят відпресовують, сушать до вмісту вологи 8... 10 %, подрібнюють та суспендують в 1,3 об'єму 75%-го спирту. Після відділення рідкої фази тверду промивають у підкисленому спирті. Співвідношення спирту, соляної кислоти і води – 60:10:30. Тривалість обробки при перемішуванні – 30 хв. Отриманий на цій стадії пектин після висушування має молекулярну масу 180000...200000, вміст метоксильних груп 10,0... 10,5 % [53].

При виробництві яблучного пектину осадження пектинових речовин здійснюють етиловим спиртом міцністю 90...95 %. Щоб запобігти осадженню разом з пектином мінеральних домішок, осадження ведуть при рН=1,7...1,9. Отримана пектино-спиртова суспензія безперервно надходить в центрифугу на розділення. Після центрифугування пектиновий коагулят із вмістом вологи 70...75 % очищують 70 % спиртом у співвідношенні 1:8. Сирий пектин вдруге промивають 90...95 % спиртом у співвідношенні 1:8. Суспензія другої промивки відділяється на центрифугі від пектину. Очищений пектин сушать.

Існує багато варіантів спиртового очищення пектинового коагуляту, але всі вони є різними модифікаціями вищевказаних методів [1, 2, 4].

Спиртове очищення використовується також для очищення пектину з бавовняних стулок [23], пектину з кошиків соняшнику [4, 31].

Таким чином, з пектинового коагуляту необхідно виділити баластні речовини: водорозчинні речовини, що вилучаються з сировини в процесах гідролізу та екстрагування, а також гідролітичний чинник або продукти його нейтралізації. При використанні як осаджувачів полівалентних металів додатково необхідно видаляти з пектинового коагуляту залишки їх солей і продукти нейтралізації мінеральної кислоти.

Сорбційні методи. Існуюча традиційна технологічна схема із спиртовим осадженням пектину з концентратів і багаторазовим очищенням його аліфатичними спиртами не завжди є ефективною, внаслідок чого готовий пектин має підвищену зольність, недостатню комплексоутворювальну здатність, низькій вміст полігалактуронів. Тому необхідний пошук ефективних методів очищення пектинових екстрактів.

Сорбційні методи знаходять достатньо широке застосування в харчовій промисловості для демінералізації, пом'якшення та знебарвлення соків, а також для розділення відходів цукрового виробництва (меляси) на цінні компоненти [12, 13].

Демінералізація соку другої сатурації в цукровому виробництві здійснюється шляхом його послідовного пропускання через катіоніт в H^+ -формі і аніоніт в OH^- -формі. При цьому видаляються більшість мінеральних сполук, які є в соку, в тому числі солі жорсткості, що полегшує весь подальший процес отримання цукру [14, 26].

В цілому існуючі методи демінералізації соків і розчинів засновані на використанні сильнокислотні катіоніти та високоосновних аніонітів, синтезованих на основі стиrolа і дивінілбензола. Регенерація катіонітів здійснюється сильними мінеральними кислотами, а аніонітів – лугом (натрій або амоній гідроксид). Процес реалізується в періодичному режимі з використанням стандартних іонітових фільтрів при лінійній швидкості пропускання розчинів 5...10 м/год.

Іоніти в харчовій промисловості використовують також для пом'якшення та знесолення води, очищення дифузійного соку та цукрових сиропів, зниження кислотності виноматеріалів, уловлювання іонів Ca^{2+} , K^+ , що викликають помутніння вин і соків, отримання іонітного молока (продукту дитячого харчування), поглинання іонів Fe^{3+} з виноматеріалів та жирів з метою зниження ОВ-потенціала, уловлювання фосфатидів та жирних кислот з жирів

харчових кислот (оцтової, яблучної, лимонної), з виноматеріалів та фруктово-ягідних соків.

В США була введена в дію установка по одержанню пектину зі шкірок грейпфрутів методами іонного обміну [16]. Промита шкірка грейпфрутів після подрібнення змішується в ємності протягом 1 год. з водою і H^+ -катіонітом (сульфовугіллям) при 90°C . H^+ -катіоніт видаляє з екстракту іони кальцію і магнію, завдяки чому пектин переходить в розчин.

Катіонообмінник та аніонообмінник використовують для отримання пектину і лимонної кислоти з сировини за такою технологією [17]: пектиновмісну сировину обробляють водною сумішшю достатньої для екстрагування пектину кількості лимонної кислоти і розчинних солей. Отриманий пектиновий екстракт пропускають через катіонообмінник для видалення іонів металу, а потім через матеріал, який сорбує кислоту (такий, як нерозчинна поліаміносмола), для видалення цитрат-іонів. Пектин потім осаджують сіллю полівалентного металу. Лимонну кислоту, використану в процесі, можна майже повністю виділити в чистій формі.

За іншою технологією [53] шкірка плодів китайського цитрона екстрагувалась соляною кислотою, до неї додавали CaCl_2 при $\text{pH}=4$, отриманий осад збирався на тканині. Його розчиняли в розбавленій соляній кислоті і пропускали через катіоно- і аніонообмінник (Diaion BK і A) з отриманням препарату пектину.

Цеоліти, типові макропористі сорбенти, знайшли використання в ряді галузей харчової промисловості (цукровій, консервній) для очистки рідких середовищ від колоїдно-дисперсних частинок. Для відділення пектину від пектинатів металів матеріал обробляють у водному середовищі H^+ -цеолітом, що виконує роль катіонообмінника [48, 50].

Автором вивчалась здатність цеолітів поляризуватися в електричному полі і можливість застосування цього явища для H^+ -цеолітів використовувалися також для очищення і знебарвлення пектинових розчинів з яблучних вичавок [7]. Для очищення бурякового пектину використовували активоване вугілля [9].

Автори [22] пропонують використовувати отриманий пектин як плазмозамінник крові, тому що він має низьку молекулярну масу, а тому не має кумулятивної дії в організмі людини. Спосіб отримання такого пектину полягає в тому, що буряковий жом гідролізують сульфатною кислотою при $\text{pH}=1,0$, за температури 78°C протягом 16 год. Екстракт фільтрують і пропускають через колонку з АВ-17 в мурашинокислій формі зі швидкістю 10

мл/хв. Потім екстракт упарюють під вакуумом до мінімального об'єму і осаджують ацетоном та висушують.

Автори [17] піддавали очищенню зразок промислового пектину, отриманого з сульфатованих яблучних вичавок, шляхом пропускання його через катіонообмінну смолу КУ-2. В результаті очистки пектинового препарату значно поліпшуються його технологічні властивості. Збільшуються його здатність до гелеутворення і кількість карбоксильних груп, зменшується кількість золи.

Іонообмінні смоли застосовували для отримання пектової кислоти [54]. Для омилення метоксильних груп до розчину пектину додають 1 н. розчин NaOH. Утворену пектову кислоту осаджують 1 н. соляною кислотою, осад відфільтровують і суспендують в суміші ацетону з водою.

Видалення катіонів і аніонів (в основному Na^+ і Cl^-) проводять статичною обробкою суспензії катіонітом КУ-2 і аніонітом АВ-17. Потім додають ацетон для повного осадження пектової кислоти.

Судячи з небагато чисельних літературних посилань про використання іонообмінної обробки в пектиновому виробництві, цьому питанню не було надано багато уваги, і воно потребує більш поглибленого розгляду та систематичного вивчення з метою можливості використання іонообмінного способу в технології пектину з бурякового жому.

Висновки за розділом 1

Аналіз літературних джерел показав, що пектинові речовини мають складну гетерогенну структуру, яка визначає їх унікальні функціональні властивості та широкі можливості застосування в медицині. Основними структурними доменами пектину є гомогалактуронан, рамногалактуронан I та II, співвідношення та характеристики яких варіюють залежно від джерела походження. Біологічна активність пектинів, включаючи імуномодулюючі, антиоксидантні, протипухлинні та детоксикаційні властивості, робить їх перспективними для створення нових лікарських засобів та медичних матеріалів.

Буряковий жом представляє значний інтерес як альтернативне джерело пектину завдяки високому вмісту пектинових речовин (15-25%), доступності у великих обсягах та унікальним характеристикам бурякового пектину. Високий вміст ацетильних груп та специфічна структура надають буряковому пектину особливі функціональні властивості, що відкриває нові можливості його застосування.

Сучасні технології екстракції пектину включають широкий спектр методів від традиційної кислотної екстракції до інноваційних підходів з використанням мікрохвиль, ультразвуку, субкритичної води та ферментів. Для отримання пектину медичного призначення оптимальними є методи, що забезпечують високий вихід та якість продукту при м'яких умовах процесу. Використання органічних кислот, комбінованих методів екстракції та сучасних способів очищення дозволяє отримати високоочищений пектин, придатний для фармацевтичного застосування.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика сировини та допоміжних матеріалів

Основною сировиною для проведення досліджень слугував свіжий буряковий жом, отриманий на Жданівському цукровому заводі під час переробного сезону, подальші дослідження проводилися на підприємстві «Манзана – Фуд». Буряковий жом відбирали безпосередньо після дифузійного апарату з вмістом сухих речовин 6,5-7,5%. Для стабілізації та запобігання мікробіологічному псуванню жом висушували в сушильній шафі при температурі 60°C до залишкової вологості 8-10%. Висушений жом подрібнювали на лабораторному млині до розміру часток 0,5-2,0 мм та зберігали в герметичній тарі при кімнатній температурі.

Хімічний склад висушеного бурякового жому визначали за стандартними методиками і він становив: целюлоза – 22,4±0,8%, геміцелюлози – 24,1±0,9%, пектинові речовини – 18,7±0,7%, лігнін – 8,3±0,5%, білкові речовини – 7,2±0,4%, зольні елементи – 4,1±0,3%, інші речовини – 15,2±1,1%. Вміст пектинових речовин визначали методом спиртового осадження.

Для екстракції пектину використовували наступні реагенти: лимонна кислота моногідрат (ч.д.а., Sigma-Aldrich), щавлева кислота дигідрат (ч.д.а., Merck), винна кислота (ч.д.а., Sigma-Aldrich), соляна кислота (х.ч., місцевого виробництва). Вибір органічних кислот обумовлений їх харчовим статусом та здатністю ефективно екстрагувати пектин при відносно м'яких умовах. Для осадження пектину застосовували етиловий спирт ректифікований 96% (відповідає ДСТУ 4221:2003).

Стандартні зразки для порівняння включали: пектин цитрусовий зі ступенем етерифікації 70% (Sigma-Aldrich), пектин яблучний зі ступенем етерифікації 75% (Cargill), пектин буряковий комерційний (Herbstreith&Fox). Усі стандартні зразки відповідали вимогам Європейської фармакопеї для допоміжних речовин.

Попередня підготовка сировини включала наступні етапи. Висушений буряковий жом просіювали через набір сит для отримання фракції 0,5-1,0 мм, яка використовувалась в основних експериментах. Для видалення низькомолекулярних речовин та пігментів проводили попереднє промивання жому етанолом (70%) при співвідношенні сировина:розчинник 1:10 протягом 30 хвилин при кімнатній температурі. Промитий жом відфільтровували та висушували при 40°C до постійної маси. Контроль якості сировини проводили

за наступними показниками: вологість (ДСТУ ISO 665:2007), вміст золи (ДСТУ ISO 2171:2009), рН водної витяжки (1:10).

Зберігання підготовленої сировини здійснювали в скляних банках з притертими кришками при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря не більше 60%. Термін зберігання підготовленого жому не перевищував 6 місяців. Перед використанням проводили контроль органолептичних показників та вологості.

2.2. Методи дослідження фізико-хімічних властивостей пектину

Визначення виходу пектину проводили гравіметричним методом. Після екстракції та осадження етанолом пектин відфільтровували, промивали 70% етанолом до негативної реакції на хлориди, висушували при 50°C до постійної маси та зважували. Вихід розраховували у відсотках до маси сухої сировини. Вміст галактуронової кислоти та ступінь етерифікації визначали титрометричним методом. Наважку пектину (0,5 г) розчиняли в 100 мл дистильованої води, додавали 5 крапель індикатора Хінтона та титрували 0,1 М до появи рожевого забарвлення (V_1). Потім додавали 20 мл 0,5 М NaOH, перемішували 15 хвилин для омилення естерних груп, нейтралізували надлишок лугу 20 мл 0,5 М HCl та дотитрували 0,1 М NaOH (V_2). Ступінь етерифікації розраховували за формулою:

$$CE = \left(\frac{V_2}{V_1 + V_2} \right) \times 100\% \quad (2.1).$$

2.3. Методика проведення експериментальних досліджень

Екстракцію пектину з бурякового жому проводили в термостатованому реакторі об'ємом 1 л, обладнаному механічною мішалкою, зворотним холодильником та системою контролю температури. Наважку подрібненого жому (50 г) поміщали в реактор та додавали розчин екстрагенту при заданому співвідношенні сировина:розчинник (від 1:10 до 1:30). рН екстракційної суміші доводили до необхідного значення (1,0-3,0) додаванням відповідної кислоти. Процес екстракції проводили при постійному перемішуванні (200 об/хв) та заданій температурі ($60-95^\circ\text{C}$) протягом визначеного часу (30-180 хвилин). По закінченні екстракції суміш охолоджували до 40°C та фільтрували через подвійний шар марлі для відділення твердого залишку. Фільтрат центрифугували при 4000 об/хв протягом 15 хвилин для видалення дрібних часток. Очищення пектинового екстракту проводили методом іонітного очищення. Осадження пектину здійснювали додаванням до очищеного екстракту 96% етанолу при співвідношенні 1:3 за об'ємом при інтенсивному

перемішуванні. Суміш витримували при 4°C протягом 12 годин для повного осадження. Осад відділяли центрифугуванням, промивали 70% етанолом до негативної реакції на хлориди та кислоти.

Сушіння пектину проводили в сушильній шафі при 50°C протягом 24 год. Оптимізацію процесу екстракції проводили методом Бокса-Уїлсона (центральний композиційний план).

Як фактори варіювання використовували: X_1 – температура екстракції (70-90°C), X_2 – рН середовища (1,5-2,5), X_3 – тривалість процесу (60-120 хв.), X_4 – співвідношення сировина:розчинник (1:15-1:25). Як функції відгуку визначали вихід пектину (Y_1) та вміст галактуронової кислоти (Y_2). Математичну обробку результатів проводили з використанням програмного забезпечення Statistica 10.0. Будували поверхні відгуку та визначали оптимальні значення факторів. Адекватність моделей перевіряли за критерієм Фішера при рівні значущості 0,05.

Дослідження кінетики екстракції проводили при оптимальних значеннях рН та температури, відбирають проби через кожні 15 хв. протягом 3 год. У пробах визначали концентрацію пектину та будували кінетичні криві. Статистичну обробку результатів проводили з розрахунком середніх значень, стандартних відхилень та довірчих інтервалів при рівні довірчої ймовірності 0,95. Всі експерименти проводили в трьох повторностях.

Висновки за розділом 2

Обрані об'єкти та методи досліджень дозволяють провести комплексне вивчення процесу отримання високоочищеного пектину з буякового жому. Використання сучасних фізико-хімічних методів аналізу забезпечує всебічну характеристику структури та властивостей пектину. Застосування математичних методів планування експерименту та оптимізації дозволяє встановити раціональні параметри технологічного процесу. Методологія досліджень відповідає сучасним вимогам до розробки технологій отримання біополімерів для медичного застосування.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИСОКООЧИЩЕНОГО БУРЯКОВОГО ПЕКТИНУ

3.1. Дослідження процесу екстракції пектину з бурякового жому

Екстракція пектину з рослинної сировини є складним фізико-хімічним процесом, ефективність якого залежить від численних факторів. На першому етапі досліджень вивчали вплив природи екстрагенту на вихід та якісні характеристики пектину з бурякового жому. Порівнювали ефективність мінеральних (соляна кислота) та органічних кислот (лимонна, щавлева, винна) при однакових умовах екстракції: температура 80°C, рН 2,0, тривалість 90 хвилин, гідромодуль 1:20.

Результати досліджень показали, що природа кислоти суттєво впливає на вихід пектину та його характеристики (табл. 3.1). Найвищий вихід пектину (17,8%) досягався при використанні лимонної кислоти, що на 15% вище порівняно з соляною кислотою, що пояснюється хелатуючими властивостями лимонної кислоти, яка ефективно зв'язує іони кальцію та магнію, що сприяє вивільненню пектину з клітинних стінок. Щавлева кислота також показала високу ефективність (16,9%), тоді як винна кислота забезпечувала дещо нижчий вихід (15,2%).

Таблиця 3.1 – Вплив природи екстрагенту на вихід та характеристики пектину

Екстрагент	Вихід пектину, %	Ступінь етерифікації, %	Молекулярна маса, кДа	Вміст ГК*, %	В'язкість 2% розчину, мПа·с
Соляна кислота	15,5±0,4	58,2±1,2	98±5	78,4±0,8	245±12
Лимонна кислота	17,8±0,3	68,5±1,0	142±7	83,2±0,6	385±15
Щавлева кислота	16,9±0,5	65,3±1,3	128±6	81,5±0,7	342±14
Винна кислота	15,2±0,4	62,8±1,1	115±8	79,8±0,9	298±13

Важливо відзначити, що використання органічних кислот дозволило отримати пектин з вищим ступенем етерифікації порівняно з мінеральною кислотою. Пектин, екстрагований лимонною кислотою, мав ступінь етерифікації 68,5%, тоді як при використанні соляної кислоти цей показник становив лише 58,2%. Це свідчить про менш агресивний вплив органічних кислот на естерні групи пектину під час екстракції [31].

Молекулярна маса пектину також залежала від природи екстрагенту. Найвищу молекулярну масу (142 кДа) мав пектин, отриманий з використанням лимонної кислоти, що вказує на мінімальну деградацію полімерних ланцюгів. Соляна кислота призводила до часткової деполімеризації пектину, про що свідчить нижча молекулярна маса (98 кДа) отриманого продукту.

Кінетичні дослідження процесу екстракції проводили при оптимальних умовах з використанням лимонної кислоти. Концентрацію пектину в екстракті визначали через кожні 15 хв. протягом 3 год. Кінетична крива екстракції мала типовий вигляд з трьома характерними ділянками (Рис. 3.1). На початковій стадії (0-30 хв.) спостерігається швидкий вихід пектину, що пов'язано з вимиванням легкодоступних фракцій з поверхні часток жому. Друга стадія (30-90 хв.) характеризувалася уповільнення процесу через дифузійні обмеження. На третій стадії (після 90 хв.) концентрація пектину в екстракті практично не змінювалася, що свідчить про досягнення рівноваги.

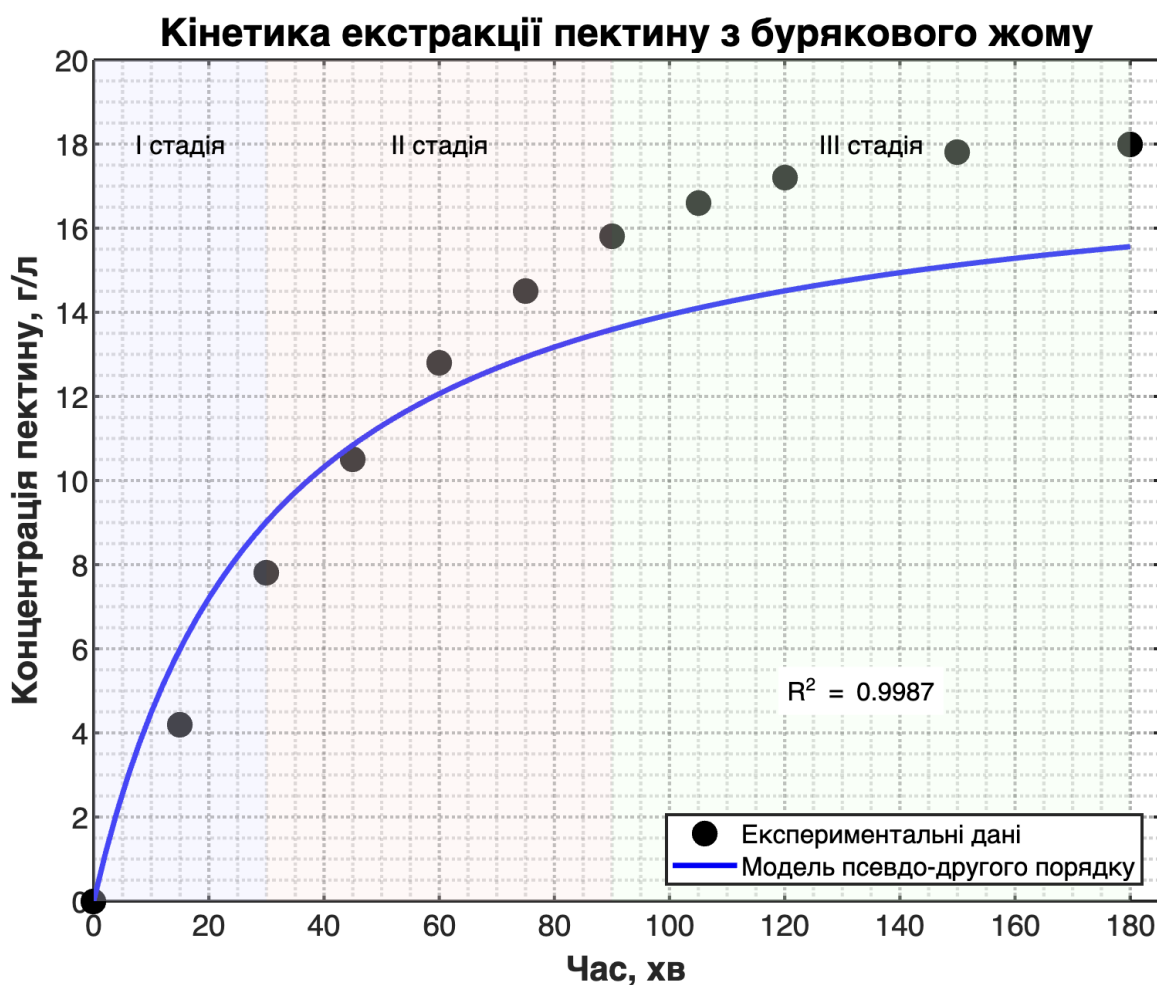


Рисунок 3.1. Кінетика екстракції пектину з бурякового жому лимонною кислотою

Математична обробка кінетичних даних показала, що процес екстракції добре описується рівнянням псевдо-другого порядку:

$$\frac{t}{Ct} = \frac{1}{k^2 C e^2} + \frac{t}{C e} \quad (3.1).$$

Де

C_t – концентрація пектину в момент часу t ,

C_e – рівноважна концентрація,

k – константа швидкості псевдо-другого порядку.

Розрахована константа швидкості становила 0,0018 г/(мг·хв), що свідчить про достатньо високу швидкість процесу [32].

Вплив температури на процес екстракції вивчали в діапазоні 60-95°C при постійних значеннях інших параметрів. Підвищення температури від 60 до 85°C призводило до збільшення виходу пектину з 12,4 до 19,2%. Подальше підвищення температури до 95°C не давало суттєвого приросту виходу (19,8%), але призводило до зниження молекулярної маси пектину через термічну деградацію. Залежність константи швидкості екстракції від температури описувалась рівнянням Арреніуса, що дозволило розрахувати енергію активації процесу (28,4 кДж/моль). Відносно невисоке значення енергії активації вказує на те, що процес контролюється дифузією, а не хімічною реакцією. рН середовища є критичним параметром екстракції пектину. Дослідження проводили в діапазоні рН 1,0-3,5 при температурі 80°C. Максимальний вихід пектину (18,5%) досягався при рН 2,0. При нижчих значеннях рН спостерігалася деградація пектину, про що свідчить зниження молекулярної маси та ступеню етерифікації. При рН вище 2,5 ефективність екстракції знижувалася через недостатню іонізацію карбоксильних груп пектину [33]. Гідромодуль (співвідношення сировина:розчинник) впливав на повноту вилучення пектину. Збільшення гідромодуля від 1:10 до 1:20 призводило до зростання виходу пектину з 14,2 до 17,8%. Подальше збільшення гідромодуля до 1:30 давало незначний приріст виходу (18,3%), але ускладнювало подальше концентрування екстракту. Оптимальним було визнано гідромодуль 1:20. Розмір часток сировини також впливав на ефективність екстракції. Зменшення розміру часток від 2,0 до 0,5 мм призводило до збільшення виходу пектину з 15,1 до 18,9% за рахунок збільшення питомої поверхні контакту фаз. Проте занадто тонке подрібнення (менше 0,5 мм) ускладнювало фільтрування екстракту через утворення в'язкої суспензії.

Дослідження впливу попередньої обробки сировини показало, що промивання жому 70% етанолом дозволяє видалити низькомолекулярні речовини та пігменти, що покращує якість кінцевого продукту. Вихід пектину при цьому знижувався незначно (на 3-5%), але колірність екстракту зменшувалася в 2,5 рази. Важливим аспектом процесу екстракції є селективність вилучення пектину. Аналіз складу екстракту показав, що поряд з пектином в розчин переходять геміцелюлози, білки та мінеральні речовини. Вміст супутніх полісахаридів в екстракті становив 8-12%, білків – 3-5%, золи – 2-3%. Використання лимонної кислоти забезпечувало вищу селективність екстракції порівняно з мінеральними кислотами..

Пектин, отриманий екстракцією лимонною кислотою, мав більш однорідну структуру з розміром часток 10-50 мкм. Пектин, отриманий соляною кислотою, характеризувався неоднорідною структурою з наявністю агломератів розміром до 200 мкм, що може негативно впливати на його розчинність та функціональні властивості. Дослідження розчинності показало, що пектин, отриманий лимонною кислотою, повністю розчиняється у воді при 60°C за 15 хвилин, утворюючи прозорий в'язкий розчин. Пектин, отриманий соляною кислотою, потребував вищої температури (80°C) та довшого часу (30 хвилин) для повного розчинення, що пов'язано з його частковою деетерифікацією та агрегацією молекул. Функціональні властивості отриманих пектинів оцінювали за їх гелеутворюючою здатністю. Пектин, екстрагований лимонною кислотою, утворював міцні гелі (міцність 180 г/см²) при рН 3,0 та вмісті цукру 65%. Пектин, отриманий соляною кислотою, через нижчий ступінь етерифікації краще гелював у присутності іонів кальцію, утворюючи гелі міцністю 150 г/см² при концентрації CaCl₂ 50 мг/г пектину [36].

Важливим показником для медичного застосування є чистота пектину. Аналіз вмісту важких металів показав, що використання лимонної кислоти дозволяє отримати пектин з нижчим вмістом свинцю (0,8 мг/кг), кадмію (0,1 мг/кг) та миш'яку (0,3 мг/кг) порівняно з екстракцією соляною кислотою, де ці показники становили 1,5, 0,3 та 0,5 мг/кг відповідно. Всі зразки відповідали вимогам Європейської фармакопеї для допоміжних речовин.

Отже, порівняльний аналіз економічних показників показав, що незважаючи на вищу вартість лимонної кислоти порівняно з соляною, загальна собівартість процесу з використанням органічної кислоти лише на 15% вища. При цьому відпадає необхідність у корозійностійкому обладнанні, знижуються витрати на нейтралізацію стічних вод та підвищується якість кінцевого продукту, що компенсує додаткові витрати на реагенти.

3.2. Оптимізація параметрів екстракції пектину

Оптимізацію процесу екстракції пектину з бурякового жому проводили методом математичного планування експерименту з використанням центрального композиційного плану другого порядку. На основі попередніх досліджень були обрані чотири основні фактори, що найбільш суттєво впливають на процес: X_1 – температура екстракції (70-90°C), X_2 – рН середовища (1,5-2,5), X_3 – тривалість процесу (60-120 хв), X_4 – гідромодуль (1:15-1:25). Як функції відгуку визначали: Y_1 – вихід пектину (%), Y_2 – вмісту галактуронової кислоти (%) [37].

План експерименту включав 25 дослідів – 16 дослідів у вершинах куба, 8 зіркових точок та 1 дослід у центрі плану. Всі експерименти проводили в трьох повторностях з використанням лимонної кислоти як екстрагенту. Результати експериментів наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – Матриця планування та результати експериментів

№ досліду	X_1 (Т, °С)	X_2 (рН)	X_3 (τ, хв)	X_4 (ГМ)	Y_1 (вихід, %)	Y_2 (вміст ГК, %)
1	-1(70)	-1(1,5)	-1(60)	-1(1:15)	14,2	78,5
2	+1(90)	-1(1,5)	-1(60)	-1(1:15)	16,8	76,2
3	-1(70)	+1(2,5)	-1(60)	-1(1:15)	12,5	82,1
4	+1(90)	+1(2,5)	-1(60)	-1(1:15)	15,1	79,8
5	-1(70)	-1(1,5)	+1(120)	-1(1:15)	15,8	79,2
6	+1(90)	-1(1,5)	+1(120)	-1(1:15)	18,5	77,5
7	-1(70)	+1(2,5)	+1(120)	-1(1:15)	13,9	83,4
8	+1(90)	+1(2,5)	+1(120)	-1(1:15)	16,7	81,2
9	-1(70)	-1(1,5)	-1(60)	+1(1:25)	15,1	79,8
10	+1(90)	-1(1,5)	-1(60)	+1(1:25)	17,9	77,3
11	-1(70)	+1(2,5)	-1(60)	+1(1:25)	13,4	83,6
12	+1(90)	+1(2,5)	-1(60)	+1(1:25)	16,2	81,5
13	-1(70)	-1(1,5)	+1(120)	+1(1:25)	16,9	80,4
14	+1(90)	-1(1,5)	+1(120)	+1(1:25)	19,8	78,7
15	-1(70)	+1(2,5)	+1(120)	+1(1:25)	14,8	84,8
16	+1(90)	+1(2,5)	+1(120)	+1(1:25)	17,9	82,5
17	-2(60)	0(2,0)	0(90)	0(1:20)	11,3	81,9
18	+2(100)	0(2,0)	0(90)	0(1:20)	18,2	75,1
19	0(80)	-2(1,0)	0(90)	0(1:20)	13,8	74,2
20	0(80)	+2(3,0)	0(90)	0(1:20)	11,5	85,3
21	0(80)	0(2,0)	-2(30)	0(1:20)	13,2	80,8
22	0(80)	0(2,0)	+2(150)	0(1:20)	17,8	81,5
23	0(80)	0(2,0)	0(90)	-2(1:10)	14,5	81,2
24	0(80)	0(2,0)	0(90)	+2(1:30)	18,1	81,7
25	0(80)	0(2,0)	0(90)	0(1:20)	18,2	82,3

Математична обробка результатів дозволила отримати рівняння регресії другого порядку для виходу пектину:

$$Y^1 = 18,2 + 2,4X^1 + 1,8X^2 + 1,2X^3 + 0,9X^4 - 1,1X^{12} - 0,8X^{22} - 0,5X^{32} - 0,3X^{42} + 0,6X_1X_2 + 0,4X_1X_3 + 0,2X_1X_4 + 0,3X_2X_3 + 0,1X_2X_4 + 0,1X_3X_4$$

Адекватність моделі перевіряють за критерієм Фішера. Розрахункове значення F-критерію ($F_{\text{розр}} = 48,3$) перевищувало табличне ($F_{\text{табл}} = 2,87$) при рівні значущості 0,05, що свідчить про адекватності отриманої моделі.

Аналіз коефіцієнтів регресії показав, що найбільший вплив на вихід пектину має температура екстракції ($b_1 = 2,4$), дещо менший – рН середовища ($b_2 = 1,8$). Негативні значення квадратичних коефіцієнтів вказують на наявність максимуму функції відгуку в досліджуваній області факторного простору.

Для вмісту галактуронової кислоти отримано рівняння:

$$Y_2 = 82,3 - 1,2X_1 + 2,1X_2 - 0,8X_3 - 0,5X_4 - 0,9X_1^2 - 1,3X_2^2 - 0,4X_3^2 - 0,2X_4^2 - 0,7X_1X_2 - 0,3X_1X_3 - 0,2X_1X_4 + 0,4X_2X_3 + 0,1X_2X_4 - 0,1X_3X_4$$

Цікаво відзначити, що температура негативно впливає на вміст галактуронової кислоти ($b_1 = -1,2$), що пов'язано з частковою деградацією пектину при високих температурах. Водночас рН позитивно корелює з чистотою пектину ($b_2 = 2,1$), оскільки при оптимальних значеннях рН знижується вилучення супутніх речовин [38].

Побудова поверхонь відгуку дозволила візуалізувати вплив факторів на функції відгуку та визначити область оптимальних значень (Рисунок 3.2). Аналіз поверхонь показав, що максимальний вихід пектину досягається при температурі 82-85°C та рН 1,9-2,1, тоді як максимальний вміст галактуронової кислоти спостерігається при дещо нижчій температурі (78-80°C) та вищому рН (2,1-2,3).

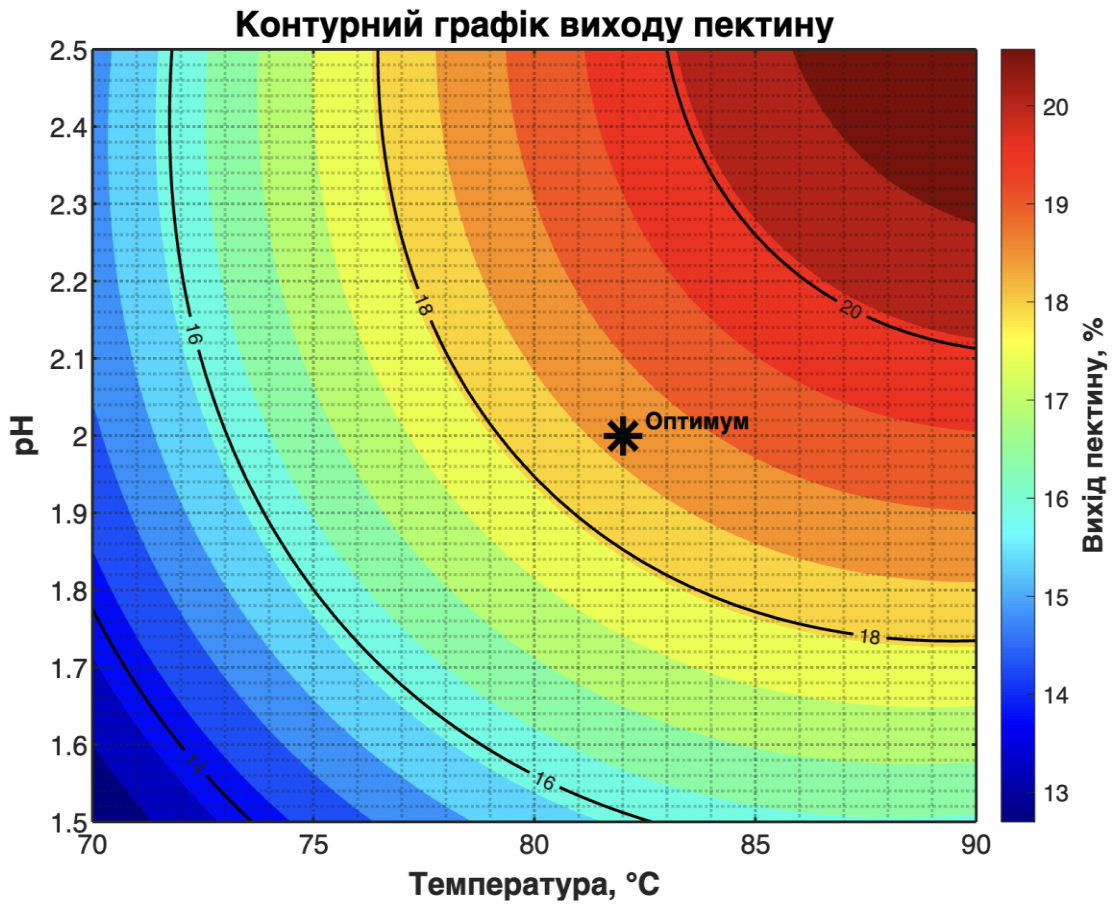


Рисунок 3.1. Контурний графік виходу пектину залежно від температури та рН.

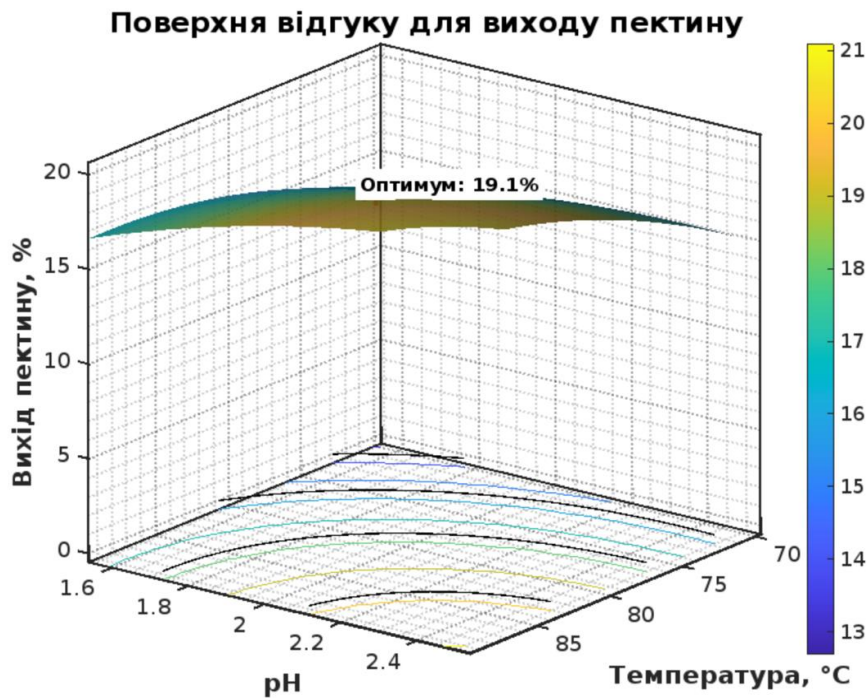


Рисунок 3.3. Поверхні відгуку для виходу пектину залежно від температури та рН

Для знаходження компромісних оптимальних умов використовували метод бажаності Харрінгтона. Часткові функції бажаності для кожної функції відгуку перетворювали в узагальнену функцію бажаності:

$$D = (d^1 \times d^2)^{0.5} \quad (3.2)$$

де d_1 та d_2 – часткові функції бажаності для виходу пектину та вмісту галактуронової кислоти відповідно.

Оптимізація узагальненої функції бажаності дозволила визначити оптимальні параметри процесу: температура 82°C, рН 2,0, тривалість 95 хвилин, гідромодуль 1:20. При цих умовах прогнозований вихід пектину становив 19,1%, вміст галактуронової кислоти – 81,5%. Перевірка оптимальних умов у трьох паралельних експериментах підтвердила адекватність моделей. Експериментальні значення виходу пектину ($18,9 \pm 0,3\%$) та вмісту галактуронової кислоти ($81,2 \pm 0,8\%$) добре узгоджувалися з розрахунковими, відхилення не перевищували 5%. Дослідження впливу взаємодії факторів показало, що найбільш значущою є взаємодія температури та рН ($b_{12} = 0,6$ для виходу пектину). При низьких значеннях рН підвищення температури дає більший приріст виходу, ніж при високих рН. Це пояснюється тим, що при низькому рН протонування карбоксильних груп відбувається повніше, і температура стає лімітуючим фактором [39]. Аналіз економічної ефективності показав, що оптимізація процесу дозволяє збільшити вихід пектину на 15% порівняно з неоптимізованими умовами, що при промисловому масштабі виробництва забезпечує значний економічний ефект. Собівартість пектину знижується на 12% за рахунок підвищення виходу та зниження витрат енергії.

Важливим результатом оптимізації є можливість отримання пектину з прогнозованими властивостями. Встановлені математичні залежності дозволяють цілеспрямовано регулювати не лише вихід, але й якісні характеристики продукту залежно від вимог конкретного застосування.

Масштабування процесу від лабораторного (1 л) до пілотного (100 л) масштабу показало хорошу відтворюваність результатів. Вихід пектину в пілотній установці становив 18,5%, що лише на 3% нижче за лабораторні результати. Невелике зниження виходу пояснюється меншою ефективністю перемішування у великому об'ємі.

3.3 Фізико-хімічна характеристика пектинового екстракту

Пектиновий екстракт, який отримано внаслідок гідролізу бурякового жому, є кислим розчином природних високомолекулярних сполук, і приблизно на 90 % складається із електролітів. Екстракт – це рідина світло-сірого кольору, вміст пектинових речовин в ньому складає 0,5...0,9 %, його густина 1,01...1,02 г/см³, рН=0,6...0,8, відносна в'язкість 4,52...4,51 од.

Пектиновмісна сировина, що є вторинним продуктом виробництва цукру, містить значну кількість водорозчинних баластних по відношенню до пектину речовин, внаслідок чого вона характеризується низькою чистотою (менше 60 %).

При отриманні харчових волокон з рослинної сировини і, зокрема, при вилученні пектинових речовин із пектиновмісної сировини, екстрагуються також інші водорозчинні речовини: цукри, білки, крохмаль, органічні кислоти, поліфеноли, забарвлюючі речовини, макро- та мікроелементи, що призводить до погіршення якості готового продукту і потребує подальшого очищення.

Крім того, в процесі гідролізу протопектиину проходить також гідроліз крохмалю, геміцелюлози, целюлози, внаслідок чого також утворюються моносахариди: галактоза, фруктоза, ксилоза, фукоза, маноза, склад і кількість яких залежить від виду рослини. В цукровому буряку переважає дисахарид сахароза .

Вміст білків в цукровому буряку невеликий (0,9 %). В результаті кислотного-термічної обробки сировини відбувається денатурація білків, проникність рослинної тканини збільшується, частина білків екстрагується з рослинної тканини.

В пектиновмісній сировині міститься деяка кількість органічних кислот, які також переходять в екстракт.

Відмінною особливістю цукрового буряку і, відповідно, бурякового жому, є малий вміст органічних кислот (0,27 % до маси буряку) [27]. В буряку є щавлева, молочна, яблучна, винна, лимонна, оцтова та ін. кислоти. При екстрагуванні сахарози частина їх переходить в дифузійний сік.

Кількість мінеральних речовин в продукті визначає вміст в ньому золи, який може коливатися для пектинового екстракту від 0,1 до 1 %, пектину від 0,04 для яблучного і до 2,75 % для пектину з кавуна. Вміст золи в пектині і пектинопродуктах вказує на ефективність процесів очищення пектинових екстрактів і пектину.

Вміст баластних по відношенню до пектину речовин може складати від 50 до 70 % сухих речовин екстракту. При цьому склад самих пектинових речовин в екстракті неоднорідний, фракціонування по хімічній структурі дає

зможу виділити кілька фракцій, що відрізняються також ступенем етерифікації, вмістом галактуранової кислоти, здатністю до гелеутворення. Ці фракції містять нейтральні вуглеводи, сильно розгалужені молекули галактуранона, високомолекулярні молекули пектину, суміш олігомерів галактуранової кислоти з низькою молекулярною масою.

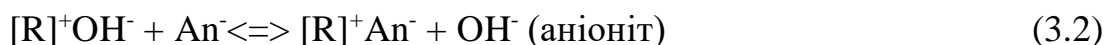
Крім того, залежно від конструктивних особливостей обладнання на стадії розділення пектинового екстракту і прогідролізованої сировини екстракт може містити до 25,0 г/д сухого залишку, в склад якого входять частинки самої сировини і мінеральні домішки.

Таким чином, з пектиновмісної рослинної сировини при її переробці можуть бути виділені різні компоненти, в зв'язку з чим пектинові екстракти і пектин поряд з цільовою речовиною містять ряд речовин, баластних по відношенню до пектину. Вміст баластних речовин в сухому пектині згідно з вимогами стандарту не має перевищувати 30 % (для пектину, що використовується в харчовій промисловості). Наявність баластних речовин в пектинах і пектинових екстрактах знижує їх властивості до гелеутворення і погіршує комплексоутворення. В зв'язку з цим необхідно розробити ефективні способи очищення пектинопродуктів від баластних щодо пектину речовин з урахуванням їх властивостей.

3.4 Механізм взаємодії речовин бурякового екстракту пектинового з іонами

Пектиновий гідролізат з бурякового жому має значну кількість баластних щодо пектину речовин різної хімічної природи. Залежно від хімічного складу частина баластних речовин знаходиться в дисоційованому, а частина – в недисоційованому стані. Вони мають кислотні, лужні або амфотерні властивості.

Хімізм іонітного очищення пектинового екстракту описується такими реакціями:



Обмін іонів між смолою і розчином електроліту залежить від низки факторів: природи фіксованих іонів в іоніті; ступеня гідратації і спорідненості з ними протиіонів, будови матриці та кількості поперечних зв'язків в ній, визначаючих поряд з іншими факторами ступінь набухання сорбенту; концентрації іонів, що обмінюються; значення рН середовища, температури та інших факторів [37, 40].

Звичайні іоніти не здатні поглинати високомолекулярні іони, тому що розміри пор в матриці іоніту менші розмірів високомолекулярних іонів. Матриця діє як сито, що відсіває великі іони від малих. Іони з середнім діаметром 30 Å не можуть проникати всередину звичайних товарних іонітів і підлягають лише слабкій поверхневій адсорбції. Частинки менших розмірів поглинаються тим сильніше, чим менше їх середній діаметр. Збільшення пористості іоніту пов'язано із збільшенням поглинання іонів.

Пектинові молекули мають в основному ниткоподібну структуру і належать до лінійних колоїдів з довжиною молекули порядку 10^{-5} см. У водних розчинах пектини являють собою напівгнучкі макромолекули, що мають конформацію спіралей з постійним поперечним перерізом [41], карбоксильні групи яких розташовані одна над одною. Радіус обертання пектинової молекули, що має трансконформацію, у водних розчинах дорівнює 320 Å [41]. Під впливом температури та рН середовища дисоціація вільних карбоксильних груп посилюється, при цьому кожна дисоційована група отримує негативний заряд. Утворюються близько розташовані однойменно заряджені центри, між якими діють сили відштовхування, що вирівнюють спіральну молекулу та збільшують її лінійні розміри.

Сітка звичайних гелевих іонітів, якими також є катіоніт КУ-2-8 та аніоніт АВ-17-8, неоднорідна. За грубою оцінкою середній ефективний розмір пор гелевих іонітів змінюється від 5 до 20 Å, (тобто $0,5...20 \cdot 10^{-8}$ см) [12]. Таким чином, високополімерні пектинові молекули не можуть проникати в пори звичайного товарного іоніта. Аніонообмінники можуть адсорбувати тільки моно-та олігогалактуранові кислоти .

Між катіонообмінником і пектином проходить обмін протиіонів. При проведенні процесу іонообмінного очищення пектинових екстрактів слід уникати завищення температури та рН середовища, оскільки уронові кислоти надзвичайно чутливі до лужного середовища [15, 30].

Більшість кислот на аніоніті осаджується в порядку зменшення молекулярної маси . Це правило також у великій мірі стосується і уронових кислот.

Метоксильована уронова кислота, яка має найвищу молекулярну масу, переважає над гексауроновими кислотами і значно випереджує останні. Серед них галактуранова кислота виділяється першою.

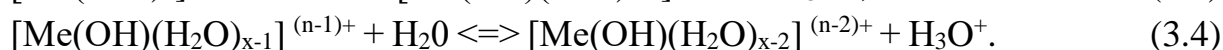
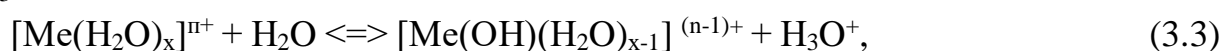
На основі будови пектинових речовин бурякового жому можна зробити висновок, що пектинові речовини в розчинах поведуть себе як дуже слабкі електроліти.

На іонітах проходить демінералізація пектинового екстракту.

Іони Zn^{2+} сорбуються на аніоніті з солянокислого розчину у вигляді аніонітного комплексу $[ZnCl_4]^{2-}$.

Такі метали, як Co, Cu, Cd, Pb не здатні до координації біля себе аніонів і не утворюють негативно заряджених комплексів в розчині соляної кислоти. Сорбція цих металів з кислого середовища можлива тільки на катіонітах. При цьому катіони сорбуються у вигляді аквакомплексів $[Me(H_2O)_x]^{n+}$.

Для аквакомплексів багатьох металів (Fe, Cu, Mg, Pb, Mn) є характерним гідроліз у водних розчинах з утворенням гідроксокомплексів і H_3O^+ :



Підвищення рН середовища сприяє гідролізу аквакатіонів, при досягненні визначеного значення рН вони можуть утворити і нейтральні гідроксиди металів.

При значенні рН менше 6 свинець знаходиться в розчинах в нейтралізованій катіонній формі.

Продукти гідролізу аквакатіонів сорбуються сильно кислотними катіонітами в H^+ -формі ($pK_a < pK_{гидр.}$) за механізмом катіонного обміну, який супроводжується розпадом гідроксокомплексів:



Типові процеси іонного обміну спостерігаються при взаємодії сильнокислотних і сильноосновних іонітів з розчинами сильних електролітів. Поряд з цим можуть проходити сорбційні процеси, ускладнені наявністю в сорбаті зарядів різного знаку або ж з малим ступенем дисоціації функціональних груп сорбованої речовини або іоніту.

Одним з таких нетипових процесів є сорбція диполярних іонів, які несуть водночас позитивні і негативні заряди (амінокислоти, пептиди, білки).

Речовини, які не дисоціюють в розчині з утворенням іонів, сорбуються за законами молекулярної сорбції на любых поглиначах, в тому числі і на звичайних іонітах (сорбція цукрів).

За тими ж законами проходить поглинання недисоційованих слабких кислот чи основ. Встановлено, що сульфокислотні катіоніти можуть адсорбувати з водного розчину значну кількість карбонових кислот (мурашину, молочну, оцтову).

Білкові молекули в сильнокислому середовищі екстракту заряджені позитивно. При зростанні рН екстракту і досягненні значення рН приблизно

3,0 вони змінюють величину заряду до повної нейтралізації його в ізоелектричній точці. При цьому нейтральні частинки стають нестійкими, поєднуються у великі агрегати і коагулюють. Крім того, молекули білкових і пектинових сполук можуть взаємодіяти між собою за допомогою сил електростатичного притягання. Початок коагуляції високомолекулярних сполук екстракту відповідає рН 2,1.

Це викликає необхідність попереднього очищення екстракту перед іонообмінною обробкою.

3.5. Дослідження зміни фізико-хімічних властивостей екстракту пектинового в процесі іонообмінної обробки

Для створення оптимальних умов коагуляції пектину і запобігання подальшої деструкції пектинових речовин, необхідно видалити з екстракту частину кислоти, що використовується як гідролітичний чинник бурякового жому. Іонообмінне очищення пектинового екстракту допускає його демінералізацію і стабілізацію значення рН середовища.

Технологічні властивості екстрактів визначаються кількісним і якісним співвідношенням мінеральних і органічних речовин.

В результаті іонообмінної очистки продукти не тільки очищаються від домішок, але й змінюється їх склад, властивості, а також значення рН середовища.

Екстракт пектиновий – це полікомпонентна система, що складається, в першому наближенні, із електроліту (лимонна кислота) та слабкого органічного (полігалактуронова кислота, яка дисоціює по карбоксильних групах у відповідних умовах). Оскільки пектинова витяжка майже на 90 % складається з електролітів, то можливий обмін іонами на іонітних смолах і демінералізація розчину.

При іонообмінній обробці пектинового екстракту регулювання рН та створення оптимального значення рН ведеться за рахунок кислоти, яка присутня в ньому.

В роботі вивчали змінювання значень рН пектинового екстракту в процесі пропускання його через катіоніт КУ-2-8 в H^+ -формі, а потім через аніоніт АВ-17-8 в OH^- -формі в лабораторних умовах. Для контролю відбирали з кожної колонки фракції очищеного пектинового екстракту по 10 мл кожна і визначали значення рН. З метою повнішого вивчення роботи колонок, розчин пропускали через шар іоніту, поки значення рН вихідного розчину не дорівнювало рН вхідного пектинового розчину.

В процесі обробки екстракту на катіонітній колонці в перших фракціях рН екстракту незначно падає у порівнянні з рН вихідного розчину, а потім рН екстракту після колонки поступово наближається до вихідного значення.

Після цього H^+ -катіонований пектиновий екстракт пропускали через аніоніт в OH^- -формі. В перших фракціях екстракту значення рН досягає 3,4...4,5 од., а потім поступово спадає до вихідного значення (рис.3.3), що свідчить про припинення видалення аніонів з екстракту.

При аніонуванні екстракту пектинового зменшується концентрація іонів H^+ , і по мірі цього посилюється дисоціація карбоксильних груп полігалактуранової кислоти.

Це дає можливість використовувати показник значення рН екстракту як один з факторів контролю проведення процесу іонообмінної обробки пектинового екстракту.

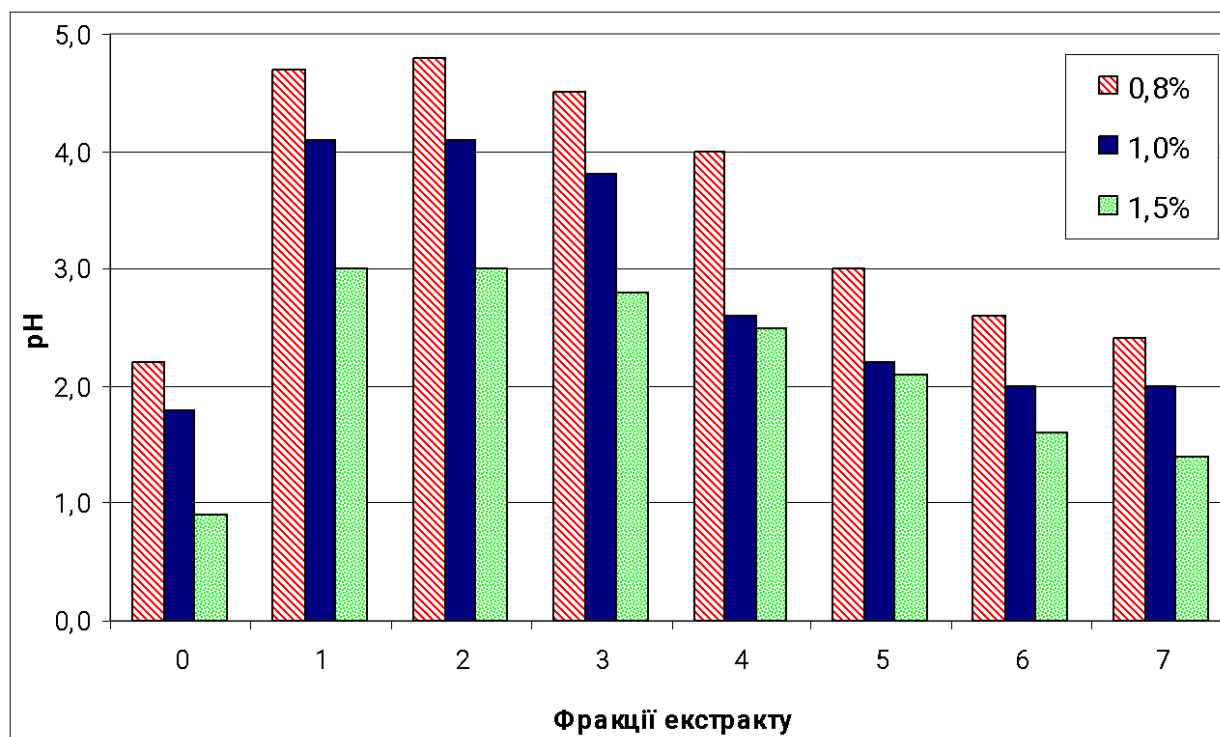


Рисунок 3.4 – Зміна рН в процесі очищення пектинового екстракту на аніоніті АВ-17-8 в OH^- -формі за різних концентрацій гідролізуючого агента.

Умови іонного обміну дозволяють вирішити проблему зміни значення рН пектинових екстрактів з 0,7...2,0 од. до заданого значення (залежно від подальшої обробки очищеного пектинового екстракту). Це має важливе значення, тому що значення рН екстракту 3,0...3,5 є оптимальним для осадження пектинових речовин.

Із зміною кислотності середовища пов'язана зміна властивостей розчину пектину як природного поліелектроліту.

Видалення надлишку кислоти та зниження активності іонів гідрогену призводить до стабільності пектинових розчинів у відношенні деградації пектину при тривалому зберіганні. Очищені екстракти можна концентрувати на випарних установках.

Кислотність середовища є ще одним аргументом на користь використання процесу іонообмінного очищення. При роботі в лужному середовищі (в цукровому виробництві) напруга в катіонітій смолі зростає внаслідок утворення інкрустації солей кальцію і магнію, а "отруєння" аніонітій смол проходить забарвлюючими речовинами, продуктами лужного розпаду цукру. В кислому середовищі ці явища відсутні.

Вміст баластних по відношенню до пектину речовин може складати від 50 до 70 % сухих речовин екстракту, причому баластні речовини мають різну хімічну природу.

В процесі іонообмінної обробки пектинового екстракту частина баластних речовин осаджується на катіоніті чи аніоніті залежно від їх природи.

При обробці пектинового екстракту на катіоніті проходить змінювання його мінерального складу. В роботі досліджували інтенсивність видалення мінеральних речовин пектинових екстрактів на лабораторній іонообмінній установці.

Пектиновий екстракт, отриманий після гідролізу-екстрагування бурякового жому, упарювали, центрифугували, розводили при потребі до вмісту сухих речовин $CP=3,0\%$ і очищали на колонці, заповненій катіонітом КУ-2-8чС в H^+ -формі. Швидкість пропускання встановлювали 3,5...4,0 мл/хв. Контроль процесу здійснювали за зміною значень рН екстракту. В кожній фракції визначали вміст іонів K^+ , Na^+ , Ca^{2+} . Зміна мінерального складу пектинового екстракту в процесі обміну на катіоніті представлено на рис.3.4.

Видалення мінеральних домішок із екстракту має велике значення, тому що молекула пектину набуває заряд, що сприяє зростанню уронідної складової зразка при осадженні етанолом. Найбільше зольні елементи видаляються з екстракту на катіоніті.

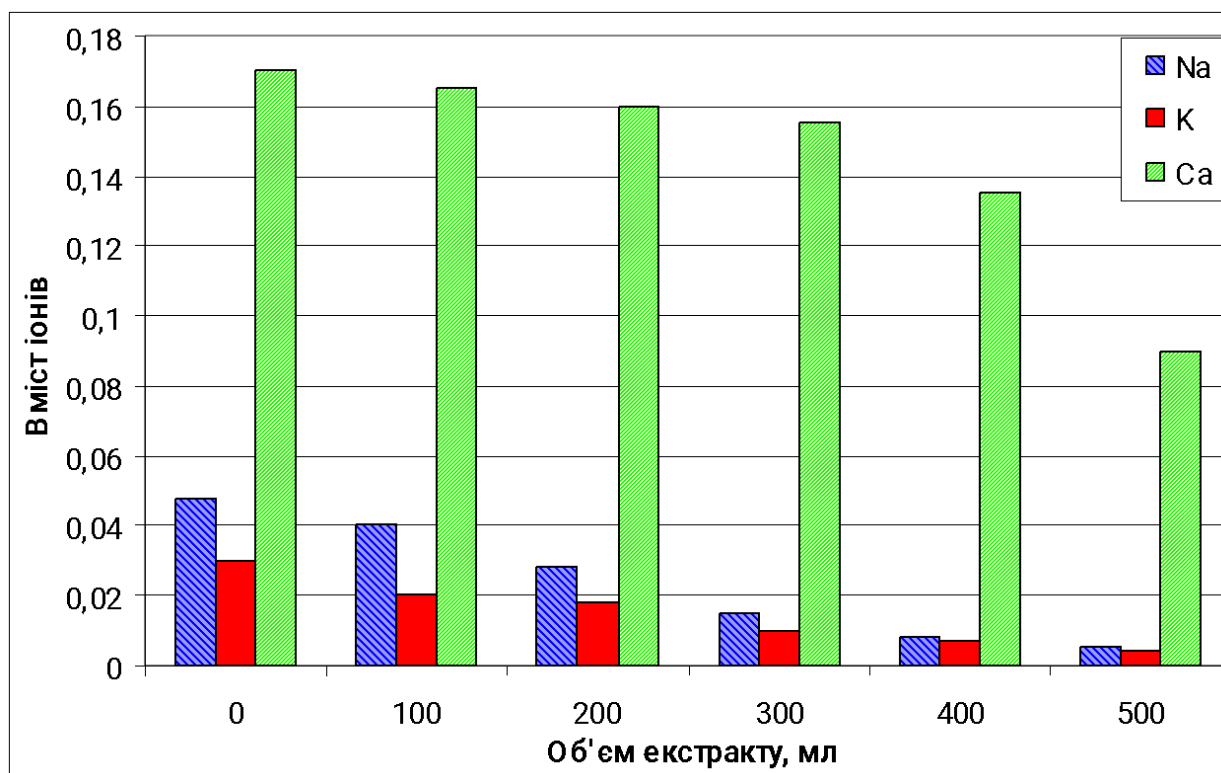


Рисунок 3.5. – Зміна мінерального складу екстракту в процесі іонообміну на катіоніті КУ-2-8чС в Н⁺-формі.

При низьких значеннях кислотності екстракту (порядку 0,01 моль/дм³) спостерігається значне поглинання металів. На катіоніті поглинання металів йде за рахунок реакцій іонного обміну. Але воно продовжується на аніонообміннику внаслідок утворення в розчині деякими катіонами (Cd²⁺, Pb²⁺) комплексних аніонів.

При зростанні рН середовища більше за 2,0 метали, що залишилися в екстракті, можуть взаємодіяти з пектиновою молекулою за місцем дисоційованих груп, утворюючи малорозчинні пектинати. Це супроводжується помутнінням витяжки та випаданням пластівчастого осаду. Цією обставиною визначається черговість очищення пектинового розчину по схемі "катіоніт - аніоніт".

Потім очищений на катіоніті КУ-2-8чС пектиновий екстракт пропускали через колонку, заповнену аніонітом АВ-17-8 в ОН⁻-формі з тією ж швидкістю. Контроль процесу здійснювали за величиною рН екстракту. Відбір очищеного екстракту з колонки проводили також фракціями.

Для того, щоб оцінити ефективність процесу іонообмінного очищення, провели порівняльний аналіз неочищеного пектинового екстракту, екстракту після катіонітної обробки та екстракту очищеного, тобто після катіонітно-аніонітної обробки.

Порівнюючи якісні характеристики пектину, отриманого осадженням етанолом з порцій елюату, нейтралізованих слаболужним розчином, і гідролізату з таким же значенням рН середовища, було помічено зменшення процентного вмісту баластних речовин, зростання уронідної складової, ступеня естерифікації пектину, обробленого іонітними смолами.

Зменшення кількості баласту зумовлено, мабуть, видаленням органічних низькомолекулярних фракцій пектину і збільшенням дисоціації пектинових кислот по карбоксильних групах при вилученні соляної кислоти з розчину (на аніонообміннику), а в зв'язку з цим відщепленням нейтральних цукрів, утримуваних водневими зв'язками.

В екстрактах пектинових – неочищеного; неочищеного та знейтралізованого; очищеного на іонітах – визначали вміст мікроелементів (Fe, Cu, Zn, Mn), макроелементів (K, Ca, Cl, P), важких металів (Hg, Pb, Cd) та As (табл. 4.1).

Вміст металів значно знижується після іонообмінної обробки пектинових екстрактів у порівнянні з неочищеним екстрактом. Нейтралізація екстрактів реагентами призводить до їх забруднення мінеральними речовинами. Дуже важливим є те, що внаслідок іонообмінної обробки зменшується вміст важких металів. Очищені пектинові екстракти задовольняють вимогам гранично допустимих концентрацій (табл. 4.2) за вмістом важких металів.

В зразках пектинових екстрактів – неочищеного, очищеного на катіоніті та очищеного по схемі "катіоніт-аніоніт" – визначали вміст золи (табл. 4.3). Вміст золи в очищеному пектиновому екстракті значно менший за нормативний показник (ДСТУ 6088:2009).

Таблиця 3.3 – Вміст металів в екстрактах пектинових та пектині

Екстракт	Мікроелементи, мкг/г				Макроелементи, мг/г				Важкі метали, мкг/г			
	Fe	Cu	Zn	Mn	K	Ca	Cl	P	Hg	Pb	Cd	As
Вихідний пектиновий екстракт, рН 0,9	53,0	4,0	19,2	0,52	0,60	14,2	10,4	0,29	0,04	0,30	0,08	0,12
Екстракт, нейтралізований рН1,8	64,7	4,2	21,0	0,55	0,73	15,1	8,30	0,33	0,05	0,34	0,07	0,14
Екстракт, іонообмінно очищений, рН 2,9	35,6	2,8	10,1	0,37	0,29	9,8	3,0	0,22	0,03	0,18	0,03	0,04
Пектин, осаджений з очищеного екстракту підкисленим спиртом	29,5	2,7	8,7	0,18	0,22	2,8	0,18	0,25	0,01	0,12	0,02	0,02

Таблиця 3.4 – Вміст золи в пектиновому екстракті в процесі іонообмінної обробки

Проба екстракту	Вміст золи на 100% сухих речовин, %
1. Гідролізат пектиновий	5,5144
2. Екстракт після катіонообмінної обробки на КУ-2-8чС	0,2156
3. Екстракт після катіоно- і аніонообмінної обробки на КУ-2-8 чС та АВ-17-8	0,0021

Загальний ефект очищення пектинового екстракту з бурякового жому після іонообмінної обробки по схемі "катіоніт-аніоніт" зростає до 80%, вміст титрованих кислот (в перерахунку на соляну кислоту) зменшується на 90 %, органічного баласту – на 28 % .

В роботі досліджували зміну чистоти пектинового екстракту в процесі іонообміну (на катіоніті -рис.3.4 та на аніоніті - рис.3.5).

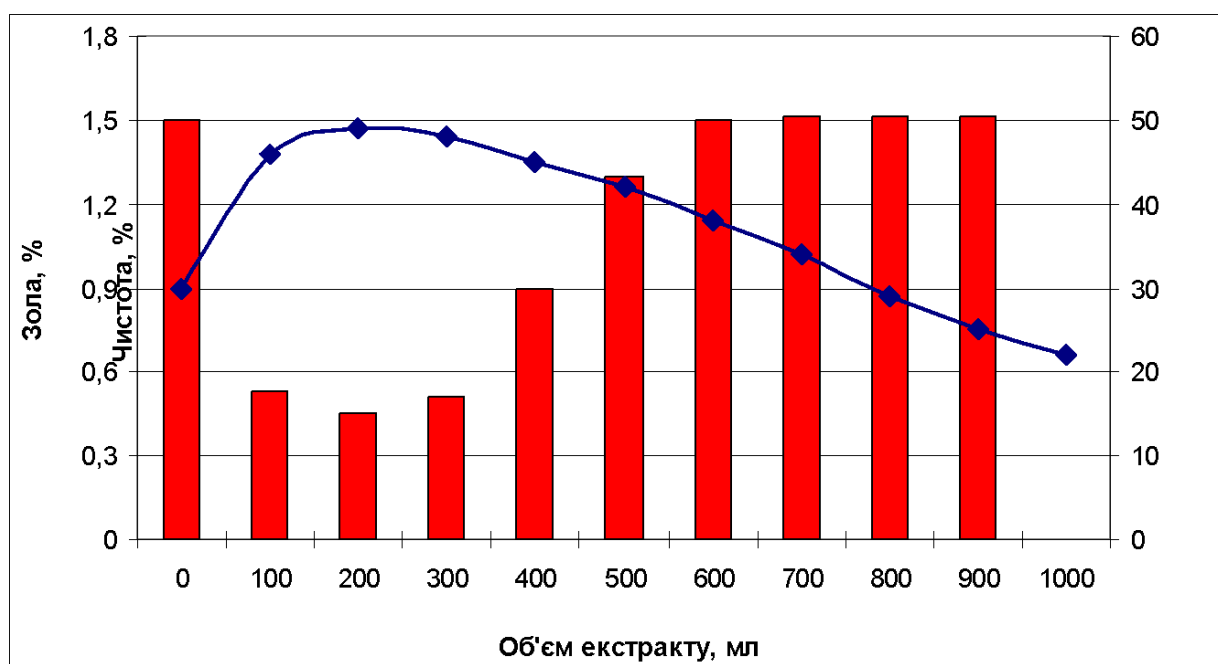


Рисунок 3.6 – Зміна чистоти пектинового екстракту на катіоніті КУ-2-8.

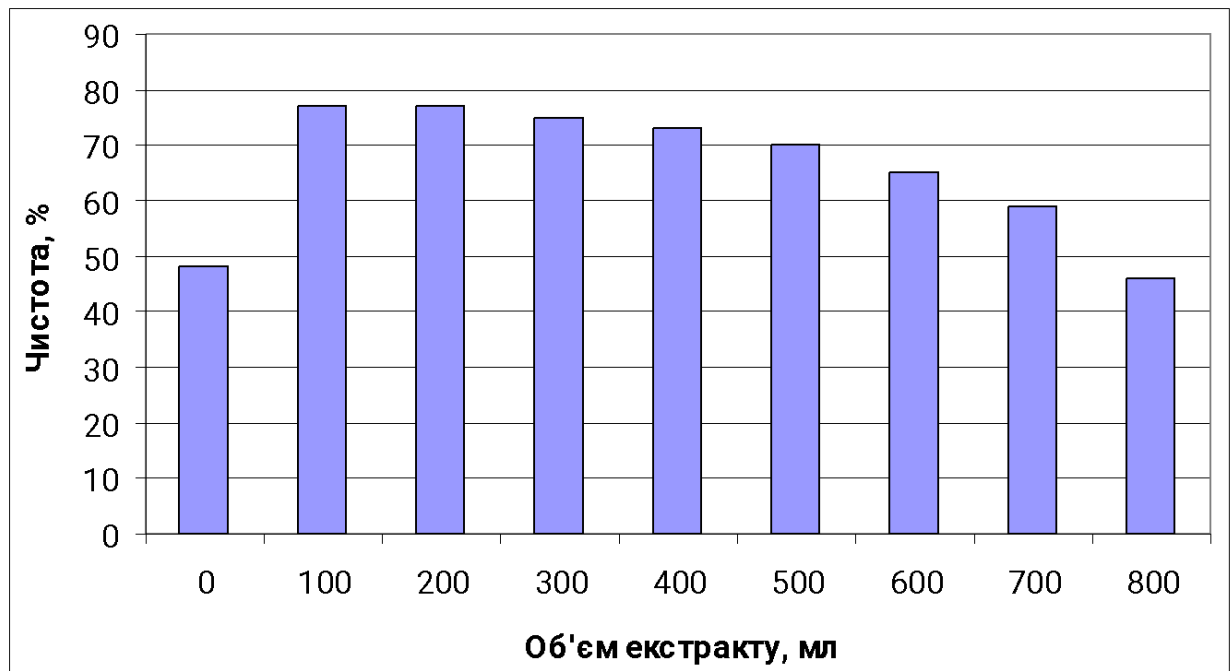


Рисунок 3.7 – Зміна чистоти пектинового екстракту на аніоніті АВ-17-8 в ОН-формі.

Максимальне зростання чистоти очищеного пектинового екстракту спостерігається в перших 8-10 фракціях екстракту, що виходить з колони, причому чистота збільшується майже в 1,5 рази. Потім спостерігається поступове зменшення ефекту очищення по мірі наближення до 20-ї фракції екстракту. Після цього, як правило, чистота починає зменшуватися і в останніх фракціях, значення рН яких наближається до значення рН вихідного екстракту, спостерігається лише незначне збільшення чистоти (0,15...0,30 %), або навіть її зниження, що можна пояснити початком десорбції адсорбованих речовин.

Виходячи з цього і враховуючи, що сильно відпрацьований іоніт потребує додаткових витрат генерального агента на його відновлення, є доцільним припинити пропускання розчину на цій фракції.

Також візуально спостерігалась зміна забарвленості пектинового екстракту в процесі іонообміну. На катіонні проходить незначне знебарвлення темного бурякового екстракту, екстракт стає світліший і прозоріший.

При обробці екстракту на аніоніті максимум знебарвлення приходить на перші 4-5 фракцій екстракту. Екстракт після аніонування стає зовсім прозорий та безбарвний. Пектин, осаджений з цих фракцій етиловим спиртом, має найкращі якісні показники. З подальшими фракціями йде поступове збільшення забарвленості екстракту в порівнянні з першими фракціями, але навіть в останніх фракціях пектинового екстракту, значення рН яких близьке

до вихідного (тобто рН=1,8...2,2), забарвлення значно менше, ніж для пектинового гідролізату.

В результаті іонообмінної обробки вміст пектинових речовин практично не змінюється. Втрати пектинових речовин незначні, причому в цьому випадку вони включають, в основному, олігомірні фракції. Це підтверджується вивченням впливу умов іонообміну на показники спиртоосаджуваних пектинових речовин з бурякового екстракту (зростає поліуронидна складова, ступінь етерифікації, а ацетильна складова зменшується) (табл. 3.4).

Збільшення середньов'язкісної молекулярної маси (приблизно на 20%) свідчить про адсорбцію полігалактуранової кислоти з молекулярною масою до 2500...3000 (табл.4.4).

Таблиця 3.5 – Показники очищення пектинового бурякового екстракту на катіоніті КУ-2-8 та аніоніті АВ-17-8

№	Екстракт	Вміст сухих речовин, %	рН	Вміст пектинових речовин, %	Чистота, %	Втрати пектину, %	Ефект очищення, %
1.	Екстракт після гідролізу	2,9	3,80	1,713	59,10	-	-
2.	Екстракт, очищений на катіоніті	2,7	3,50	1,882	69,70	0,00	57,2
3.	Екстракт, очищений на катіоніті та аніоніті	1,9	4,00	1,840	96,84	2,23	95,3

В процесі іонообміну в пектиновому екстракті проходить зменшення вмісту сухих речовин (табл.3.5). На аніоніті значно зменшується вміст сухих речовин в екстракті, що пояснюється сорбцією поліфенолів, сапонінів, амінокислот та інших органічних сполук. Чистота пектинового екстракту при цьому зростає, тому що зменшується кількість баластних речовин в екстракті, а тому зростає чистота виділеного пектину.

Спочатку вміст сухих речовин в екстракті визначався рефрактометрично, але показники були значно зниженими (0...0,5%), тоді як з очищеного екстракту етиловим спиртом осаджувався дуже якісний пектин. Тоді було проведено паралельне визначення вмісту сухих речовин неочищеного та очищеного пектинових екстрактів за допомогою гравіметричного та рефрактометричного методів (табл.4.5).

Таблиця 3.6 – Визначення сухих речовин екстракту в процесі іонообміну

Екстракт	Вміст пектинових речовин, %	Вміст сухих речовин, %	
		Рефрактометричний метод	Гравіметричний метод
1. Екстракт після гідролізу	1,808	3,30	3,285
2. Екстракт, оброблений на катіоніті	1,825	2,90	3,094
3. Екстракт, оброблений на катіоніті та аніоніті	1,780	0,50	2,539

Проведені дослідження показали, що для очищених за схемою "катіоніт-аніоніт" пектинових екстрактів вміст сухих речовин, визначений рефрактометрично, значно розбігається з істинним значенням. Причому це явище не спостерігалось для пектинових гідролізатів та екстрактів, оброблених тільки на катіонітній колонні.

Для перевірки приготували пектинові розчини з порошків очищеного і неочищеного бурякових пектинів точно визначеної концентрації і досліджували їх на рефрактометрі. (табл.4.6). Як видно з результатів, наведених у таблиці, вищенаведені висновки підтвердились.

Таблиця 3.7 – Визначення вмісту сухих речовин в пектинових розчинах

Концентрація пектинових речовин в приготовленому розчині, %	Середній вміст сухих речовин, визначений рефрактометрично, %
Неочищений пектин	
0,5±0,1	0,50±0,05
1,0±0,1	1,00±0,05
1,5±0,1	1,50±0,05
2,0±0,1	2,00±0,05
Очищений іонітами пектин	
0,5±0,1	0,10±0,05
1,0±0,1	0,60±0,05
1,5±0,1	0,80±0,05
2,0±0,1	1,20±0,05

Це явище можна пояснити наступним чином. Як відомо, спосіб визначення вмісту сухих речовин рефрактометрично оснований на дослідженні оптичних властивостей. Будова рефрактометрів основана на тому, що, визначивши спостереженням граничний кут повного внутрішнього

відбиття та знаючи показник заломлення одного середовища, ми можемо обчислити показник заломлення іншого середовища (рідини) [36].

Пектинові розчини оптично активні, мають здатність до подвійного променезаломлення [52]. Зі зменшенням довжини пектинового ланцюжка (під впливом лужного середовища) спостерігається зменшення подвійного променезаломлення. При очищенні пектину та нейтралізації карбоксильних груп подвійне променезаломлення зростає.

В умовах обміну на аніонообміннику, тобто в лужному середовищі, відбувається лужна деестерифікація пектину, яка викликає зменшення молекулярної маси препарату. Моно- та олігомірні фракції (з молекулярною масою до 2500...3000) адсорбуються аніоном. Крім того, проходить вивільнення карбоксильних груп та зростання метоксильної складової.

Очевидно, вирішальний вплив на оптичні властивості розчинів пектинових речовин має їх метоксильна складова і зменшення молекулярних мас. Збільшення метоксильної складової викликає зменшення оптичної густини і навпаки. Інтенсивність світлорозсіяння розчинів пектинових речовин зростає по мірі омилення і зменшення величин молекул та зменшення вмісту естерифіковані карбоксильних груп.

3.6 Визначення якісних показників та властивостей пектину, виділеного з очищених екстрактів

В роботі досліджували змінювання якісних показників і властивостей пектину, отриманого з екстракту, та нейтралізованого за допомогою іонообмінних смол КУ-2-8чС в Н⁺-формі та АВ-17-8 в ОН⁻-формі.

Дослідження проводились з препаратами пектину, осаджуваного етанолом з неочищеного екстракту, екстракту після катіонообмінної обробки та екстракту після катіоно-аніонообмінної обробки.

Визначення аналітичних характеристик пектину. Досліджували пектинові препарати на такі аналітичні характеристики: вміст вільних карбоксильних груп, естерифіковані карбоксильних груп, ацетильних груп, уронідну складову, ступінь естерифікації. Отримані результати наведено в табл.4.8.

З порівняння пектинів, вилучених з екстрактів до і після іонообмінного очищення видно, що вміст галактуронової кислоти зростає на 28...30 %, ступінь естерифікації збільшується на 75...78 %, вміст ацетильних груп зменшується на 6...10,5 %, ступінь метоксильованості зростає в 3,5 рази.

Здатність до комплексоутворення. Використання пектину та пектинових екстрактів з бурякового жому доцільне насамперед як

комплексоутворювачів, які сприяють зв'язуванню важких металів та радіонуклідів і виведенню їх з організму людини. Пектинові екстракти з цитрусових та яблучних вичавок мають значно меншу здатність до комплексоутворення.

Таблиця 3.8 – Зміна якісних показників пектину при іонообміні

Показники	Вміст, %:		
	Екстракт після гідролізу	Екстракт після катіоніту	Екстракт після катіоніту та аніоніту
Вільні карбоксильні групи,%	4,50	7,20	6,75
Етерифіковані карбоксильні групи,%	0,90	10,35	20,35
Ацетильні групи,%	4,30	3,92	1,72
Уронідна складова,%	61,40	71,86	98,0
Ступінь етерифікації,%	16,66	58,97	72,22

В роботі досліджували на здатність до комплексоутворення пектинові екстракти з бурякового жому до і після іонообмінного очищення (табл.3.9).

Таблиця 3.9 – Здатності до гелеутворення та комплексоутворення пектину

Екстракт	Вихід, %	Здатність до гелеутворення, кПа	Здатність до комплексоутворення, мг Pb ²⁺ /г	Молекулярна маса	Масова частка поліуронідів, %
Екстракт після гідролізу:					
Сncl =0,8 %	9,8	41,00	290	19700	64,9
1,0%	10,0	39,20	300	19600	65,1
1,2 %	іод	32,60	300	18900	65,2
Очищений екстракт:					
Сncl =0,8%	12,3	52,36	410	23000	93,4
1,0%	12,6	51,85	420	24200	95,2
1,2 %	13,4	54,03	425	22000	95,2

Здатність до комплексоутворення по відношенню до іону свинцю для пектинів, що випускаються промисловістю, складає 192...220 мг Pb²⁺/г (для пектину з бурякового жому). За рахунок метоксильовання і демінералізації бурякового пектину в процесі іонообмінної обробки, його здатність до комплексоутворення збільшується до значення 425 мг Pb²⁺/г.

Очевидно, збільшення значення здатності до комплексоутворення залежить від зростання ступеня етерифікації карбоксильних груп метанолом.

Внаслідок іонообмінного очищення зменшується вміст метоксильних груп в молекулі, в результаті чого знижується їх блокуюча дія на вільні карбоксильні групи пектину. Тому здатність до комплексоутворення пектину збільшується.

Встановлено, що збільшення значення рН екстракту до 3,6 за рахунок нейтралізації на іонообмінних смолах призводить до підвищення здатності до комплексоутворення пектину при кімнатній температурі на 17,1 мг Pb²⁺/г.

Вивчення здатності до комплексоутворення очищених пектинових екстрактів з бурякового жому показало, що вона зростає пропорційно збільшенню вмісту пектинових речовин в екстракті і складає 3,08; 4,40; 6,60 мг Pb²⁺ /мл пектинового екстракту при концентрації пектину в ньому відповідно 0,7; 1,0; 1,5 % , або при перерахунку 440 мг Pb²⁺/г пектину.

Здатність до гелеутворення. Ця здатність пектинів, які отримують при зміні тих чи інших параметрів процесів технології, є одним з найважливіших критеріїв оцінки ефективності технологічних процесів отримання пектинів. Дослідження проводили з препаратами пектину, осадженого етанолом з неочищеного та очищеного іонообмінним способом екстрактів (рис.4.6).

В результаті проведення очистки пектинового екстракту на катіоніті та аніоніті підвищується вміст вільних карбоксильних груп, зменшується вміст баласту і вміст ацетильних груп, внаслідок чого поліпшується здатність до гелеутворення пектину (у порівнянні з неочищеним).

Поліпшення гелеутворювальної здатності пектину говорить про підвищення його ступеня етерифікації, що підтверджується дослідями роботи.

Наявність баластних речовин в пектинових екстрактах, валентно пов'язаних з пектином (наприклад, інші полісахариди), викликає змінення конформації молекул пектину, що негативно впливає на формування драглів із-за послаблення асоціаційних сил між молекулами.

Низькоетерифіковані пектини, до яких відноситься буряковий пектин, утворюють драгли в присутності іонів кальцію за рахунок специфічної взаємодії катіонів з молекулами пектину, яка призводить до міцного зв'язку між ланцюгами.

Для утворення драглів пектину як джерело іонів кальцію використовували хлорид кальцію у розрахунку 40 мг солі на 1 г пектину.

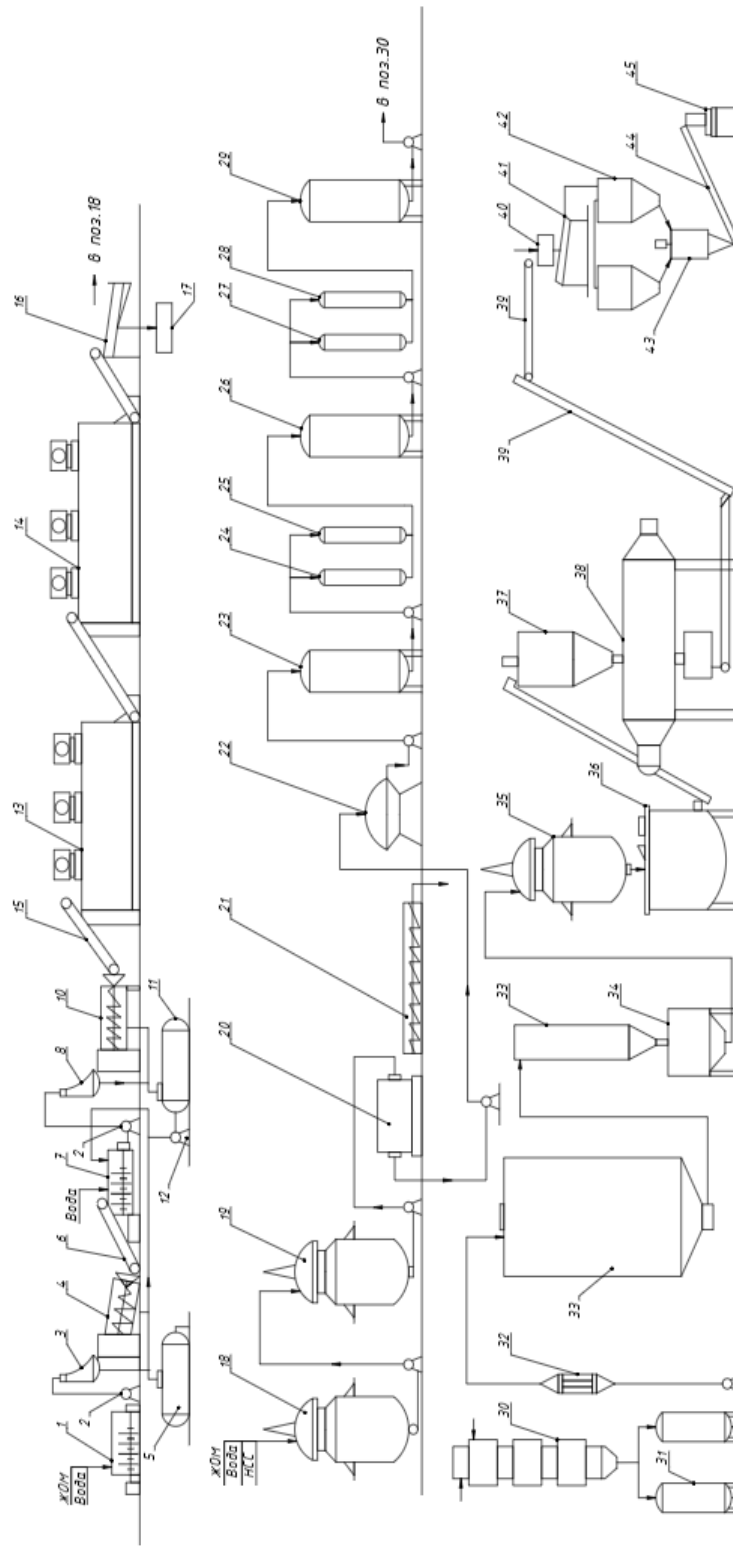
Використовуючи очищений буряковий пектиновий екстракт, отримували драгли з достатньою міцністю при концентрації пектинових речовин 1,4...2,0 % з низьким вмістом цукру (30...50 %) в більшому діапазоні значень рН=3,4...4,8 .

Міцність драглів з очищеного пектину дещо зростає у порівнянні з неочищеним. Цьому можна дати таке пояснення. Для опису взаємодії зон Са - пектатних гелей є модель, згідно з якою карбоксильні групи полімеру зв'язують катіони в електронегативних порожнинах між ланцюгами, подібно "яйцям в яєчній коробці" [56]. Ця модель передбачає кооперативне зв'язування іонів Са. Причому для кооперативного міжланцюгового зв'язку дуже важливим є утворення полігалактуронових ланцюжків зі ступенем полімеризації не менше 15. В процесі аніонообміну полігалактуронової кислоти зі ступенем полімеризації, меншим за вказаний, осаджуються на аніоніті АВ-17-8. Крім того, вивільнення полігалактуронових ланцюгів від метоксильних груп також сприяє кращому гелеутворенню.

3.7. Розроблення удосконаленої технологічної схеми виробництва

На основі проведених досліджень розроблено удосконалену технологічну схему отримання високоочищеного пектину з бурякового жому для медичного застосування.





Апаратурно-технологічна схема виробництва пектину з бурякового жому
 1,7 – ємність прийомки жому; 3,8 – сіло дубове; 2,9,12 – масос; 4,10 – прес шнековий; 5,11,31 – збірник;
 6,15,39,44 – транспортер; 13,14 – сушарка; 16,41 – проседач; 17 – збірник; 18 – відрама; 19 – охолоджувач;
 20 – центрифуга фільтрувальна; 21 – конвеєр; 22 – сепаратор; 23,26,29 – збірник;
 24,25 – фільтр катіонітовий; 27,28 – фільтр аніонітовий; 30 – РПА; 32 – теплообмінник;
 33 – сушарка розпилювальна; 34,42 – бункер; 35 – реактор; 36 – фільтр; 37 – збірник; 38 – сушарка ротарна;
 40 – ладрильничка; 43 – мушкетер; 45 – база.

Рисунок 3.3. Технологічна схема виробництва високоочищеного бурякового пектину

Процес починається з приймання та зберігання бурякового жому. Свіжий жом з вмістом сухих речовин 6-8% надходить з дифузійного відділення цукрового заводу в приймальний бункер, звідки шнековим транспортером подається на стрічкову сушарку. Сушіння проводиться

гарячим повітрям при температурі 120-140°C до залишкової вологості 8-10%. Висушений жом подрібнюється на молотковій дробарці до розміру часток 0,5-1,0 мм та подається в бункер-накопичувач [40]. Підготовлена сировина дозується ваговим дозатором у реактор-екстрактор об'ємом 5 м³, обладнаний якірною мішалкою, сорочкою для обігріву та системою автоматичного контролю температури і рН. Одночасно в реактор подається розчин лимонної кислоти з концентрацією 2% при гідромодулі 1:20. рН екстракційної суміші автоматично підтримується на рівні 2,0±0,1 додаванням концентрованого розчину лимонної кислоти.

Додатковим етапом очищення, що значно підвищує якість кінцевого продукту, є обробка пектинового екстракту іонообмінними смолами. Екологічно безпечний процес виробництва пектину передбачає використання іонообмінних колон для заміни Н⁺-іонів на йони лужноземельних металів у пектиновому компоненті. Очищення пектинових екстрактів на іонообмінних смолах складається з таких технологічних стадій: регенерації та промивки іонообмінників, очищення пектинового екстракту за допомогою катіоніту, очищення Н⁺-катіонного пектинового екстракту на аніоніті, промивки іонітів знесолоною водою перед регенерацією.

Підготовка Іонітів та їх регенерація є критичним етапом процесу. Початкова підготовка технічних іонітів та їх очищення після тривалого зберігання полягають у видаленні органічних домішок, залізовмісних сполук та важких металів, речовини накопичуються в іоніті за рахунок домішок, що містяться в оброблюваних розчинах, або утворюються внаслідок деструкції самого іоніту і не вимиваються в ході звичайного іонообмінного циклу.

Очищення онітів (товарної або відпрацьованої партії) проводять таким чином. Іоніт замочують для набухання на 3-10 годин, а потім воду зливають і його кілька разів промивають водою. Набухлий іоніт переносять в колону з водою, промивають і обробляють катіоніт розчином їдкою натру (5%-ним), а аніоніт – 5%-ним розчином соляної кислоти з питомим навантаженням 5,5·10⁻⁴ м³/м³·с (2 мл/мл·год). Пропускають 5 об'єму розчину на 1 об'єм іоніту. Потім іоніти відмивають водою з питомим навантаженням 1,39·10⁻³ м³/м³·с (5 мл/мл·год) до відсутності в фільтраті кислотності по метил-оранжевому або лужності по фенолфталеїну.

Далі переводять катіоніт в Н⁺-форму 5%-ним розчином соляної кислоти, а аніоніт в ОН-форму розчином NaOH. Після цього іоніти відмивають 10-ма об'ємами води з температурою 60°C. Для видалення органічної частини промивають іоніти 3-ма об'ємами етилового спирту і знову промивають

водою. Регенерацію іонів розглядають в конкретному технологічному процесі як операцію відновлення іоніту до первинного стану.

Взаємодія іонообмінників з органічними речовинами має деякі особливості в порівнянні з поглинанням іонами неорганічних компонентів. Галактуронова кислота виділяється першою в останню чергу осаджується групи, яка складається з манно галактуронової кислоти. На основі будови пектинових речовин бурякового жому можна зробити висновок, що пектинові речовини в розчинах поведуть себе як дуже слабкі електроліти. Присутність сильних електролітів (солі лужноземельних металів) подавляє дисоціацію і знижує заряд молекули.

На іонітах проходить демінералізація пектинового екстракту. Іони Zn^{2+} сорбуються на аніоніті з соляно-кислого розчину у вигляді аніонітного комплексу $ZnCl_4^{2-}$. Такі метали, як Co, Cu, Cd, Pb не здатні до координації біля себе аніонів і не утворюють негативно заряджених комплексів навіть в розчині такої сильної кислоти, як соляна. Сорбція цих металів з кислого середовища можлива тільки на катіонітах. При цьому катіони сорбуються у вигляді аквакомплексів $[Me(H_2O)_x]^{n+}$.

Для аквакомплексів багатьох металів (Fe, Cu, Mg, Pb, Mn) є характерним гідроліз у водних розчинах з утворенням гідроксокомплексів і H_3O^+ :



Підвищення рН середовища сприяє гідролізу аква катіонів, при досягненні визначеного значення рН вони можуть утворити і нейтральні гідроксиди металів. При значенні рН менше 6 свинець знаходиться в розчинах в нейтралізовані катіонній формі. Продукти гідролізу аквакатіонів сорбуються сильно кислотними катіонітами в H^+ -формі ($pK_a < pK_{гидр}$) по механізму катіонного обміну, що супроводжується розладом гідроксокомплексів.

Установка для проведення процесу іонообмінного очищення включає реактори прямооточного типу, в яких розчин, що очищається та регенеруючі розчини пропускають через шар іоніту зверху вниз. Реактор являє собою герметичну місткість циліндричної форми з випуклими днищами, виготовлений зі скла. Співвідношення висоти шару іоніту до його діаметра складає 4:1. У верхній частині реактора встановлено розподільний пристрій для рівномірного розподілу потоку рідини по всій поверхні шару іоніту, у

нижній – дренажний пристрій, який затримує зерна іоніту та не перешкоджає потоку рідини.

Для проведення процесу іонообмінного очищення доцільно використовувати реактори прямоочного типу, в яких розчин, що очищається та регенеруючі розчини пропускають через шар іоніту зверху вниз. Питоме навантаження на катіонітовий фільтр складає 4,5...4,9 л/м²·год. Контроль процесу при катіонуванні проводять за показниками рН середовища фільтрату, вмісту сухих речовин в ньому.

Після катіонітового фільтру екстракт збирається в збірнику, звідки він насосом подається на іонітовий фільтр. Аніонітовий фільтр заповнюється набухлим аніонітом АВ-17-8 в ОН-формі. Пропускають пектиновий екстракт з питомим навантаженням 5,5...7,0 л/год. Швидкість подачі екстракту на фільтри регулюється ротаметрами.

Порівняння технологічних показників пектинових екстрактів показує значну перевагу технології з іонітним очищенням (Таблиця 3.3). Пектиновий екстракт після іонообмінного очищення характеризується прозорим, світло-сірим барвним зовнішнім виглядом порівняно з в'язким сіро-коричневого кольору екстрактом, отриманим за класичною технологією.

Таблиця 3.10 – Порівняння технологічних показників пектинових екстрактів з буряку

Найменування показників	Пектиновий екстракт, отриманий за класичною технологією	Пектиновий екстракт після технології з іонітним очищенням
Зовнішній вигляд	В'язкий, сірого чи коричневого кольору	Прозорий, світло-сірий чи безбарвний
Гелеутворювальна здатність 2%-них драглів, кПа	40,00	55,00
Молекулярна маса	19600	26000
Масова частка сухих речовин, %, не менше	1,0	1,0
Масова частка пектину спиртоосаджуваного, %	0,5...1,0	0,5...1,0
Масова частка золи, %, не більше	2,0...4,0	2,0...4,0
Значення рН екстракту	0,5	0,002
Вміст золи, %, не більше	-	-

Ефективність іонообмінного очищення підтверджується також покращення якісних характеристик кінцевого продукту (Таблиця 3.4). Пектин, очищений за допомогою іонообмінних смол, характеризується вищим вмістом

чистого пектину (85,1% проти 55,2%), вищою молекулярною масою (24800 проти 19600) та кращими функціональними властивостями.

Таблиця 3.11 – Технологічні показники пектину, отриманого за традиційною технологією та з іонітоним очищенням

Найменування показників	Пектин, отриманий за традиційною технологією	Пектин, отриманий за технологією з іонітним очищенням
Вихід, % до маси сушеного жому	10,0	13,5
Молекулярна маса	19600	24800
Вміст чистого пектину, %	55,2	85,1

Таким чином, включення стадії іонообмінного очищення в технологічну схему дозволяє не тільки збільшити вихід пектину на 35%, але й суттєво покращити його якісні характеристики. Сучасні методи очищення пектину, включаючи іонообмінну хроматографію, дозволяють отримувати продукт високої чистоти, придатний для використання в біомедичних застосуваннях. Особливо важливим є збільшення комплексоутворювальної здатності пектину з 290 до 450 мг Pb²⁺/г, що розширює можливості його застосування як ентеросорбенту важких металів у медицині.

Екстракція проводиться при температурі 82±2°C протягом 95 хвилин при постійному перемішуванні зі швидкістю 60 об/хв. Нагрівання здійснюється подачею пари в сорочку реактора. По закінченні екстракції суміш охолоджується до 40°C подачею холодної води в сорочку та перекачується на фільтр-прес. Фільтрування екстракту проводиться на камерному фільтр-пресі з поліпропіленовими фільтрувальними полотнами. Тверда фаза (жомова маса) промивається гарячою водою (60°C) для вилучення залишків пектину та направляється на утилізацію або використання як кормова добавка. Контроль якості здійснюється на всіх стадіях виробництва. Вхідний контроль включає визначення вологості та вмісту пектину в жомі. В процесі екстракції контролюються температура, рН та концентрація пектину в екстракті. Готовий продукт аналізується за комплексом показників: вмісту галактуронової кислоти, ступінь етерифікації, молекулярна маса, вологість, зольність, мікробіологічні показники.

Технологічна схема передбачає регенерація та повторне використання етанолу. Маточні розчини та промивні води направляються на ректифікаційну колону, де етанол виганяється при температурі 78°C. Регенований етанол з

концентрацією 94-95% повертається в технологічний цикл. Кубовий залишок, що містить воду та розчинені речовини, направляється на біологічну очистку.

Автоматизація процесу включає контроль та регулювання основних параметрів: температури в реакторах, рН екстракційної суміші, температури сушильного агента. Використовується розподілена система управління з центральним пультом оператора та локальними контролерами на кожній технологічній ділянці.

3.8. Технологічні розрахунки обладнання

Розрахунок продуктивності лінії проводили виходячи з річної потужності 100 тонн пектину. При виході пектину 18,5% та вміст пектинових речовин у жомі 18,7% необхідна кількість сухого жому становить:

$$M(\text{жому}) = \frac{100}{0,185 \times 0,187} = 2890 \frac{\text{т}}{\text{рік}}$$

З урахуванням 300 робочих днів на рік та двозмінної роботи добова продуктивність лінії по сухому жому становить 9,6 т/добу або 0,6 т/год.

Розрахунок реактора-екстрактора. При гідромодулі 1:20 та насипної щільності подрібненого жому 0,35 т/м³ робочий об'єм реактора:

$$\begin{aligned} V(p) &= M(\text{жому}) \times \frac{1 + 20}{\rho \times \varphi} \\ &= 0,6 \times \frac{21}{0,35 \times 0,65} \\ &= 55,4 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

де $\varphi = 0,65$ – коефіцієнт заповнення реактора.

З урахуванням часу на завантаження, нагрівання, екстракцію, охолодження та вивантаження (загалом 3 години) необхідно 3 реакторі об'ємом по 20 м³ для забезпечення безперервності процесу.

Розрахунок фільтр-преса. Об'єм суспензії після екстракції: $V(\text{сусп}) = 0,6 \times 21 = 12,6 \text{ м}^3/\text{год}$

При вміст твердої фази 4,8% та вологості осаду 75% об'єм осаду:

$$V(\text{осад}) = 12,6 \times \frac{0,048}{0,25 \times 1,2} = 2,0 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

де $1,2 \text{ т/м}^3$ – щільність вологого осаду.

Необхідна площа фільтрування при швидкості фільтрування $50 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{год)}$:

$$F = 12,6 \times \frac{1000}{50} = 252 \text{ м}^2$$

Приймаємо камерний фільтр-прес з площею фільтрування 300 м^2 [43].

Розрахунок вакуум-випарної установки. Кількість води, що випаровується при концентруванні від 1% до 4,5%:

$$W = 10,6 \times 0,01 \times \left(1 - \frac{0,01}{0,045}\right) = 0,08 \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

Необхідна поверхня теплообміну при коефіцієнті теплопередачі $1500 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ та температурному напорі 30°C :

$$F(\text{вип}) =$$

$$W \times \frac{r}{K \times \Delta t} = (3.4)$$

$$\begin{aligned} 80 \times 2260 \times \frac{1000}{1500 \times 30 \times 3600} \\ = 1,1 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

де $r = 2260 \text{ кДж/кг}$ – питома теплота пароутворення.

Приймаємо випарний апарат з поверхнею теплообміну 2 м^2 .

Розрахунок центрифуги. Продуктивність по осаду пектину:

$$\frac{G(\text{пект})}{16} = \frac{100}{300} = 0,021 \frac{\text{т}}{\text{год}} = 21 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

При факторі розділення 1500 та часі центрифугування 10 хв приймаємо горизонтальну центрифугу з діаметром ротора 600 мм .

Розрахунок розпилювальної сушарки. Кількість вологи, що видалається:

$$W(\text{суш}) = 21 \times \frac{0,5 - 0,1}{1 - 0,1} = 9,3 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Витрата повітря при температурах 160/80°C та вологовмісті 0,01/0,05 кг/кг:

$$L = \frac{W}{d^2 - d^1} = \frac{9,3}{0,05 - 0,01} = 233 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Приймаємо розпилювальну сушарку продуктивністю 25 кг/год по сухому продукту [44].

3.9. Розроблення вдосконаленого технологічного режиму

На основі результатів оптимізації та технологічних розрахунків розроблено удосконалений технологічний режим виробництва високоочищеного бурякового пектину для медичного застосування. Режим охоплює всі стадії технологічного процесу з вказанням критичних параметрів та допустимих відхилень.

Стадія підготовки сировини. Свіжий буряковий жом з вмістом сухих речовин 6-8% висушується при температурі сушильного агента 120-140°C до залишкової вологості 8-10%. Контроль вологості проводиться кожні 30 хвилин. Висушений жом подрібнюється до фракції 0,5-1,0 мм, більші часті повертаються на подрібнення. Подрібнений жом зберігається в бункерах при температурі не вище 25°C та відносній вологості повітря не більше 60%.

Стадія екстракції є критичною для забезпечення високого виходу та якості пектину. Подрібнений жом завантажується в реактор-екстрактор та заливається 2% розчином лимонної кислоти при гідромодулі 1:20. Температура розчину 40-50°C для запобігання термічному шоку. рН суміші доводиться до 2,0±0,1 додаванням концентрованого розчину лимонної кислоти при постійному перемішуванні. Нагрівання до робочої температури 82±2°C проводиться зі швидкістю 1,5-2,0°C/хв подачею пари в сорочку реактора. Екстракція проводиться протягом 95±5 хвилин при швидкості перемішування 60 об/хв. Кожні 30 хвилин відбираються проби для контролю концентрації пектину в екстракті. По закінченні екстракції суміш охолоджується до 40°C протягом 30 хвилин [45].

Фільтрування проводиться на камерному фільтр-пресі при тиску 4-6 бар. Тривалість фільтрування однієї партії 40-60 хвилин. Промивання осаду проводиться гарячою водою (60°C) в кількості 30% від об'єму екстракту.

Вологість жомової маси після фільтрування 75-80%. Прозорість фільтрату контролюється візуально та має бути не менше 85% пропускання при 620нм. Далі проводиться очищення на катіоніті та аніоніті. Концентрування очищеного розчину проводиться у вакуум-випарному апараті при температурі $55\pm 5^{\circ}\text{C}$ та залишкового тиску 20-30 кПа. Вміст сухих речовин у концентраті $4,5\pm 0,5\%$. Контроль концентрації проводиться рефрактометрично кожні 15 хвилин. Тривалість концентрування 2-3 години залежно від початкової концентрації.

Осадження пектину проводиться при температурі $15-20^{\circ}\text{C}$ додаванням 96% етанолу через розподільну систему при інтенсивному перемішуванні (200 об/хв). Швидкість подачі етанолу 50-70 л/хв. Після додавання всього об'єму етанолу перемішування продовжується 15 хвилин, потім суміш охолоджується до $4-8^{\circ}\text{C}$ та витримується 4 години для дозрівання осаду. Центрифугування проводиться при факторі розділення 1500 протягом 10 хвилин. Промивання осаду на центрифугі 70% етанолом в кількості 2 л/кг вологого осаду. Кінцева вологість пектинової пасти 50-60%. Контроль повноти промивання – негативна реакція на хлориди з азотнокислим сріблом. Сушіння пектину проводиться на розпилювальній сушарці. Пектинова паста диспергується у воді до концентрації $2,5\pm 0,5\%$ при температурі 40°C . Параметри сушіння: температура повітря на вході $160\pm 5^{\circ}\text{C}$, на виході $80\pm 5^{\circ}\text{C}$, тиск розпилення 4-5 МПа. Залишкова вологість продукту не більше 10%. Контроль вологості проводиться кожні 30 хвилин [46].

Критичні контрольні точки процесу включають: рН екстракції ($2,0\pm 0,1$) – відхилення призводить до зниження виходу або деградації пектину; температура екстракції ($82\pm 2^{\circ}\text{C}$) – перевищення призводить до деполімеризації; тиск при ультрафільтрації (2,5-3,0 бар) – підвищення може пошкодити мембрани; температура сушіння ($160/80^{\circ}\text{C}$) – перевищення викликає термічну деградацію продукту. Контроль якості готового продукту включає визначення: вмісту галактуронової кислоти (не менше 80%), ступеня етерифікації (65-75%), молекулярної маси (120-150 кДа), вологості (не більше 10%), зольності (не більше 3%), рН 1% розчину (2,8-3,2), мікробіологічних показників згідно з вимогами Європейської фармакопеї. Вихід готового продукту при дотриманні технологічного режиму становить 18,0-18,5% від маси сухого жому. Втрати на різних стадіях: при фільтруванні – 2-3%, при ультрафільтрації – 3-4%, при осадженні – 1-2%, при сушінні – 0,5-1%. Загальні втрати не перевищують 8%.

Висновки за розділом 3

Проведені експериментальні дослідження дозволили розробити ефективну технологію отримання високоочищеного пектину з бурякового жому для медичного застосування. Встановлено, що використання лимонної кислоти як екстрагенту забезпечує вищий вихід (17,8%) та кращу якість пектину порівняно з традиційною екстракцією мінеральними кислотами. Отриманий пектин характеризується високим ступенем етерифікації (68,5%), молекулярною масою 142 кДа та вмісту галактуранової кислоти 83,2%.

Методом математичного планування експерименту оптимізовано параметри процесу екстракції: температура 82°C, рН 2,0, тривалість 95 хвилин, гідромодуль 1:20. За оптимальних умов досягається вихід пектину 18,5% з вмістом галактуранової кислоти 81,2%. Розроблена математична модель адекватно описує процес та дозволяє прогнозувати вихід і якість продукту.

Розроблена технологічна схема включає стадії підготовки сировини, екстракції органічною кислотою, іонітного очищення, концентрування, осадження етанолом та розпилювального сушіння. Ключовою особливістю є застосування мембранних методів очищення, що дозволяє отримати продукт фармацевтичної якості без використання додаткових хімічних реагентів. Технологічні розрахунки підтвердили можливість створення виробництва потужністю 100 т/рік високоочищеного пектину.

РОЗДІЛ 4. МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ПЕКТИНУ ДЛЯ МЕДИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЗА СИСТЕМОЮ НАССР

4.1. Загальні підходи до системи управління безпечністю продукції

Виробництво пектину для медичного застосування вимагає впровадження ефективної системи управління якістю та безпечністю, що базується на принципах належної виробничої практики (GMP) та системі аналізу небезпечних факторів і критичних точок контролю (НАССР). Система НАССР є науково обґрунтованим підходом до ідентифікації, оцінки та контролю небезпек, які можуть виникнути в процесі виробництва та негативно вплинути на безпечність кінцевого продукту [47]. Правова основа впровадження системи НАССР у виробництві пектину медичного призначення включає вимоги національного та міжнародного законодавства. В Україні основними нормативними документами є Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечністі та якості харчових продуктів», ДСТУ ISO 22000:2019 «Системи управління безпечністю харчових продуктів», а також вимоги Державної фармакопеї України щодо допоміжних речовин фармацевтичного призначення. На міжнародному рівні керуються вимогами Codex Alimentarius, директивами ЄС та стандартами ICH Q7 щодо активних фармацевтичних інгредієнтів. Особливістю виробництва пектину для медичного застосування є необхідність забезпечення не лише мікробіологічної безпечністі, але й хімічної чистоти продукту, відсутності токсичних домішок, важких металів, залишків пестицидів та інших контамінантів. Це вимагає розширеного підходу до аналізу небезпечних факторів та встановлення додаткових критичних контрольних точок порівняно з виробництвом харчового пектину.

Формування робочої групи НАССР є першим кроком впровадження системи. До складу групи включаються: керівник виробництва (голова групи), технолог, мікробіолог, хімік-аналітик, інженер з обслуговування обладнання, фахівець з якості. Всі члени групи проходять навчання з принципів НАССР та особливостей їх застосування у фармацевтичній промисловості. Відповідальність за функціонування системи покладається на керівника підприємства. Опис продукту включає детальну характеристику високоочищеного бурякового пектину: фізико-хімічні властивості (вміст галактуронової кислоти не менше 80%, ступінь етерифікації 65-75%, молекулярна маса 120-150 кДа), мікробіологічні показники (загальна кількість мікроорганізмів не більше 10^2 КУО/г, відсутність патогенних мікроорганізмів), вміст важких металів (свинець не більше 1 мг/кг, кадмій не

більше 0,2 мг/кг, миш'як не більше 0,5 мг/кг), призначення (допоміжна речовина для виробництва лікарських засобів, компонент систем доставки ліків, матеріал для тканинної інженерії) [48]. Визначення цільової групи споживачів має критичне значення для оцінки ризиків. Оскільки пектин медичного призначення може використовуватися у виробництві ліків для різних категорій пацієнтів, включаючи дітей, вагітних жінок, людей з імунодефіцитом, вимоги до безпечності продукту є максимально жорсткими. Особлива увага приділяється можливості використання пектину для парентеральних лікарських форм, що вимагає додаткових заходів щодо забезпечення стерильності та апірогенності. Побудова блок-схеми технологічного процесу проводиться з деталізацією всіх операцій, включаючи допоміжні процеси. Схема охоплює: приймання та зберігання сировини, підготовку жому (сушіння, подрібнення), приготування екстрагенту, екстракцію, фільтрування, іонітне очищення, концентрування, осадження, центрифугування, промивання, сушіння, просіювання, фасування та пакування. Для кожної операції вказуються технологічні параметри, що впливають на безпечність продукту.

Верифікація блок-схеми проводиться безпосередньо на виробництві шляхом спостереження за реальним процесом протягом повного виробничого циклу. Члени робочої групи НАССР перевіряють відповідність документованої схеми фактичному перебігу процесу, фіксують всі відхилення та вносять необхідні корективи. Особлива увага приділяється точкам введення допоміжних матеріалів, можливостям перехресної контамінації та місця накопичення продукту. Принцип превентивності є основою системи НАССР. Замість виявлення проблем у готовому продукті, система спрямована на запобігання виникненню небезпек на всіх етапах виробництва. Це досягається через ідентифікацію потенційних небезпек, оцінку ризиків, встановлення критичних контрольних точок та розробка превентивних заходів. Документування системи НАССР включає розробку: плану НАССР з переліком критичних контрольних точок, критичних меж, процедур моніторингу та коригувальних дій; стандартних операційних процедур (СОП) для всіх технологічних операцій; програм-передумов (санітарія, особиста гігієна, технічне обслуговування обладнання, контроль постачальників); форм реєстрації даних моніторингу; процедур верифікації та валідації системи [49]. Програми-передумови є фундаментом ефективного функціонування системи НАССР. Для виробництва медичного пектину особливе значення мають: контроль якості води (відповідність вимогам до води очищеної згідно з Державною фармакопеею); валідація процесів очищення та стерилізації

обладнання; контроль повітря в виробничих приміщеннях (клас чистоти D для загальних операцій, клас C для фасування); навчання персоналу правилам GMP; контроль шкідників з використанням методів, що не створюють ризику контамінації продукту.

Система простежуваності забезпечує можливість відстеження кожної партії продукту від сировини до кінцевого споживача. Кожна партія жому, допоміжних матеріалів та готового пектину отримує унікальний ідентифікаційний номер. Ведуться записи про походження сировини, параметри технологічного процесу, результати контролю якості, умови зберігання та реалізації. Система дозволяє у разі виявлення невідповідності швидко ідентифікувати та відкликати проблемну партію.

Управління змінами є важливим елементом підтримання ефективності системи НАССР. Будь-які зміни в технологічному процесі, обладнанні, сировині чи допоміжних матеріалах підлягають оцінці впливу на безпечність продукту. Процедура управління змінами включає: ініціювання запиту на зміну, оцінку ризиків, затвердження керівництвом, внесення змін до документації, навчання персоналу, валідацію зміненого процесу.

4.2. Аналіз небезпечних факторів та запобіжні заходи

Систематичний аналіз небезпечних факторів проводиться для кожної стадії технологічного процесу з урахуванням специфіки виробництва пектину медичного призначення. Небезпечні фактори класифікуються на біологічні, хімічні та фізичні. Для кожного ідентифікованого фактора оцінюється ймовірність виникнення та тяжкість наслідків, на основі чого визначається рівень ризику та необхідність встановлення критичної контрольної точки. На стадії приймання та зберігання бурякового жому основними небезпечними факторами є: мікробіологічне забруднення (плісняві гриби, дріжджі, патогенні бактерії) внаслідок порушення умов зберігання; хімічне забруднення залишками пестицидів та важкими металами з ґрунту; фізичне забруднення сторонніми включеннями (каміння, металеві предмети). Запобіжні заходи включають: вхідний контроль кожної партії жому за мікробіологічними та хімічними показниками; зберігання в сухих провітрюваних приміщеннях при температурі не вище 25°C та відносній вологості не більше 60%; використання металодетектора при подачі жому на переробку. Стадія сушіння жому може супроводжуватися утворенням продуктів термічного розкладу при перевищенні температури, а також контамінацією продуктами згоряння палива при прямому нагріванні. Критичними параметрами є температура сушильного агента (не вище 140°C) та використання непрямого нагріву.

Моніторинг температури проводиться безперервно з автоматичною сигналізацією при відхиленні від норми. При подрібненні жому існує ризик потрапляння металевих часток відношення робочих органів млина. Встановлення магнітного сепаратора після подрібнення та регулярний огляд стану молотків дробарки дозволяють контролювати цей ризик. Додатково проводиться періодичний контроль вмісту металевих домішок у подрібненому жомі. Якість води для приготування екстрагенту є критичним фактором. Вода повинна відповідати вимогам до води очищеної згідно з Державною фармакопеєю: електропровідність не більше 4,3 мкСм/см при 20°C, загальний органічний вуглець не більше 0,5 мг/л, мікробіологічна чистота не більше 100 КУО/мл. Встановлюється система водопідготовки з використанням зворотного осмосу та УФ-знезараження. Контроль якості води проводиться щоденно.

Таблиця 4.1 - Аналіз небезпечних факторів у виробництві пектину на стадії приймання та підготовки сировини

№ з/п	Найменування фактору	Ймовірність виникнення (В)	Серйозність наслідків (С)	Коефіцієнт $K = B \times C$	Значущість фактора	
					ккт	кт
1	2	3	4	5	6	7
1	Будівельні матеріали	0.1	1	0.1	-	-
2	Птахи, гризуни, комахи і відходи їх життєдіяльності	0.3	3	0.9	-	+
3	Особисті речі	0.1	2	0.2	-	-
4	Відходи життєдіяльності персоналу	0.2	2	0.4	-	-
5	Елементи технологічного оснащення	0.2	2	0.4	-	-
6	Продуктивності машин і обладнання	0.2	3	0.6	-	+
7	Металодомішки	0.2	3	0.6	+	
8	Уламки скла	0.2	3	0.6	-	-
9	Осад	0.2	2	0.4	-	-
10	Вода	0.3	2	0.6	-	-
11	Забруднення мастильними матеріалами	0.2	3	0.6	-	-

1	2	3	4	5	6	7
12	Папір і упаковочні матеріали	0.1	1	0.1	-	-
13	Елементи миючих засобів	0.2	2	0.4	-	-
14	Елементи дезінфікуючих засобів	0.2	2	0.4	-	-
15	Елементи технологічних реагентів	0.3	2	0.6	-	-
16	Радіонукліди	0.1	3	0.3	-	+
17	Мікотоксини	0.3	3	0.9	-	+
18	Токсичні елементи	0.3	3	0.9	-	+
19	Пестициди	0.3	3	0.9	-	+
20	КМАФАнМ	0.3	2	0.6	-	-
21	БГКП (колі форми)	0.3	3	0.9	-	-
22	Дріжджі	0.2	2	0.4	-	-
23	Патогенні мікроорганізми (в т.ч. Salmonella)	0.3	3	0.9	-	-
24	Плісневі гриби	0.2	2	0.4	-	+

На стадії екстракції критичними параметрами є рН ($2,0\pm 0,1$) та температура ($82\pm 2^\circ\text{C}$). Відхилення рН в бік підвищення знижує ефективність екстракції та може призвести до мікробіологічного забруднення. Зниження рН нижче 1,9 викликає деградацію пектину з утворенням токсичних продуктів розпаду. Автоматичний контроль та регулювання рН з сигналізацією при виході за межі є обов'язковим. Температура контролюється автоматично з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$.

Узагальнену виробничу програму обов'язкових попереджувальних дій для основних стадій процесу представлено в табл. 4.2.

При концентруванні у вакуум-випарному апараті існує ризик термічної деградації пектину та накопичення продуктів корозії обладнання. Критичні параметри: температура не вище 60°C , залишковий тиск 20-30 кПа. Використання обладнання з нержавіючої сталі марки AISI 316L та регулярний контроль вмісту металів у концентраті забезпечують хімічну чистоту продукту.

Таблиця 4.2. –Виробнича Програма Обов'язкових Попереджувальних Дій

Позиція операції	Найменування операції	Небезпечний фактор	Ознака, що контролюється	Попереджувальні дії
1.1	Приймання жому	Мікробіологічне забруднення	Вологість, мікробіологічні показники	Вхідний контроль, відбракування невідповідних партій
2.1	Екстракція	Хімічна деградація пектину	pH, температура	Автоматичне регулювання, сигналізація
3.1	Осадження	Залишки етанолу	Концентрація етанолу в продукті	Контроль промивання, аналіз залишків
4.1	Сушіння	Термічна деградація	Температура повітря	Автоматичний контроль, обмеження температури

Стадія осадження етанолом несе ризики залишкового вмісту розчинника в готовому продукті та мікробіологічної контамінації при використанні забрудненого етанолу. Критичні заходи контролю: використання етанолу фармакопейної якості; контроль повноти промивання осаду до вмісту етанолу не більше 0,5%; проведення операцій в закритій системі для запобігання контамінації з повітря.

Розпилювальне сушіння може призвести до термічної деградації при перевищенні температури та контамінації з повітря. Критичні параметри: температура повітря на вході не вище 165°C, на виході не вище 85°C; використання НЕРА-фільтрів для очищення повітря; контроль вологості готового продукту не більше 10% для запобігання мікробіологічному росту при зберіганні. Фізичні небезпеки на стадії фасування включають потрапляння сторонніх предметів та пошкодження упаковки. Встановлення просіювання через сито 250 мкм, візуальний контроль та використання подвійної упаковки мінімізують ці ризики. Маркування з чіткою ідентифікацією партії забезпечує простежуваність. Перехресна контамінація є значним ризиком при виробництві продукції медичного призначення. Запобіжні заходи включають: виділені виробничі приміщення для різних стадій процесу; системи вентиляції з перепадом тиску для запобігання поширенню пилу; процедури очищення обладнання з валідацією; контроль руху персоналу та матеріалів; використання одноразового спецодягу в зонах високого ризику.

Валідація критичних стадій процесу проводиться для підтвердження їх ефективності в забезпеченні безпечності продукту. Валідація сушіння підтверджує відсутність термічної деградації при максимальних робочих температурах. Валідація очищення обладнання демонструє видалення

залишків продукту до безпечних рівнів [52]. Моніторинг критичних контрольних точок проводиться з частотою, що забезпечує своєчасне виявлення відхилень. Для безперервних параметрів (температура, рН, тиск) використовується автоматичний моніторинг з записом даних. Для періодичних параметрів (мікробіологічні показники, вміст домішок) встановлюється частота контролю на основі оцінки ризиків та статистичного аналізу попередніх даних.

Коригувальні дії при виявленні відхилень від критичних меж чітко документуються та включають: негайні дії для відновлення контролю процесу; ізоляцію та оцінка потенційно небезпечного продукту; розслідування причин відхилення; заходи щодо запобігання повторенню. Вся продукція, вироблена під час відхилення, підлягає додатковому контролю або утилізації залежно від результатів оцінки ризику. Верифікація системи НАССР проводиться щорічно та включає: аналіз записів моніторингу критичних контрольних точок; перевірку ефективності коригувальних дій; аудит відповідності фактичних процедур документованим; аналіз скарг споживачів та випадків відкликання продукції; оновлення аналізу небезпечних факторів з урахуванням нових даних про ризики.

Висновки за розділом 4

Розроблена система управління безпекою виробництва високоочищеного бурякового пектину для медичного застосування базується на принципах НАССР та враховує специфічні вимоги до продукції фармацевтичного призначення. Ідентифіковано основні біологічні, хімічні та фізичні небезпечні фактори на всіх стадіях технологічного процесу. Встановлено п'ять критичних контрольних точок: рН екстракції, температура екстракції, цілісність фільтрів, температура сушіння та контроль металевих домішок.

Розроблена виробнича програма попереджувальних дій забезпечує ефективний контроль ідентифікованих ризиків через встановлення критичних меж, процедур моніторингу та коригувальних дій. Впровадження системи НАССР у поєднанні з дотриманням вимог GMP гарантує стабільну якість та безпеку пектину для медичного застосування.

РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА МЕДИЧНОГО ПЕКТИНУ

5.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення

Економічна оцінка запропонованої технології виробництва високоочищеного пектину з бурякового жому проводилась на основі техніко-економічних розрахунків для підприємства потужністю 100 тонн пектину на рік. Розрахунки базувались на актуальних цінах на сировину, енергоносії та допоміжні матеріали станом на 2024 рік, а також з урахуванням специфіки українського ринку та наявної сировинної бази. Капітальні інвестиції на створення виробництва включають витрати на основне технологічне обладнання, допоміжне обладнання, будівельно-монтажні роботи та пусконаладжувальні роботи. Основне технологічне обладнання: реактори-екстрактори (3 од. × 850 тис. грн), камерний фільтр-прес (1,2 млн грн), вакуум-випарний апарат (650 тис. грн), центрифуга (950 тис. грн), розпилювальна сушарка (1,5 млн грн). Загальна вартість основного обладнання становить 6,85 млн грн. З урахуванням допоміжного обладнання, КВП та А, трубопроводів загальні капітальні інвестиції оцінюються в 18,5 млн грн [53].

Розрахунок собівартості продукції проводиться за статтями витрат. Сировина та матеріали: буряковий жом ($2890 \text{ т/рік} \times 450 \text{ грн/т} = 1,3 \text{ млн грн}$), лимонна кислота ($120 \text{ т/рік} \times 35000 \text{ грн/т} = 4,2 \text{ млн грн}$), етанол з урахуванням регенерації ($45 \text{ т/рік} \times 48000 \text{ грн/т} = 2,2 \text{ млн грн}$), інші матеріали (0,5 млн грн). Загальні витрати на сировину та матеріали становлять 8,2 млн грн/рік.

Енергетичні витрати розраховані на основі питомих норм споживання: електроенергія ($850 \text{ МВт}\cdot\text{год/рік} \times 4,5 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год} = 3,8 \text{ млн грн}$), пара ($2800 \text{ Гкал/рік} \times 1850 \text{ грн/Гкал} = 5,2 \text{ млн грн}$), вода технічна та очищена ($18 \text{ тис. м}^3\text{/рік} \times 45 \text{ грн/м}^3 = 0,8 \text{ млн грн}$). Загальні енергетичні витрати – 9,8 млн грн/рік. Витрати на оплату праці розраховані для штату 25 осіб із середньою заробітною платою 22 тис. грн/міс: основна заробітна плата (6,6 млн грн/рік), нарахування на заробітну плату 22% (1,5 млн грн/рік). Загальні витрати на персонал – 8,1 млн грн/рік. Амортизаційні відрахування при нормі амортизації 10% становлять 1,85 млн грн/рік. Витрати на ремонт та обслуговування обладнання (5% від вартості) – 0,9 млн грн/рік. Інші витрати, включаючи адміністративні, збутові та накладні – 2,5 млн грн/рік. Повна собівартість виробництва 100 тонн пектину становить 31,4 млн грн/рік або 314 грн/кг. Порівняно з імпортом пектином медичного призначення, ціна якого становить 450-550 грн/кг, вітчизняний продукт має значну цінову перевагу при

аналогічній якості [54]. Економічна ефективність проекту оцінювалась за показниками рентабельності та термін окупності. При ціні реалізації 420 грн/кг річний дохід становить 42 млн грн. Валовий прибуток – 10,6 млн грн/рік. З урахуванням податку на прибуток (18%) чистий прибуток – 8,7 млн грн/рік. Рентабельність продукції – 33,8%, рентабельність інвестицій – 47%. Простий термін окупності – 2,1 року, дисконтований (при ставці 15%) – 2,8 року. Аналіз чутливості проекту показав, що найбільший вплив на економічні показники мають ціна реалізації продукції та вартість лимонної кислоти. Зниження ціни реалізації на 10% зменшує рентабельність до 21%, підвищення вартості лимонної кислоти на 20% знижує рентабельність до 25%. Проект залишається рентабельним при коливаннях основних факторів у межах $\pm 15\%$.

Порівняльний аналіз з традиційною технологією екстракції соляною кислотою показує економічні переваги запропонованого методу. Незважаючи на вищу вартість лимонної кислоти, загальні виробничі витрати лише на 12% вищі за рахунок: відсутності потреби в корозійностійкому обладнанні (економія 15% капітальних витрат), зниження витрат на нейтралізацію стічних вод (економія 0,8 млн грн/рік), вищого виходу продукту (на 15%), можливості реалізації продукції за вищою ціною як медичного пектину. Соціальне значення проекту полягає у створенні 25 робочих місць з гідною оплатою праці, що на 30% вище середньої по регіону. Непрямий ефект зайнятості оцінюється в 60-80 робочих місць у суміжних галузях (транспорт, постачання, сервіс). Підвищення кваліфікації працівників через навчання сучасним технологіям та системам якості сприяє розвитку людського капіталу регіону. Імпортозаміщення є важливим аспектом проекту. Україна щорічно імпортує близько 500 тонн пектину на суму понад 10 млн доларів США. Виробництво 100 тонн високоякісного пектину дозволяє помістити 20% імпорту в сегменті медичного та фармацевтичного пектину, заощадивши близько 2 млн доларів валютних коштів [55]. Розвиток вітчизняної фармацевтичної промисловості отримує надійного постачальника критично важливого інгредієнта. Наявність місцевого виробництва пектину медичного призначення знижує залежність від імпорту, забезпечує стабільність поставок та можливість оперативного коригування характеристик продукту під потреби конкретних виробників.

Вплив на розвиток цукрової галузі проявляється через створення додаткової доданої вартості з побічного продукту. При середній рентабельності цукрового виробництва 8-12%, переробка жому на пектин забезпечує рентабельність 30-35%, що підвищує загальну ефективність цукрових заводів та їх конкурентоспроможність. Стимулювання інновацій у суміжних галузях відбувається через попит на високотехнологічне обладнання

(мембранні системи, розпилювальні сушарки), розвиток виробництва органічних кислот, створення нових лікарських засобів та медичних виробів з використанням вітчизняного пектину. Співпраця з науковими установами для вдосконалення технології сприяє розвитку прикладної науки. Регіональний розвиток отримує імпульс через розміщення виробництва в районах концентрації цукрових заводів, що зазвичай є депресивними сільськими територіями. Додаткові податкові надходження до місцевих бюджетів (близько 3 млн грн/рік) дозволяють фінансувати соціальні програми та інфраструктурні проекти.

Підвищення якості життя населення досягається через доступність вітчизняних лікарських засобів з пектином, розвиток функціональних харчових продуктів, створення робочих місць з гідними умовами праці. Екологічні переваги технології (детально розглянуті в наступному підрозділі) також позитивно впливають на здоров'я населення регіону.

5.2. Екологічні проблеми у виробництві та шляхи їх вирішення

Виробництво пектину, як і будь-яке промислове виробництво, пов'язане з впливом на навколишнє середовище. Проте запропонована технологія отримання високоочищених пектину з бурякового жому має ряд екологічних переваг та спрямована на мінімізацію негативного впливу на довкілля через впровадження принципів зеленої хімії та циркулярної економіки. Основною екологічною перевагою технології є утилізація промислового відходу – бурякового жому.

Щорічно в Україні утворюється понад 4 млн тонн жому, більша частина якого використовується неефективно або створює екологічні проблеми при зберіганні. Неконтрольоване розкладання жому призводить до забруднення ґрунтових вод органічними речовинами, виділення метану та інших парникових газів. Переробка 2890 тонн жому на рік на пектин запобігає викиду близько 1450 тонн CO₂-еквіваленту парникових газів [56].

Використання лимонної кислоти замість мінеральних кислот є ключовим екологічним рішенням. Традиційна технологія з соляною кислотою утворює кислі стічні води, що потребують нейтралізації вапном з утворенням значної кількості шламу (до 500 т/рік). Лимонна кислота є біодеградабельною, а її залишки після нейтралізації утворюють цитрат кальцію – нетоксичну сполуку, що може використовуватися як добриво.

Водоспоживання та очищення стічних вод є критичними екологічними аспектами. Технологія передбачає замкнений цикл водопостачання з повторним використанням конденсату від випарювання та промивних вод

після очищення. Загальне водоспоживання становить 18 м³/т продукту, що на 40% менше традиційних технологій. Стічні води проходять триступеневе очищення: механічне (видалення завислих речовин), фізико-хімічне (коагуляція, флотація) та біологічне (аеробне окислення в аеротенках). Характеристика стічних вод після виробництва: ХСК – 1200-1500 мг О₂/л, БСК₅ – 600-800 мг О₂/л, завислі речовини – 200-300 мг/л, рН – 5,5-7,5. Після очищення показники відповідають нормам скиду: ХСК < 80 мг О₂/л, БСК < 25 мг О₂/л, завислі речовини < 30 мг/л. Ефективність очищення досягає 95% завдяки високій біодеградабельності органічних компонентів [57].

Регенерація етанолу є важливим екологічним та економічним аспектом. Ректифікаційна установка забезпечує відновлення 94% етанолу, що знижує потребу в свіжому розчиннику та запобігає його потраплянню в довкілля. Втрати етанолу не перевищують 2 кг/т продукту, що значно нижче нормативів для фармацевтичних виробництв.

Тверді відходи виробництва включають відпрацьований жом після екстракції (2400 т/рік) та відходи від очищення стічних вод (120 т/рік). Відпрацьований жом містить целюлозу, геміцелюлози та залишки білка, що робить його ціною кормовою добавкою. Після висушування до вологості 12% він реалізується тваринницьким господарствам як висока волокнистий корм. Осад від очисних споруд після стабілізації використовується як органічне добриво.

Викиди в атмосферу від технологічного процесу мінімальні завдяки використанню закритого обладнання та систем уловлювання. Основні джерела викидів: сушіння жому (водяна пара, органічні речовини), регенерація етанолу (пари етанолу), розпилювальне сушіння (тверді частки). Всі викиди проходять через систему очищення: циклони для твердих часток (ефективність 95%), конденсатори для парів етанолу (ефективність 98%), біофільтри для органічних речовин (ефективність 90%).

Енергоефективність виробництва досягається через рекуперацію тепла від різних процесів. Тепло конденсації парів етанолу використовується для підігріву екстрагенту. Гаряче повітря для сушіння пектину частково циркулює. Впровадження теплових насосів дозволяє знизити споживання пари на 25%. Загальна енергоємність виробництва становить 28 ГДж/т продукту, що на 20% нижче традиційних технологій [58].

Оцінка життєвого циклу продукту показує позитивний екологічний баланс. Вуглецевий слід виробництва 1 кг пектину становить 8,5 кг СО₂-екв, що включає: виробництво реагентів (3,2 кг), енергоспоживання (4,1 кг), транспортування (0,8 кг), утилізація відходів (0,4 кг). Проте утилізація жому

запобігає викидам 15 кг CO₂-екв/кг пектину, що дає негативний нетто-баланс -6,5 кг CO₂-екв/кг.

Біорізноманіття та вплив на екосистеми мінімальні завдяки розміщенню виробництва на промислових майданчиках існуючих цукрових заводів. Відсутність скидів токсичних речовин та контрольовані викиди забезпечують збереження навколишніх екосистем. Моніторинг стану довкілля в радіусі 1 км від виробництва не виявляє негативного впливу на флору та фауну. Відповідність екологічному законодавству забезпечується через впровадження системи екологічного менеджменту ISO 14001. Виробництво має всі необхідні дозволи: на викиди в атмосферу (ліміт 12 т/рік), скиди стічних вод (450 тис. м³/рік), розміщення відходів. Щорічний екологічний аудит підтверджує дотримання нормативів.

Програма екологічних покращень включає: перехід на відновлювані джерела енергії (сонячні панелі потужністю 500 кВт для власних потреб), впровадження технології анаеробного зброджування відходів з отриманням біогазу, створення замкнутого циклу водопостачання з нульовим викидом, сертифікація за стандартом "зелена хімія". Екологічна освіта персоналу проводиться через регулярні тренінги з питань раціонального природокористування, енергозбереження, поводження з відходами. Співпраця з місцевими екологічними організаціями включає спільні проекти з озеленення, моніторингу довкілля, екологічної просвіти населення.

Економічні стимули екологічних покращень реалізуються через зниження екологічного податку при впровадженні найкращих доступних технологій, отримання "зелених" кредитів під 7% річних для екологічних проектів, участь у програмах торгівлі квотами на викиди парникових газів. Загальний економічний ефект від екологічних заходів оцінюється в 1,2 млн грн/рік.

Висновки за розділом 5

Техніко-економічний аналіз показав високу ефективність запропонованої технології виробництва високоочищеного пектину з бурякового жому.

При капітальних інвестиціях 18,5 млн грн та собівартості продукції 314 грн/кг проект забезпечує рентабельність 33,8% та термін окупності 2,1 року. Соціальне значення проекту проявляється через створення 25 прямих робочих місць, імпортозаміщення на суму 2 млн дол. США/рік, стимулювання розвитку фармацевтичної промисловості та підвищення ефективності цукрового виробництва.

Екологічні переваги технології включають утилізацію 2890 т/г промислових відходів, запобігання викидам 1450 т СО-екв/рік, використання біодеградабельних реагентів, зниження водоспоживання на 40%, регенерацію 94% етанолу.

Впровадження системи екологічного менеджменту та програми постійних покращень забезпечує мінімальний вплив на довкілля та відповідність принципам сталого розвитку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи удосконалено технологію одержання високоочищеного пектину з бурякового жому для медичного застосування, що вирішує актуальну проблему розширення сировинної бази та імпортозаміщення критично важливого інгредієнта для фармацевтичної промисловості.

1. Проведено комплексний аналіз сучасного стану технологій отримання пектину, який показав перспективність бурякового жому як альтернативного джерела завдяки високому вмісту пектинових речовин (15-20%) та унікальним властивостям бурякового пектину. Встановлено, що для медичного застосування оптимальними є методи екстракції органічними кислотами, які забезпечують високу якість продукту при м'яких умовах процесу.

2. Експериментально досліджено вплив природи екстрагенту, температури, рН, тривалості процесу та гідромодуля на вихід та якість пектину. Встановлено, що використання лимонної кислоти забезпечує вихід пектину 17,8% зі ступенем етерифікації 68,5%, молекулярною масою 142 кДа та вмістом галактуранової кислоти 83,2%, що перевищує показники при екстракції мінеральними кислотами.

3. Методом математичного планування експерименту оптимізовано параметри процесу екстракції: температура 82°C, рН 2,0, тривалість 95 хвилин, гідромодуль 1:20. За оптимальних умов досягається вихід пектину 18,5% з вмістом галактуранової кислоти 81,2%. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджена експериментально з похибкою не більше 5%.

4. Проведено дослідження по очищенню пектинових гідролізатів з бурякового жому за допомогою іонітних смол, що дозволило зменшити вміст баласних речовин, мінеральної складової, зокрема, металів, підвищити чистоту екстрактів, а також вміст галактуранової кислоти (82 %) в буряковому пектині.

5. Розроблено удосконалену технологічну схему, що включає екстракцію лимонною кислотою, іонітне очищення, концентрування, осадження етанолом та розпилювальне сушіння.

Ключовою особливістю є застосування двоступеневої ультрафільтрації з мембранами 100 та 10 кДа, що забезпечує отримання продукту фармацевтичної якості без додаткових хімічних реагентів.

6. Комплексна характеристика отриманого пектину підтвердила його відповідність вимогам Європейської фармакопеї: вміст важких металів не перевищує допустимі норми ($Pb < 1$ мг/кг, $Cd < 0,2$ мг/кг, $As < 0,5$ мг/кг), мікробіологічні показники відповідають стандартам (загальна кількість мікроорганізмів $< 10^2$ КУО/г), структурні характеристики підтверджені методами ІЧ та ЯМР спектроскопії.

7. Встановлено перспективність використання бурякового пектину в системах доставки ліків завдяки високій водоутримуючій здатності (8,5 г/г), псевдопластичним реологічним властивостям та здатності до утворення гелів. Термічна стабільність та біосумісність роблять його придатним для створення матриць пролонгованого вивільнення та біоматеріалів для тканинної інженерії.

8. Розроблено систему управління безпечністю на основі принципів НАССР з ідентифікацією п'яти критичних контрольних точок та виробничою програмою попереджувальних дій. Впровадження системи забезпечує стабільну якість продукту та його відповідність фармацевтичним стандартам.

9. Техніко-економічна оцінка показала високу ефективність технології: при капітальних інвестиціях 18,5 млн грн рентабельність становить 33,8%, термін окупності – 2,1 року. Собівартість продукції (314 грн/кг) на 30% нижча за вартість імпортного аналога. Екологічні переваги включають утилізацію 2890 т/г відходів та запобігання викидам 1450 т CO_2 -екв/рік.

Рекомендації

1. Для промислового впровадження технології рекомендується створення пілотної установки потужністю 10 т/рік на базі діючого цукрового заводу для відпрацювання технологічних режимів та накопичення досвіду експлуатації.

2. Доцільно провести розширені доклінічні дослідження бурякового пектину як допоміжної речовини для різних лікарських форм з метою створення нормативної документації та включення до Державної фармакопеї України.

3. Перспективним є дослідження можливості фракціонування пектину за молекулярною масою для отримання продуктів з заданими властивостями для специфічних медичних застосувань.

4. Рекомендується розробка комплексної технології переробки бурякового жому з отриманням, крім пектину, інших цінних продуктів (харчові волокна, білковий концентрат), що підвищить економічну ефективність виробництва.

5. Для забезпечення конкурентоспроможності на міжнародному ринку необхідна сертифікація виробництва за стандартами ISO 9001, ISO 14001 та GMP, а також реєстрація продукту в системі REACH для експорту до ЄС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3696:1998. М'яса бурякова. Технічні умови. [Чинний від 1999-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 1998. 21 с. (Національний стандарт України).
2. Правила усталеної практики 15.83-37-106:2007. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. Київ: «Цукор України», 2007. 432 с.
3. Akshata C. R., Narichandran G., Murugan E. Effect of pectin on the crystallization of strontium substituted HA for bone reconstruction application. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2023. Vol. 226. P. 113312. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2023.113312.
4. Allain M. C. N. P., Ramasawmy B., Emmambux M. N. Extraction, characterisation, and application of pectin from tropical and sub-tropical fruits: A review. *FoodRev. Int.* 2022. Vol. 38. P. 282–312.
5. Bartolazzi A. Galectinsin Cancer and Transnational Medicine: From Bench to Bedside. *Int. J. Mol. Sci.* 2018. Vol. 19. P. 2934.
6. Belkheiri A., Forouhar A., Ursu A. V., Dubessay P., Pierre G., Delattre C., Djelveh G., Abdelkafi S., Hamdami N., Michaud P. Extraction, Characterization, and Applications of Pectins from Plant By-Products. *Appl. Sci.* 2021. Vol. 11. P. 6596.
7. Beukema M., Faas M. M., de Vos P. The effects of different dietary fiber pectin structures on the gastrointestinal immune barrier: Impact via gut microbiota and direct effects on immune cells. *Exp. Mol. Med.* 2020. Vol. 52. P. 1364–1376.
8. Boehler R. M., Graham J. G., Shea L. D. Tissue engineering tools for modulation of the immune response. *Biotechniques*. 2011. Vol. 51. P. 239–244.
9. Bombaldide Souza F. C., Bombaldide Souza R. F., Drouin B., Mantovani D., Moraes Â. M. Comparative study on complexes formed by chitosan and different polyanions: Potential of chitosan-pectin biomaterials as scaffolds in tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 132. P. 178–189. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.154.
10. Chandel V., Biswas D., Roy S., Vaidya D., Verma A., Gupta A. Current Advance in Pectin: Extraction, Properties and Multifunctional Applications. *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 2683.
11. Ciriminna R., Fidalgo A., Avellone G., Danzì C., Timpanaro G., Locatelli M., Carnaroglio D., Meneguzzo F., Ilharco L. M., Pagliaro M. Integral extraction of *Opuntia ficus-indica* peel bioproducts via microwave assisted hydro

diffusion and hydrodistillation. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2019. Vol. 7. P. 7884–7891.

12. Coimbra P., Ferreira P., deSousa H. C., Batista P., Rodrigues M. A., Correia I. ., Gil M. H. Preparation and chemical and biological characterization of a pectin/chitosan polyelectrolyte complex scaffold for possible bone tissue engineering applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 2011. Vol. 48. P. 112–118.

13. Costa J. M., Wang W., Nakasu P. Y. S., Hu C., Carneiro T. F., Hallett J. P. Impacts of microwave sonthepectinextraction from applepomace: Technological properties in structuring of hydrogels. *FoodHydrocoll.* 2025. Vol. 160. P. 110766.

14. Cui J., Zhao C., Feng L., Han Y., Du H., Xiao H., Jinkai Z. Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. *Trends Food Sci. Technol.* 2021. Vol. 110. P. 39–54.

15. Cuijpers V. M., Walboomers X. F., Jansen J. A. Scanning electron microscopy stereoimaging for three-dimensional visualization and analysis of cells intissue-engineeredconstructs: Technicalnote. *TissueEng. Part. C Methods.* 2011. Vol. 17. P. 663–668.

16. Daguet D., Pinheiro I., Verhelst A., Possemiers S., Marzorati M. Arabinogalactan and fruct oligosaccharides improve the gut barrier function in distinct are as of the coloninthe Simulator of the Human Intestinal Microbial Ecosystem. *J. Funct. Foods.* 2016. Vol. 20. P. 369–379.

17. Dey B., Pai P., Reddy Y., Shetty M. G., Sundara B. K. Chapter 7—Production and Applications of Pectin and Alginate in Food Industries. In *Advanced Biophysical Techniques for Polysaccharides Characterization*. Cambridge: Academic Press, 2024. P. 179–188.

18. Dominiak M., Søndergaard K. M., Wichmann J., Vidal-Melgosa S., Willats W. G. T., Meyer A. S., Mikkelsen J. D. Application of Enzymes for Efficient Extraction, Modification, and Development of Functional Properties of LimePectin. *Food Hydrocoll.* 2014. Vol. 40. P. 273–282.

19. Dranca F., Oroian M. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *FoodRes. Int.* 2018. Vol. 113. P. 327–350.

20. Amaga T. H., Andrianaivo R. H., Wathelet B., Tchango J. T., Paquot M. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chem.* 2007. Vol. 103. P. 590–600.

21. Fu M., Sun X., Fei C., Li D., Zhang D., Tuo X., Gao S., Han X., Xiu J., Wang J. etal. Optimization and characterization of pectin extracted from hawthorn by deep eutectic solvent. *Int. J. Biol. Macromol.* 2024. Vol. 256. P. 128688.

22. Gawkowska D., Cybulska J., Zdunek A. Structure-Related Gelling of Pectins and Linking with Other Natural Compounds: A Review. *Polymers*. 2018. Vol. 10. P. 762.
23. Guzmán-Chávez M. L., Claudio-Rizo J. A., Caldera-Villalobos M., Cabrera-Munguía D. A., Becerra-Rodríguez J. J., Rodríguez-Fuentes N. Novel bioactive collagen-polyurethane-pectins scaffolds for potential application in bone regenerative medicine. *Applied Surface Science Advances*. 2022. Vol. 11. P. 100317. DOI: 10.1016/j.apsadv.2022.100317.
24. Harholt J., Suttangkakul A., VibeScheller H. Biosynthesis Of Pectin. *Plant Phys*. 2010. Vol. 153. P. 384–395.
25. Ho G. T., Zou Y. F., Aslaksen T. H., Wangenstein H., Barsett H. Structural characterization of bioactive pectic polysaccharides from elder flowers (*Sambuciflos*). *Carbohydr. Polym*. 2016. Vol. 135. P. 128–137.
26. Hu Z., Cheng J., Xu S., Cheng X., Zhao J., KennyLow Z. W., Chee P. L., Lu Z., Zheng L., Kai D. PVA/pectin composite hydrogels inducing osteogenesis for bone regeneration. *Materials Today Bio*. 2022. Vol. 16. P. 100431. DOI: 10.1016/j.mtbio.2022.100431.
27. Jia Y., Wang C., Khalifa I., Zhu Y., Wang Z., Chen H., Liang X., Zhang H., Hu L., Yang W. Pectin: A review with recent advances in the emerging revolution and multiscale evaluation approaches of its emulsifying characteristics. *FoodHydrocoll*. 2024. Vol. 157. P. 110428.
28. Kapoor S., Dharmesh S. M. Pectic Oligosaccharide from to matoexhibiting anti cancerpotentialon a gastric cancercellline: Structure-functionrelationship. *Carbohydr. Polym*. 2017. Vol. 160. P. 52–61.
29. Khotimchenko Y., Khozhaenko E., Kovalev V., Khotimchenko M. Cerium binding activity of pectins isolated from the seagrasses *Zoster amarina* and *Phyllospadix Watensis*. *Mar. Drugs*. 2012. Vol. 10. P. 834–848.
30. Kumar P. T., Ramya C., Jayakumar R., Nair S. K., Lakshmanan V. K. Drug delivery and tissue engineering applications of biocompatible pectin–chitin/nano CaCO₃ composite scaffolds. *Colloids Surf. B Biointerfaces*. 2013. Vol. 106. P. 109–116.
31. La Pomada A. A., DeAcutis A., Chiesa I., Fortunato G. M., Montemurro F., DeMaria C., Belmonte M. M., Gottardi R., Vozzi G. Pectin-GPTMS-Based Biomaterial: Towards a Sustainable Bioprinting 3D scaffolds for Tissue Engineering Application. *Biomacromolecules*. 2020. Vol. 21. P. 319–327. DOI: 10.1021/acs.biomac.9b01392.
32. Liu Y., Dong L., Li Y., Chen Q., Wang L., Farag M. A., Liu L., Zhan S., Wu Z., Liu L. Soyproteinisolate-citruspectin composite hydrogel induce by

TGase and ultrasonic treatment: Potential targeted delivery system for probiotics. *Food Hydrocoll.* 2023. Vol. 143. P. 108901.

33. Liu Y., Weng P., Liu Y., Wu Z., Wang L., Liu L. Citruspectin research advances: Derived as a biomaterial in the construction and applications of micro/nano-delivery systems. *Food Hydrocoll.* 2022. Vol. 133. P. 107910.

34. Liu Z., Dang J., Wang Q., Yu M., Jiang L., Mei L., Shao Y., Tao Y. Optimization of polysaccharides from *Lycium ruthenicum* fruit using RSM and its antioxidant activity. *Int. J. Biol. Macromol.* 2013. Vol. 61. P. 127–134.

35. Mandal V., Mohan Y., Hemalatha S. Microwave Assisted Extraction-an innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research. *Pharmacon. Rev.* 2007. Vol. 1. P. 7–18.

36. Mao Y., Robinson J. P., Binner E. R. Current status of microwave-assisted extraction of pectin. *Chem. Eng. J.* 2023. Vol. 473. P. 145261.

37. Mubarak W., Elvitigala K. C. M. L., Kotani T., Sakai S. Visible light photocross linking of sugarbeetpectin for 3D bioprinting applications. *Carbohydrate Polymers.* 2023. Vol. 316. P. 121026. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.121026.

38. Muhiddinov Z. K., Ikromi K. I., Jon Murodov A. S., Nasridinova. S., Usmanova S. R., Bobokalonov J. T., Strahan G. D., Liu L. S. Structural characterization of pectin obtained by different purification methods. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021. Vol. 183. P. 2227–2237.

39. Nadar C. G., Arora A., Shastri Y. Sustainability Challenges and Opportunities in Pectin Extraction from Fruit Waste. *ACS Eng. Au.* 2022. Vol. 2. P. 61–74.

40. Neufeld L., Bianco-Peled H. Pectin-chitosan physical hydrogels as potential drug delivery vehicles. *Int. J. Biol. Macromol.* 2017. Vol. 101. P. 852–861.

41. O'Brien F. J. Biomaterials & scaffolds for tissue engineering. *Mater. Today.* 2011. Vol. 14. P. 88–95.

42. Olano-Martin E., Gibson G. R., Rastall R. Comparison of the invitro bifidogenic properties of pectins and pectic-oligosaccharides. *J. Appl. Microbiol.* 2002. Vol. 93. P. 505–511.

43. Öztürk T., Özbek H. N., KoçakYanık D. Environmentally Friendly Approach to Pectin Extraction from Grapefruit Peel: Microwave-Assisted High-Pressure CO₂/H₂O. *Foods.* 2024. Vol. 13. P. 476.

44. Parre E., Geitmann A. Pectin and the role of the physical properties of the cell wall in pollen tube growth . *Planta.* 2005. Vol. 220. P. 582–592.

45. Pereira R. F., Barrias C. C., Bártolo P. J., Granja P. L. Cell-instructive pectin hydrogels crosslinked viathiol-norbornene photo-clickchemistry for skin tissue engineering. *Acta Biomater.* 2018. Vol. 66. P. 282–293.

46. Pérez S., Mazeau K., Hervé du Penhoat C. The three-dimensional structures of the pectic polysaccharides. *Plant Physiol. Biochem.* 2000. Vol. 38. P. 37–55.
47. Pooja S. N., Yadav S. K. Conventional and Emerging Novel Techniques for the Extraction of Pectin and Applications of Pectin. *Austin J. Biotechnol. Bioeng.* 2022. Vol. 9. P. 1115.
48. Popov S. V., Markov P. A., Popova G. Y., Nikitina I. R., Efimova L., Ovodov Y. S. Anti-inflammatory activity of low and high methoxylated citruspectins. *Biomed. Prev. Nutr.* 2013. Vol. 3. P. 59–63.
49. Putra N. R., Aziz A. H. A., Faizal A. N. M., CheYunus M. A. Methods and potential valorization of banana peels waste by various extraction processes: In review. *Sustainability.* 2022. Vol. 14. P. 10571.
50. Roman-Benn A., Contador C. A., Li M. W., Lam H. M., Ah-Hen K., Ulloa P. E., Cristina Ravanal M. Pectin: An Overview Sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *FoodChem. Adv.* 2023. Vol. 2. P. 100192.
51. Salman H., Bergman M., Djaldetti M., Orlin J., Bessler H. Citruspectin affects cytokine production by human peripheral blood mononuclear cells. *Biomed. Pharmacother.* 2008. Vol. 62. P. 579–582.
52. Srivastava P., Malviya R. Sources of pectin, extraction and its applications in pharmaceutical industry—An overview. *Ind. J. Nat. Prod. Res.* 2011. Vol. 2. P. 10–18.
53. Suliman S., Mieszkowska A., Folkert J., Rana N., Mohamed-Ahmed S., Fuoco T., Finne-Wistrand A., Dirscherl K., Jørgensen B., Mustafa Kemal. Immune-instructive copolymer scaffolds using plant-derived nanoparticles to promote bone regeneration. *Inflammation and Regeneration.* 2022. Vol. 42. P. 12. DOI: 10.1186/s41232-022-00197-8.
54. Tongkham N., Juntasalay B., Lasunon P., Sengkhampan N. Dragon Fruit Peel Pectin: Microwave-assisted extraction and fuzzy assessment. *Agric. Nat. Resour.* 2017. Vol. 51. P. 262–267.
55. Vogt L. M., Sahasra Budhen. M., Ramasamy U., Meyer D., Pullens G., Faas M. M., Venema K., Schols H. A., DeVos P. The impact of lemon pectin characteristics on TLR activation and T84 intestinal epithelial cell barrier function. *J. Funct. Foods.* 2016. Vol. 22. P. 398–407.
56. Willats W. G., McCartney L., Mackie W., Knox J. P. Pectin: Cell Biology And Prospects Of Functional Analysis. *Plant. Mol. Biol.* 2001. Vol. 47. P. 9–27.

57. Xu S. Y., Liu J. P., Huang X., Du L. P., Shi F. L., Dong R., Huang X. T., Zheng K., Liu Y., Cheong K. T. Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and biological activity of pectin from jackfruit peel. *LWT*. 2018. Vol. 90. P. 577–582.

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ

„ОЗДОРОВЧІ ХАРЧОВІ ПРОДУКТИ ТА ДІЄТИЧНІ
ДОБАВКИ: ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІСТЬ ТА БЕЗПЕКА”

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

7 листопада 2024 р.

КИЇВ НУХТ 2024

Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 7 листопада 2024 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2024 р. 157 с.

У матеріалах конференції наведено тези доповідей за актуальними напрямками розроблення, виробництва та споживання принципово нового покоління харчових продуктів – продуктів оздоровчого, профілактичного, лікувального та спеціального призначення. Коло наукових інтересів учасників конференції сформовано за такими напрямками: фармаконутриціологія у парадигмі нової концепції харчування, стан та перспективи розвитку технологій оздоровчих продуктів та дієтичних добавок, натуральні збагачувачі як альтернатива синтетичним харчовим добавкам, нетрадиційні джерела сировини у виробництві продукції нового покоління, інновації у виробництві та споживанні харчових продуктів, якість, безпека, ефективність оздоровчих продуктів та дієтичних добавок, харчові звички та культура харчування.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано науково обґрунтовані, технологічно доцільні та економічно вигідні способи вирішення прикладних завдань формування, створення та розвиток в Україні індустрії оздоровчих продуктів, які відповідають основним принципам харчування XXI століття – ефективність, якість та безпека.

Матеріали конференції стануть в нагоді фахівцям різних галузей харчової промисловості, інженерно-технічним працівникам, потенційним інвесторам, студентам вищих навчальних закладів та всім, хто цікавиться проблемами здорового харчування.

Автори поданих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, галузевої термінології, інших відомостей.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ

7 листопада 2024 року

9⁰⁰ – 10⁰⁰ – реєстрація учасників

10⁰⁰ – 10³⁰ – пленарне засідання

10³⁰ – 13⁰⁰ – робота в секціях

13⁰⁰ – 14⁰⁰ – обідня перерва

14⁰⁰ – 16⁰⁰ – робота в секціях

16⁰⁰ – 17⁰⁰ – Круглий стіл з підведення підсумків роботи конференції

Голова оргкомітету:

Олександр Шевченко – ректор Національного університету харчових технологій, д-р. техн. наук, професор

Заступники голови:

Сергій ТОКАРЧУК – проректор з наукової роботи Національного університету харчових технологій, канд. техн. наук, доцент

Галина СИМАХІНА – завідувач кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій, д-р. техн. наук, професор.

Секретар конференції:

Світлана БАЖАЙ-ЖЕЖЕРУН – доцент кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій, канд. техн. наук.

ЗМІСТ

Секція 1. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ	
<i>Маслійчук О., Кончак О.</i> Інноваційні технології оздоровчих напоїв у харчуванні спортсменів	8
<i>Stetsenko N., Medvedyuk I.</i> Improvement of the technology of children's canned goods For health purposes with a combined composition	9
Секція 2. НУТРИЦІОЛОГІЧНЕ КОРЕГУВАННЯ ТА ПРОФІЛАКТИКА ХВОРОБ ЗАСОБАМИ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ	
<i>Сімахіна Г., Камінська С.</i> Нові підходи у нутриціології до формування харчових раціонів	12
<i>Бондар А., Боярський Б., Литвинов Г.</i> Принципи створення і використання підсистеми штучного інтелекту для клітинної нутриціології	14
<i>Стеценко Н.</i> Функціональні харчові продукти та інгредієнти для подолання наслідків стресу у населення країни в умовах військового стану	17
<i>Лисюк Р., Раух А.</i> Розробка різних типів продуктів функціонального призначення з вітамінною активністю на основі рослинних субстанцій	19
<i>Базиліук М., Бажай-Жежерун С.</i> Хліб на основі лляного борошна для дієтичного харчування	21
<i>Лопатинська О.</i> Обґрунтування принципів раціонального харчування хворих при антибіотикотерапії	23
Секція 3. МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ.	
<i>Антіпіна О., Озоліна С., Губська Ю.</i> Крем-сир з додаванням топінамбуру	26
<i>Борук С.</i> Проведення заміни пшеничного борошна на рисове та кукурудзяне у кондитерських виробках	28
<i>Калайда К., Гайдай І.</i> Удосконалення рецептурної композиції зефіру зниженої калорійності	30
<i>Shlapak H., Synytsia O., Reus O.</i> Prospects for the use of vegetable raw materials in meat products	32
<i>Білик О., Березницька В., Білохатнюк В.</i> Картопляна клітковина ефективний збагачувач здобних виробів харчовими волокнами	34
<i>Гезь Я., Климова В.</i> Виробництво печива з використанням чорничної і смородинової клітковини	37
<i>Герасименко В., Красінько В.</i> Використання грибів для створення оздоровчих продуктів на основі мікопротеїну	39
<i>Юрова Т., Угляр Б.</i> Застосування гарбузового пюре при виробництві хлібу оздоровчого призначення	41
<i>Козлова Я., Гойко І.</i> Фірма «Фавор» лідер молочної продукції в Україні	43

<i>Олійник Д.</i> Розвиток молочного сектора в Україні в контексті інтеграції в міжнародну торгівлю та економічного зростання: кейс Україна – Швейцарія,	45
<i>Грабовська О., Вітряк О., Литвинов А., Бельмас А.</i> Веганський майонез з використанням концентрату протеїну кінських бобів	47
<i>Побрусило М., Івчук Н.</i> Вплив зернової безглютенової сировини на реологічні властивості тіста для здобного печива	49
<i>Кузьменко Р., Павлюченко О.</i> Асортимент та організація виробництва салатних заправок на основі купажованих рослинних олій для закладів ресторанного господарства	51
Секція 4. НЕТРАДИЦІЙНІ РЕСУРСИ (РОСЛИННОГО І ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ) У ВИРОБНИЦТВІ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ.	
<i>Воробець М., Кобаса І., Ткачук О.</i> Листя буряка столового як альтернатива норі	53
<i>Сема О., Сачко А., Аксьонова О., Губський С.</i> Застосування барбарису (<i>Berberis vulgaris L.</i>) у виробництві карамелі	55
<i>Следь К., Туз Н.</i> Впровадження органічних інгредієнтів у хлібобулочні вироби для покращення споживчої цінності	58
<i>Сімахіна Г., Созонюк Б.</i> Переваги комплексного перероблення рослинної сировини	60
<i>Бажай-Жежерун С., Шорнікова М., Рахметов Д.</i> Антиоксидантна активність бульб смикавцю істівного (<i>Cyperus esculentus L.</i>)	61
<i>Synytsia O., Shlapak H., Mishyna M.</i> Use of hemp seed oil in the composition of minced cooked sausages	64
<i>Кушнеренко Х., Кушнеренко А., Дійчук І., Дійчук В.</i> Розробка функціонального продукту, збагаченого мінералами	66
<i>Маслійчук О., Іванішин Р.</i> Технологія розробки м'ясних посічених страв з використанням нетрадиційної сировини	68
<i>Сабашош Г., Храпцева І.</i> Перспективи використання дикорослих рослинних ресурсів у виробництві харчових продуктів оздоровчого призначення	70
<i>Фокша Д., Павлюченко О.</i> Топінамбур та батат як перспективна сировина продукції ресторанного господарства	73
<i>Благополучна А.</i> Використання нетрадиційних ресурсів рослинного походження у виробництві оздоровчих харчових продуктів	75
<i>Воробець Н.</i> Використання проростків соняшника у якості спеціальних харчових продуктів – вміст пігментів	77
<i>Радченко А., Шокотько Н.</i> Технологія майонезу з рослинними заміниками яєць	79
<i>Дущак О., Кіях Є.</i> Створення нових снекових виробів із використанням томатної сировини	81
Секція 5. ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ КОМПЛЕКСНОЇ ПРОБЛЕМИ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ.	
<i>Сімахіна Г., Михайлова Р., Зімірьов О.</i> Здорове харчування – основа співпраці кафедри та ТОВ «Фірма «Фавор»	83
<i>Акіншина О.</i> Оздоровче харчування у системі реабілітації онкохворих	85
<i>Науменко Н.</i> Яблуко як фольклорний і поетичний образ України	87

<i>Баишта А.</i> Оцінка стану харчування студентської молоді в сучасних умовах	89
<i>Бажай-Жежерун С., Шевцова К.</i> Стародавні українські страви, як складова оздоровчого харчового раціону	91
<i>Резнік А.</i> Психологічні аспекти формування здорових харчових звичок в українській сім'ї	93
<i>Романовська Т.</i> Есенціальні жирні кислоти в оздоровчих харчових продуктах	95
<i>Водяничук Ю.</i> Зміцнення здоров'я населення України - пріоритетне завдання сьогодення	96
<i>Науменко І.</i> Формування здорового способу життя молоді	98
<i>Шапіренко Д., Силка І.</i> Мусові десерти на основі грецького йогурту як тренд оздоровчого харчування	100
<i>Бажай-Жежерун С., Воропай К.</i> Використання бобових культур в оздоровчому харчуванні	101
<i>Склярєнко О.</i> Борщ як складова традиційної культури українців	103
<i>Борисова Е., Науменко Н.</i> Базова страва ідлі для врівноваження вата доші	105
<i>Шуба Є.</i> Валеологічні аспекти стресу та стресостійкості	107
<i>Благополучна А.</i> Особливості застосування натуральних харчових добавок у ресторанному господарстві	108
<i>Слепко А., Христюк О.</i> Здорове харчування як фактор психічного здоров'я	110
<i>Бажай-Жежерун С., Береза-Кіндзерська Л., Романенко О.</i> Зниження споживання натрію – шлях до поліпшення стану здоров'я населення	112
<i>Vazilyuk M., Kaminska S.</i> Analysis of dietary fiber content in healthy products for patients with chronic pancreatitis	115
<i>Федоренко Т.</i> Основні тенденції та перспективи виробництва продукції для лікувального харчування дітей	116
Секція 6. ОЗДОРОВЧЕ ХАРЧУВАННЯ ДЛЯ РАЦІОНІВ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ.	
<i>Маслійчук О., Сімахіна Г., Булботка Н.</i> Розробка дегідратованих продуктів із додаванням білкового збагачувача для харчування військовослужбовців В екстремальних умовах	119
<i>Havryliuk O., Goyko I., Sherstiuk N.,</i> Study of the chemical composition of berry powder for the production of instant drinks for military use	121
<i>Бондар Г., Красінько В.</i> Перспективи використання дріжджів, збагачених залізом, у оздоровчому харчуванні військовослужбовців	123
<i>Шерганов В.</i> Оздоровче харчування для раціонів та реабілітації військовослужбовців	125
<i>Богдан О., Стукальська Н.</i> Пектиновмісні продукти як засіб для оздоровлення військових	127

Секція 7. КРАФТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ	
<i>Красний Д., Салєба Л.</i> Крафтові технології виробництва хлібобулочних виробів	129
<i>Вокії У.</i> Zastosowanie grzybów w kuchni polskiej	131
<i>Благополучна А.</i> Технологія крафтового виробництва оздоровчих харчових продуктів	134
<i>Фастаковський Д., Неміріч О., Силка І.</i> Сучасні технологічні підходи теплової обробки у технології продукції ресторанного господарства	136
Секція 8. ЕКОБЕЗПЕКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ У ВИРОБНИЦТВІ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ.	
<i>Шульга О., Шульга С.</i> CARVER+Shock – методологія, що забезпечує реалізацію системи ТАССР для операторів ринку харчових продуктів	137
<i>Благополучна А.</i> Безпечні пакувальні матеріали у виробництві оздоровчих харчових продуктів	139
<i>Воробець Н., Зазуляк Т.</i> Вміст свинцю, кадмію і нікелю у проростках соняшника за вищивання на надлишкових їх кількостях у субстраті	141
<i>Юхно В., Соловей І.</i> Використання рослинної сировини у технології напоїв на основі молочної сироватки	143
<i>Ткач В., Кушнір М., Морозова Т., М. Жуау Монтейру, Ізабел О'Ніл де Маскареньяш Гайвау, Іванушко Я., Адріано О. да Сілва, Луканьова С., Ягодинець П., Жолт О. Кормош, Луганська О., Гарсія Ж.Р., Жозе Інасіу Феррау да Пайва Мартіни, Акинай Ю., Каракочун Н., Тюркменоглу М.</i> Теоретико-експериментальний опис електрохімічного визначення ергостеролу у грибних продуктах та спецхарчуванні	146
<i>Вознюк С., Коваль О., Ющенко Н.</i> Аналіз ризиків і критичних контрольних точок у виробництві тістечок підвищеної біологічної цінності за допомогою системи НАССР	148
<i>Кравченко А., Ющенко Н., Фролова Н.</i> Аналіз небезпечних чинників на етапі зберігання сировини для виготовлення яблучного джему в закладі ресторанного господарства	150
Секція 9. ТЕХНОЛОГІЇ НАТУРАЛЬНИХ ДІЄТИЧНИХ ДОБАВОК: ВЕКТОРИ РОЗВИТКУ.	
<i>Kaminska S.</i> Comparison of the Concept of Superfood in Ukraine and Japan	152
<i>Смоляр В., Карнович І., Крапивницька І.</i> Отримання бурякового пектину медичного призначення	154
<i>Маркін Д., Стукальська Н.</i> Ефективність використання дієтичних харчових добавок у виробництві продуктів харчування	155
<i>Муллер Ю., Крапивницька І., Омельчук Є.</i> Морквяний пектиновий екстракт – дієтична добавка у створенні функціональних продуктів	157

ОТРИМАННЯ БУРЯКОВОГО ПЕКТИНУ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Владислав Смоляр, Інна Карпович, Ірина Крапивницька

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

Різноманітність фармакологічних властивостей пектину зумовлює його застосування у виробництві лікарських препаратів різного призначення. Зарубіжними фірмами виробляється пектин фармакологічної якості для безпосереднього застосування. Крім того, пектин є допоміжним засобом у приготуванні багатьох лікарських форм; є основою для отримання пастилок, гідрогелей, таблеток, капсул тощо. Міжнародними фармацевтичними організаціями сформульовані вимоги до пектинів медичного призначення, зокрема, вміст галактуранової кислоти не менше 70 %, мінімальний вміст мінеральних складових та токсичних елементів. За фізико-хімічними властивостями найбільше відповідає буряковий пектин. Проте при виробництві бурякового пектину існують певні джерела забруднення, які спричиняють невідповідність отриманого пектину вимогам щодо критеріїв безпеки та вмісту галактуранової кислоти.

До основних джерел забруднення можна віднести вихідну сировину, допоміжні матеріали та утворення побічних продуктів в технологічному процесі отримання пектину.

Тому є необхідність розроблення та удосконалення способів підготовки бурякового жому, процесів гідролізу-екстрагування пектину із рослинної тканини, очищення пектинового екстракту та коагуляту, висушування пектину.

Здійснено аналіз бурякового жому як сировини для виробництва пектину медичного призначення за вмістом пектинових речовин, а також визначено речовини, які знижують якість готового продукту. Проведено дослідження із використанням фізико-хімічних методів обробки бурякового жому, що призводить до руйнування полісахаридного комплексу рослинної тканини і забезпечує проведення процесу гідролізу в м'яких умовах, запобігаючи утворенню барвних речовин. Для очищення пектинового екстракту та коагуляту застосовані мембранні технології та іонного обміну.

Література

1. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues Analese Roman-Benn, Carolina A. Contador, Man-Wah Li and other/ Food Chemistry Advances 2 (2023) 100192
2. Krapivnytska I. Scientific and practical aspects of pectin and pectin products/ I. Krapivnytska, V. Ladyka, M. Ianchik, S. Omelchenko, O. Melnyk F.Pertsevovoy. Kharkiv: Dissa +, 2022.-228 p.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет харчових технологій

91-а
Міжнародна наукова
конференція молодих учених,
аспірантів і студентів

"Наукові здобутки молоді –
вирішенню проблем
харчування людства у ХХІ
столітті"

7–11 квітня 2025 р.

Частина 1

Київ НУХТ 2025

91st International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 1. NUFT, Kyiv.

The publication contains materials of 91th International scientific conference of young scientists and students "Youth scientific achievements to the 21st century Nutrition problem solution".

It was considered the problems of improving existing and creating new energy and resource saving technologies for food production based on modern physical and chemical methods, the use of unconventional raw materials, modern technological and energy saving equipment, improve of efficiency of the enterprises, and also the students research work results for improve quality training of future professionals of the food industry.

The publication is intended for young scientists and researchers who are engaged in definite problems in the food science and industry.

ISBN 978-966-612-358-2

© NUFT, 2025

Матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 7–11 квітня 2025 р. – Київ: НУХТ, 2025. – Ч.1. – 347 с.

Видання містить матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті".

Розглянуто проблеми удосконалення існуючих та створення нових енерго- та ресурсощадних технологій для виробництва харчових продуктів на основі сучасних фізико-хімічних методів, використання нетрадиційної сировини, новітнього технологічного та енергозберігаючого обладнання, підвищення ефективності діяльності підприємств, а також результати науково-дослідних робіт студентів з метою підвищення якості підготовки майбутніх фахівців харчової промисловості.

Розраховано на молодих науковців і дослідників, які займаються означеними проблемами у харчовій науці та промисловості.

ISBN 978-966-612-358-2

© НУХТ, 2025

Зміст

1. Technology of functional ingredients and new food.....	7
2. Foodstuff expertise	36
3. Technology of bread, pastry, pasta and food concentrates	82
4. Grain processing technology	112
5. Technology of sugars, polysaccharides and water treatment.....	130
6. Technology of fermentation and wine.....	149
7. Technology of preservation	179
8. Technology of meat and meat products.....	198
9. Technology of milk and dairy products.....	248
10. Technology of fats and perfumery-cosmetic products	267
11. Ecology and sustainable development	280
12. Biotechnologies and bioengineering.....	303

Content

1. Технологія функціональних інгредієнтів та нових харчових продуктів.....	7
2. Експертизи харчових продуктів.....	36
3. Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів.....	82
4. Технологія переробки зерна.....	112
5. Технології цукру, полісахаридів і підготовки води.....	130
6. Технологія продуктів бродіння і виноробства.....	149
7. Технологія консервування.....	179
8. Технологія м'яса і м'ясних продуктів.....	198
9. Технологія молока і молочних продуктів	248
10. Технологія жирів та парфумерно-косметичних виробів.....	267
11. Екологія і сталий розвиток	280
12. Біотехнології та біоінженерія.....	303

10. Ефективність застосування іонітного очищення для отримання бурякового пектину медичного призначення

Владислав Смоляр, Ірина Крапивницька, Інна Карпович
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Пектин, зокрема, буряковий, має широкий спектр фармакологічних властивостей, що робить його цінним компонентом у виробництві лікарських препаратів. Відповідність міжнародним стандартам щодо вмісту полігалактуронової кислоти ($\geq 70\%$) та мінімального вмісту токсичних речовин є критичною для медичного застосування.

Матеріали та методи. Для дослідження використовували буряковий жом, пектиновий екстракт, пектин, катіоніт, аніоніт. Використано фізико-хімічні методи визначення якісних показників бурякового пектинового екстракту та бурякового пектину.

Результати та обговорення. В роботі досліджували змінування значень рН пектинового екстракту в процесі пропускання його через катіоніт КУ-2-8 в H^+ -формі, а потім через аніоніт АВ-17-8 в OH^- -формі. Для контролю відбирали з кожної колонки фракції очищеного пектинового екстракту і визначали значення рН. З метою повнішого вивчення роботи колонок, розчин пропускали через шар іоніту, поки значення рН вихідного розчину не дорівнювало рН вхідного пектинового розчину. Видалення надлишку кислоти та зниження активності іонів гідрогену призводить до стабільності пектинових розчинів у відношенні деградації пектину при тривалому зберіганні.

Вміст баластних по відношенню до пектину речовин може складати від 50 до 70% сухих речовин екстракту, причому баластні речовини мають різну хімічну природу. В процесі іонообмінної обробки пектинового екстракту частина баластних речовин осаджується на катіоніті чи аніоніті залежно від їх природи. Загальний ефект очищення пектинового екстракту з бурякового жому після іонообмінної обробки по схемі "катіоніт-аніоніт" зростає до 70%.

З порівняння пектинів, вилучених з екстрактів до і після іонообмінного очищення встановлено, що вміст галактуронової кислоти зростає на 28...30%. Вміст металів значно знижується після іонообмінної обробки пектинових екстрактів у порівнянні з неочищеним екстрактом. Важливим є те, що внаслідок іонообмінної обробки зменшується вміст важких металів. Здатність до комплексоутворення по відношенню до іону свинцю для пектинів, що випускаються промисловістю, складає 192...220 мг $Pb^{2+}/г$ (для пектину з бурякового жому). За рахунок метоксилювання і демінералізації бурякового пектину в процесі іонообмінної обробки, його здатність до комплексоутворення збільшується до значення 425 мг $Pb^{2+}/г$.

Висновок. Отримані результати досліджень дозволяють отримати буряковий пектин, що відповідає міжнародним стандартам. Це відкриває нові можливості для його застосування у виробництві лікарських препаратів.

Література

1. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues Analese Roman-Benn, Carolina A. Contador, Man-Wah Li and other/ Food Chemistry Advances 2 (2023) 100192

2. Krapivnytska I. Scientific and practical aspects of pectin and pectin products/ I. Krapivnytska, V. Ladyka, M. Ianchik, S. Omelchenko, O. Melnyk F.Pertsevov. Kharkiv: Dissa +, 2022.-228 p.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



**XII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ**

***„ОЗДОРОВЧІ ХАРЧОВІ ПРОДУКТИ ТА ДІЄТИЧНІ ДОБАВКИ:
ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІСТЬ ТА БЕЗПЕКА”***

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

12 листопада 2025 р.

КИЇВ НУХТ 2025

Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека: Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції, 12 листопада 2025 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2025 р. 166 с.

У матеріалах конференції наведено тези доповідей за актуальними напрямками розроблення, виробництва та споживання принципово нового покоління харчових продуктів – продуктів оздоровчого, профілактичного, лікувального та спеціального призначення.

Актуальність тематики конференції визначається новітніми науковими дослідженнями і практичними завданнями в галузях технологій оздоровчих продуктів як сучасного світового тренду здорового харчування на світовому ринку.

Мета конференції полягає в обміні досвідом, обговоренні результатів досліджень, налагодженні співпраці з науковими установами, закладами вищої освіти, підприємствами харчової промисловості.

Коло наукових інтересів учасників конференції сформовано за такими напрямками: актуальні питання наукового забезпечення технологій оздоровчих продуктів; нутриціологічне корегування та профілактика хвороб засобами оздоровчого харчування; медико-біологічні та технологічні аспекти виробництва оздоровчих продуктів; нетрадиційні ресурси (рослинного і тваринного походження) у виробництві оздоровчих продуктів; пріоритетні напрями комплексної проблеми здорового харчування населення України; оздоровче харчування для раціонів та реабілітації військовослужбовців; крафтові технології оздоровчих продуктів; екобезпека технологій та пакувальні матеріали у виробництві оздоровчих продуктів; технології натуральних дієтичних добавок: вектори розвитку.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано науково обґрунтовані, технологічно доцільні та економічно вигідні способи вирішення прикладних завдань формування, створення та розвиток в Україні індустрії оздоровчих продуктів, які відповідають основним принципам харчування XXI століття – ефективність, якість та безпека.

Матеріали конференції стануть у нагоді фахівцям різних галузей харчової промисловості, інженерно-технічним працівникам, потенційним інвесторам, студентам вищих навчальних закладів та всім, хто цікавиться проблемами здорового харчування.

Автори поданих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, галузевої термінології, інших відомостей.

Матеріали подаються в авторській редакції. Електронна версія збірника доступна на сайті університету у рубриці «Наукова діяльність / Наукові конференції / Матеріали конференцій».

ЗМІСТ

Секція 1. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ

<i>Г. Сімахіна, О. Зімірьов</i>	11
Основні сегменти виробництва оздоровчих продуктів в Україні	
<i>С. Борук, А. Доцяк</i>	13
Реологічні властивості водних дисперсних систем на основі борошна	
<i>В. Махінько, І. Шрамко</i>	15
Технологічне і розрахункове моделювання як інструменти формування якості оздоровчих продуктів	

Секція 2. НУТРИЦІОЛОГІЧНЕ КОРЕГУВАННЯ ТА ПРОФІЛАКТИКА ХВОРОБ ЗАСОБАМИ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ

<i>Л. Kaprelyants, О. Вілюк</i>	18
Cereal functional foods for prevention of non-communicable diseases	
<i>Н. Науменко, А. Пустовойт, А. Свирид</i>	20
Роль пребіотиків і пробіотиків у нутриціологічному корегуванні мікробіоти кишечника та профілактиці метаболічних розладів	
<i>С. Майкова, О. Ромаха</i>	22
Розроблення м'ясних напівфабрикатів з профілактичними властивостями	
<i>В. Шепель, М. Рацук</i>	25
Приготування затяжного печива з рослинними волокнами	
<i>С. Бажай-Жежерун, К. Маланчук</i>	27
Композиції фіточаїв оздоровчої дії	
<i>Н. Науменко, А. Пустовойт, А. Свирид</i>	29
Заміна натрієвих солей на калієві як ефективний напрям нутриціологічної профілактики серцево-судинних захворювань	
<i>Т. Левківська, С. Гольдман, О. Жерибор</i>	31
Олія з насіння чіа: фізіологічна цінність та рекомендації щодо застосування	

Секція 3. МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ

<i>Я. Гезь</i>	34
Використання борошна з червоної сочевиці і порошку асаї у технології виробництва печива	
<i>Т. Юрова, А. Соценко</i>	37
Купажовані соки підвищеної біологічної цінності	
<i>О. Михайлова, М. Ломберг, Н. Поєдинок</i>	39
Нові біотехнологічні підходи до оптимізації ліпідного складу їстівного макроміцета <i>Pleurotus eryngii</i>	
<i>Г. Сімахіна, Д. Олійник</i>	41
«Кольорові» булочки у секторі нових хлібобулочних виробів	
<i>Г. Бондар, О. Пархомова, В. Красінько</i>	43

Функціональні дріжджі нового покоління: джерело біодоступних мікроелементів у харчових технологіях	
<i>Е. Борисова, Н. Фролова</i>	45
Роль спецій у аюрведичних молочних продуктах	
<i>Т. Романовська</i>	47
Про доцільність купажування олій для харчових продуктів	
<i>С. Шульга</i>	49
Удосконалення технологій цукрів та полісахаридів для створення функціональних харчових продуктів	
<i>Я. Козлова, Г. Сімахіна</i>	51
Перспективи та ризики впровадження нанотехнологій у харчову промисловість	
<i>І. Попова, О. Майборода</i>	53
Технологія отримання олігосахаридного сиропу із коренеплодів цикорію	
<i>Н. Івчук, М. Побрусило</i>	55
Дослідження процесу випікання здобного пшоняно-гречаного печива	
<i>Н. Стеценко, Є. Михальцова</i>	58
Перспективи виробництва ферментованих оздоровчих напоїв з використанням сироватки	
<i>М. Абдукарімов, А. Баїта</i>	60
Розроблення технології безалкогольного напою оздоровчої дії з екстрактами меліси та суцвіть чорнобривців	
<i>Є. Михальцова, Г. Сімахіна, Н. Стеценко</i>	62
Використання біологічно активних речовин генетично модифікованих організмів у технологіях оздоровчих продуктів	
<i>А. Кравченко, Н. Фролова</i>	64
Технологічні та фізико-хімічні особливості виробництва аюрведичного джему у сфері ресторанного бізнесу	
<i>В. Захаров, О. Шепелєва, В. Зуйко</i>	66
Використання сучасних технологій у приготуванні субпродуктів (печінки та серця)	
<i>Н. Стеценко, Д. Куриленко</i>	68
Наукове обґрунтування вибору рослинної сировини для виробництва напою антиоксидантної дії	

Секція 4. НЕТРАДИЦІЙНІ РЕСУРСИ (РОСЛИННОГО І ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ) У ВИРОБНИЦТВІ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ.

<i>А. Kapustyan, Т. Sharachmatova, І. Olkhovsky</i>	70
Resistant starch in food systems	
<i>Л. Гураль, Н. Доценко</i>	73
Отримання та оцінка якості булочних виробів і напоїв з біологічно активними сполуками лушпиння цибулі	
<i>А. Shorska, N. Naumenko</i>	75
Use of natural preservatives to enhance food safety and shelf life	

М. Воробець, І. Кобаса, В. Глушак	77
Формування якості веганського мармеладу апельсинового з використанням чаю матча	
Т. Долішній, Л. Федина, М. Бомба	79
Перспективи використання маринаду з обліпихи та технології sous-vide у виробництві м'ясних виробів	
О. Гаврилюк, О. Бондарчук, С. Бажай-Жежерун, Д. Рахметов	81
Стан та перспективи використання рослин роду чорнушки (<i>Nigella l.</i>) для виготовлення продуктів оздоровчого призначення	
О. Антіпіна, С. Озоліна, А. Гуржій	84
Борошняні кондитерські вироби підвищеної харчової цінності	
В/ Сукманов, Д/ Мащенко	86
Використання кавової гущі у продуктах функціонального призначення та здоров'я людини	
К. Калайда, І. Гайдай	88
Технологія м'якого морозива зниженої калорійності	
О. Synytsia, Н. Shlapak, Р. Kostiv, Y. Snihur	90
Application of plant extracts in meat product technology	
О. Малінка, О. Антіпіна, М. Бойкова	92
Отримання желейно-фруктового мармеладу з додаванням пектино-кверцетинового комплексу	
С. Бажай-Жежерун, М. Базиліюк, Д. Рахметов	94
Якісний аналіз бульб смикавцю їстівного (<i>Сyperus esculentus L.</i>)	
К. Кібальнік, Ю. Мацук	96
Використання гарбузового борошна як функціонального інгредієнта в технології тіста для лимонного торта	
О. Супрун-Крестова, Г.Ляшко, М. Кожевнікова	99
Кіноа: стратегічний компонент для розширення асортименту У сегменті «суперфудів»	
С. Бажай-Жежерун, А. Парфенюк	101
Інжир - перспективна сировина для виробництва оздоровчих продуктів.	
М. Ломберг, В. Красінько, О. Михайлова	103
Антиоксидантна активність екстрактів біомаси грибів роду <i>hericium</i>	
Д. Фокиа, О. Павлюченко	105
Використання безглютенових видів борошна у технології виготовлення таралеток	
О. Майборода, І. Попова	106
Лікувально-оздоровчі властивості щириці.	

Секція 5. ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ КОМПЛЕКСНОЇ ПРОБЛЕМИ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ.

<i>Г. Сімахіна</i>	108
Вегетаріанство та веганство з точки зору здорового харчування	
<i>N. Magden, V. Kolomiyets, N. Naumenko, O. Podobiy</i>	110
The use of dietary supplements and cellular nutrition of modern man	
<i>С. Бажай-Жежерун, А. Маринін</i>	112
Харчові волокна - важливий компонент оздоровчого раціону людини	
<i>О. Романенко</i>	114
Баланс натрію та калію — алхімія життя і шлях до здорового серця	
<i>S. Kaminska</i>	116
The new era of wellness eating	
<i>О. Войтенко</i>	118
Натуральні цукрозамінники виробництва ТОВ «ГРІНЛІФ КОМПАНІ»	

Секція 6. ОЗДОРОВЧЕ ХАРЧУВАННЯ ДЛЯ РАЦІОНІВ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ.

<i>Г. Сімахіна, Я. Козлова</i>	120
Законодавче регулювання раціонів для військовослужбовців ЗСУ	
<i>Г. Сабадош, Й. Роглев</i>	122
Оздоровче харчування для раціонів та реабілітації військовослужбовців	
<i>О. Маслійчук, Г. Сімахіна</i>	124
Дослідження безпечності удосконалених кабаносів для харчування військовослужбовців	
<i>О. Бездольний</i>	126
Харчування військовослужбовців збройних сил України	
<i>З. Рожко</i>	129
Тенденції розвитку оздоровчого харчування для раціонів військовослужбовців	
<i>І. Гойко</i>	131
Визначення оцінки якості та безпеки безалкогольного напою для військовослужбовців	
<i>Д. Коваль, З. Рожко</i>	133
Оздоровче харчування для раціонів та реабілітації військовослужбовців	

Секція 7. КРАФТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ.

<i>Л. Салєба, М. Кравченко</i>	135
Функціональні напої з використанням хелатів магнію	
<i>Н. Стеценко</i>	137
Крафтові технології зелених олій функціонального призначення	
<i>К. Шевцова, Н. Стеценко</i>	139
Крафтовий смузі на основі кефіру з додаванням спіруліни	
<i>Є. Шуба, Н. Стеценко</i>	141
Сучасні технології виготовлення крафтового шоколаду функціонального призначення	

Секція 8. ЕКОБЕЗПЕКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ У ВИРОБНИЦТВІ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ.

<i>С. Літвинчук, А. Сірик, О. Євтушенко</i>	143
Роль екологічного пакування у підвищенні безпечності споживання меду	
<i>Т. Переверзева</i>	145
Екологічна та інтелектуальна упаковка: тренди сучасної харчової індустрії	
<i>В.Ткач, Ізабел О'Ніл де Машкареньяш Гайвау, Т. Морозова, Я. Іванушко, Ана Нова Барруш</i>	148
Визначення поліфенольних сполук і сукралози в оздоровчих напоях для діабетиків. Теоретичний опис	
<i>N. Stetsenko</i>	149
Environmental aspects of craft technologies of health products from the position of the sustainable development concept	
<i>О. Душак, Т. Данилова</i>	151
Комплексна роль упаковки в системі харчової безпеки	

Секція 9. ТЕХНОЛОГІЇ НАТУРАЛЬНИХ ДІЄТИЧНИХ ДОБАВОК: ВЕКТОРИ РОЗВИТКУ.

<i>І. Кобаса, М. Воробець, В. Євлаш</i>	153
Технологічні аспекти отримання дієтичної добавки «клітковина гречана» на основі гречаної лузги	
<i>Н. Черно, К. Науменко, К. Єршова</i>	155
Геміцелюлози як біополімерна матриця для стабілізації куркуміну	
<i>І. Солов'янчик</i>	157
СО ₂ -екстракти – цінні компоненти для харчових продуктів функціонального призначення	
<i>О. Боднарчук</i>	160
Вилучення біологічно активних речовин з рослинної сировини методом екстракції зрідженими інертними газами	
<i>В. Шерганов</i>	162
Вектори розвитку технологій натуральних дієтичних добавок: наукове обґрунтування та концепція мультифункціональної нутрицевтичної системи для спортсменів-єдиноборців	
<i>В. Смоляр, І. Карпович, Є. Омельчук, І. Крапивницька</i>	165
Пектин медичного призначення з бурякового жому: отримання, властивості	

ПЕКТИН МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З БУРЯКОВОГО ЖОМУ: ОТРИМАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ

Владислав Смоляр, Інна Карпович, Євген Омельчук, Ірина Крапивницька
*Національний університет харчових технологій,
м. Київ, Україна*

Пектин медичного призначення — це дієтична добавка на основі харчової клітковини, яка використовується для детоксикації, нормалізації травлення, зниження рівня холестерину та підтримки роботи серцево-судинної системи. Його основні медичні властивості включають здатність виводити важкі метали та радіонукліди, а також підтримувати здоров'я кишківника. Зарубіжними фірмами виробляється пектин фармакологічної якості для безпосереднього застосування. Також пектин використовують як допоміжний засіб у приготуванні багатьох лікарських форм; є основою для отримання пастилок, гідрогелей, таблеток, капсул тощо. Міжнародними фармацевтичними організаціями сформульовані вимоги до пектинів медичного призначення, зокрема, вміст полігалактуранової кислоти не менше 70 %, мінімальний вміст мінеральних складових та токсичних елементів. За фізико-хімічними властивостями найбільше відповідає буряковий пектин. З огляду на зростаючий попит на природні ентеросорбенти та пребіотики, розробка технології одержання пектину медичного призначення з бурякового жому є вкрай важливою.

Буряковий жом, що залишається після виробництва цукру, містить до 20-30% пектинових речовин, які можуть бути використані для отримання цінних функціональних інгредієнтів. Проте при виробництві бурякового пектину існують певні джерела забруднення, які спричинюють невідповідність отриманого пектину вимогам щодо критеріїв безпеки та вмісту полігалактуранової кислоти.

Існуюча традиційна технологічна схема із гідролізом жому соляною або азотною кислотами, спиртовим осадженням пектину з екстрактів і багаторазовим очищенням його аліфатичними спиртами не завжди є ефективною, внаслідок чого готовий пектин має підвищену зольність, недостатню комплексоутворювальну здатність, низькій вміст полігалактуранової кислоти. Тому необхідний пошук ефективних методів очищення пектинових екстрактів. Нами запропонована технологія пектину із застосування іонітного очищення пектинового екстракту після вилучення пектину кислотно-термічним методом бурякового жому.

Пектиновий екстракт, який отримано внаслідок солянокислого гідролізу бурякового жому, є кислим розчином природних високомолекулярних сполук, і приблизно на 90 % складається із електролітів. Солянокислий екстракт – це рідина світло-сірого кольору, вміст пектинових речовин в ньому складає 0,5...0,9 %, рН=0,6...0,8.

В роботі досліджували змінювання якісних показників і властивостей пектину, отриманого з екстракту, очищеного за допомогою іонообмінних смол КУ-2-8чС в Н⁺- формі та АВ-17-8 в ОН⁻ формі.

Досліджували пектинові препарати на такі аналітичні характеристики: вміст вільних карбоксильних груп, етерифікованих карбоксильних груп, ацетильних груп, уронідну складову, ступінь етерифікації. З порівняння пектинів, вилучених з екстрактів до і після іонообмінного очищення видно, що вміст галактуронової кислоти зростає на 28...30 %, внаслідок вилучення з екстракту органічних кислот та низькомолекулярних фракцій пектину. Нами проведені дослідження щодо зв'язування полівалентних металів з буряковим пектином. Вміст свинцю, кадмію, ртуті, цинку визначали атомно-емісійним методом (прилад – спектрометр атомно-емісійний «SHIMADSU ICPE–9820»). Комплексоутворююча здатність бурякового пектину до суміші іонів Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺ та Pb²⁺ становила (мг Ме/г пектину / ммоль Ме/г пектину): до очищення на іонітних смолах (Cu²⁺ - 125/2,02; Zn²⁺ - 805,0/1,20; Cd²⁺ - 142/1,06; Pb²⁺ - 131/0,62); та після очищення (Cu²⁺ - 148/2,32; Zn²⁺ - 85,0/1,30; Cd²⁺ - 154/1,17; Pb²⁺ - 147/0,71). Висока здатність пектину до комплексоутворення зумовлена взаємодією між іоном металу та карбоксильною групою полігалактуронової кислоти та кооперативним зв'язуванням металу та уронідною складовою, що являється лігандом в даному типі взаємодії. Встановлено, що збільшення значення рН екстракту до 3,6 за рахунок нейтралізації на іонообмінних смолах призводить до підвищення здатності до комплексоутворення пектину.

Використання пектину та пектинових екстрактів з бурякового жому доцільне насамперед як комплексоутворювачів, які сприяють зв'язуванню важких металів та радіонуклідів і виведенню їх з організму людини, що надходять внаслідок сформованого вкрай високим рівнем хімічних, біологічних і радіаційних загроз із-за застосування вибухових речовин, руйнування об'єктів критичної інфраструктури в сучасних умовах війни.

Література

1. Krapivnytska I. Scientific and practical aspects of pectin and pectin products/ I. Krapivnytska, V. Ladyka, M. Ianchik, S. Omelchenko, O. Melnyk F.Pertsevov. Kharkiv: Dissa +, 2022.-228 p.
2. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues Analese Roman-Benn, Carolina A. Contador, Man-Wah Li and other/ Food Chemistry Advances 2 (2023) 100192