

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**КУШНІР ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА**

**УДК 664.292**

**РОЗРОБЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕКТИНУ ІЗ  
КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

05.18.05. – Технологія цукристих речовин та продуктів бродіння

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Київ – 2012**

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Крапивницька Ірина Олексіївна,**  
Національний університет харчових технологій  
МОНмолодьспорту України,  
доцент кафедри технології цукру і підготовки води.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Грабовська Олена В'ячеславівна,**  
Національний університет харчових технологій  
МОНмолодьспорту України,  
завідувач кафедри фізичної та колоїдної хімії

кандидат технічних наук, доцент  
**Берник Ірина Миколаївна,**  
Вінницький національний аграрний університет  
Міністерство аграрної політики і продовольства  
України,  
доцент кафедри процесів та обладнання переробних і  
харчових виробництв ім. професора П.С. Берника.

Захист відбудеться “ 21 ” листопада 2012 року о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.04 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А – 311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2012 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, к.т.н., доц.

М.В.Карпутіна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Пектин – природний полісахарид, який поєднує в собі властивості структуроутворювача та біологічно активної сполуки. Структуроутворення у продуктах із пектином проявляється у його здатності формувати міцні гелі, надавати стійкості емульсіям, загущувати харчові маси. Біологічна активність пектинових речовин виражена у детоксикуючій, радіопротекторній, антиоксидантній, гіпоглікемічній, імуностимулюючій діях. Особливості будови бурякового пектину сприяють його широкому використанню при створенні продуктів оздоровчого харчування та лікарських форм.

Наукові дослідження з проблем хімії та виробництва бурякового пектину відображені у працях І.М. Литвака, М.І. Барабанова, Л.Б. Сосновського, Г.В. Бузіної, Н.П. Шелухіної, З.Д. Ашубаєвої, М.С. Карповича, Л.В. Донченко, В.В. Неліної та ін. Їхній науковий доробок був реалізований у розробленні технологій пектину. Однак, великі енерговитрати, у тому числі на висушування бурякового жому, що знижує його якість як пектиновмісної сировини, а також технічне та технологічне забезпечення не дали змоги організувати конкурентоспроможне пектинове виробництво. Виробництво пектину в Україні відсутнє, тому розроблення та впровадження ефективної комплексної переробки коренеплодів цукрових буряків з отриманням високоякісного бурякового пектину є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано згідно з тематикою держбюджетної науково-дослідної роботи ПНДЛ НУХТ «Удосконалення технологічних процесів виробництва пектину» (ДР0196U001349, 1997-1998 рр.), «Розроблення ефективних способів отримання рослинних гідроколоїдів і функціональних комплексів для харчової промисловості» (ДР0107U001882, 2007-2008 рр.), затверджених МОН України.

**Мета та завдання досліджень.** Мета роботи – на основі теоретичних та експериментальних досліджень розробити технологію пектину із заданими функціональними властивостями із коренеплодів цукрових буряків.

Відповідно до мети визначені основні задачі:

- на основі аналізу літературних джерел вивчити особливості будови тканини коренеплодів цукрових буряків щодо білково-полісахаридного комплексу та пектинових речовин;
- дослідити процес ферментативного оброблення та біохімічного знецукрення бурякової тканини;
- встановити оптимальні технологічні параметри вилучення пектину із біохімічно підготовленої сировини;
- теоретично обґрунтувати та удосконалити процес гідролізу-екстрагування бурякової сировини;
- визначити аналітичні характеристики та дослідити фізико-хімічні властивості вилучених пектинів та їх модифікованих форм;
- розробити апаратурно-технологічну схему виробництва пектину із біохімічно підготовленої сировини;

- розробити нормативно-технічну документацію на виробництво бурякового пектину, пектинопродуктів та харчових продуктів з пектином;
- здійснити промислову апробацію розробленої технології бурякового пектину та пектинопродуктів.

*Об'єкт дослідження* – технологічні процеси підготовки бурякової сировини та вилучення із неї пектинових речовин.

*Предмет дослідження* – коренеплоди цукрових буряків, висушений буряковий жом, пектиновий екстракт, сухий буряковий пектин та модифікований пектин.

*Методи дослідження* – традиційні для цукрової та спиртової галузей, спеціальні та удосконалені фізико-хімічні, аналітичні та біохімічні методи оцінювання вихідної сировини, бражного дистилату, пектинового екстракту, сухого та модифікованого пектину; методи математичного моделювання, статистичного оброблення та оптимізації з використанням комп'ютерних технологій.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність біохімічної підготовки бурякової сировини для вилучення пектину, що полягає в проведенні утилізації цукрів із коренеплодів цукрових буряків методом цілеспрямованого зброджування їх на етиловий спирт і ферментативного оброблення бурякової тканини.

Обґрунтовано раціональні параметри процесу зброджування подрібненої бурякової сировини, які забезпечують високу ефективність її оброблення та якісні характеристики вилученого пектину. Встановлено, що відсутність високої температури при біохімічному знецукренні бурякової тканини призводить до підвищення виходу та покращення якості пектину.

Встановлено основні закономірності процесу гідролітичного розщеплення протопектину збродженої бурякової сировини та визначено технологічні параметри процесу гідролізу, що дозволяє отримувати пектин з високою структуроутворювальною здатністю.

Вперше розроблено математичну модель процесу гідролізу протопектину біохімічно підготовленої бурякової сировини, що дозволяє оптимізувати умови виділення пектину із заданими властивостями.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано отримання різних типів пектинів при забезпеченні вилучення цільового продукту на рівні 65...70 % від його загального вмісту у вихідній сировині.

Розроблено нові методики визначення комплексоутворювальної здатності та концентрації пектинових речовин з полярографічним закінченням.

Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено вплив пероксид-пероксидазного оброблення бурякового пектину на його здатність до структуроутворення та отримання модифікованих форм.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано новий концептуальний підхід щодо цільового використання свіжих коренеплодів цукрових буряків та розроблено ефективну технологію бурякового пектину з отриманням побічного продукту етанолу, який використовується в технологічному процесі.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі теоретичних узагальнень, експериментальних досліджень, аналітичних розрахунків обґрунтовано та розроблено технологію пектину із коренеплодів цукрових буряків.

Розроблено спосіб отримання пектину із коренеплодів цукрових буряків, попередня підготовка яких передбачає утилізацію цукрів шляхом їх цілеспрямованого зброджування на етанол в умовах максимального збереження нативної структури молекули пектину (патенти України №№ 21542, 31496, 83984).

Розроблено спосіб безперервного вилучення пектину (патент України № 31328) та установку для проведення гідролізу-екстрагування (патент України № 30979), які забезпечують інтенсифікацію процесів вилучення пектину.

Розроблено апаратурно-технологічну схему виробництва пектину з попередньою біохімічною підготовкою сировини.

Розроблено технологічний регламент на виробництво пектину із коренеплодів. Проведено промислові випробування на виробничих потужностях ТОВ «Пектин» Черкаської області та ТОВ «ПРОДСЕРВІС-ІР» Київської обл. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження технології у виробництво складатиме 270 тис. грн. Розроблено проект нормативно-технічної документації на буряковий пектин (ТУУ15.8–19492247–075:2011).

Розроблено способи визначення комплексоутворювальної здатності пектинових речовин (патент України № 31512) та концентрації пектинових речовин з полярографічним закінченням (патент України № 29872).

Розроблено оздоровчі пектинопродукти: біологічно активна добавка фітопектиновий напій “Сузір’я Лева” (патент України № 45751, ТУУ 02070938.014 – 2000); сухі пектиновмісні суміші “Пектосан” (патенти України №№ 24639, 31332, 31664, 32143; ТУУ 18019595–31–96).

Розроблено та впроваджено харчові продукти з пектином: паста кисломолочна “Лалі” (патент України № 24623, ТУУ 18019595-30-96); десерти соєві (ТУУ 15.8–31815341–002–2004); майонези соєві (ТУУ 15.8–31815341–003–2004); продукти соєві сквашені (ТУУ 15.8–31815341–004:2006). Продукти впроваджено у виробництвах Броварського молокопереробного заводу та ТОВ «Солвей». Нормативно-технічна документація на розроблені продукти затверджена у встановленому порядку.

**Особистий внесок автора** полягає в аналізі сучасного стану проблеми, загальній постановці задач досліджень, розробці методик їх проведення у лабораторних та промислових умовах, обробці результатів та їх аналізу, розробленні нормативно-технічної документації на виробництво бурякового пектину та пектинопродуктів. Висновки та рекомендації дисертаційної роботи автором отримані особисто.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції "Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість" (Київ, УДУХТ, 1997 р.), V національному з'їзді фармацевтів України "Досягнення сучасної фармації та перспективи її розвитку в новому тисячолітті" (Харків, 1999 р.), Шостій міжнародній науково-

технічній конференції "Проблеми і перспективи створення і впровадження нових ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості" (Київ, УДУХТ, 2000 р.), VII Міжнародній науково-технічній конференції "Пріоритетні напрями впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання і нових видів продуктів оздоровчого та спеціального призначення" (Київ, УДУХТ, 2001 р.), Міжнародній науково-практичній конференції "Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи" (Київ, НУХТ, 2010 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 32 наукові праці, в тому числі 7 статей у фахових виданнях, отримано 14 патентів України, 4 тези доповідей на наукових, науково-технічних конференціях.

**Структура і обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 162 найменувань вітчизняних і зарубіжних авторів, 6 додатків. Робота викладена на 133 сторінках друкованого тексту, містить 22 рисунки та 20 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову новизну і практичне значення роботи, представлено відомості щодо особистого внеску автора, апробації результатів, структури та обсягу дисертації.

**Перший розділ «Сучасний стан виробництва бурякового пектину»** присвячено аналізу літературних джерел щодо сучасного стану хімії та технології бурякового пектину. Представлено аспекти використання бурякового пектину.

На основі аналізу літератури обґрунтовано необхідність розроблення ефективної технології виробництва бурякового пектину із заданими функціональними властивостями. Сформульовано задачі досліджень і шляхи їх вирішення.

У **другому розділі «Організація, об'єкти та методи досліджень»** представлено розроблену програму комплексних досліджень, яка передбачає системний аналіз, наукове та експериментальне обґрунтування оптимальних параметрів технологічних процесів одержання бурякового пектину (Рис.1). Наведено характеристику об'єкта, предмета, методів аналітичних досліджень.

Подано розроблені методики проведення досліджень біохімічного знецукрення бурякової тканини, вилучення пектину із бурякової сировини, отримання модифікованих форм пектину, визначення комплексоутворювальної здатності пектину (патент України № 31512) та визначення пектинових речовин у розчині з полярографічним закінченням (патент України № 29872).

Задачі математичного моделювання та оптимізації, статистичне оброблення експериментальних даних виконано із застосуванням пакету прикладних програм MathCad Professional 2000 та Microsoft Office Excel 2003.

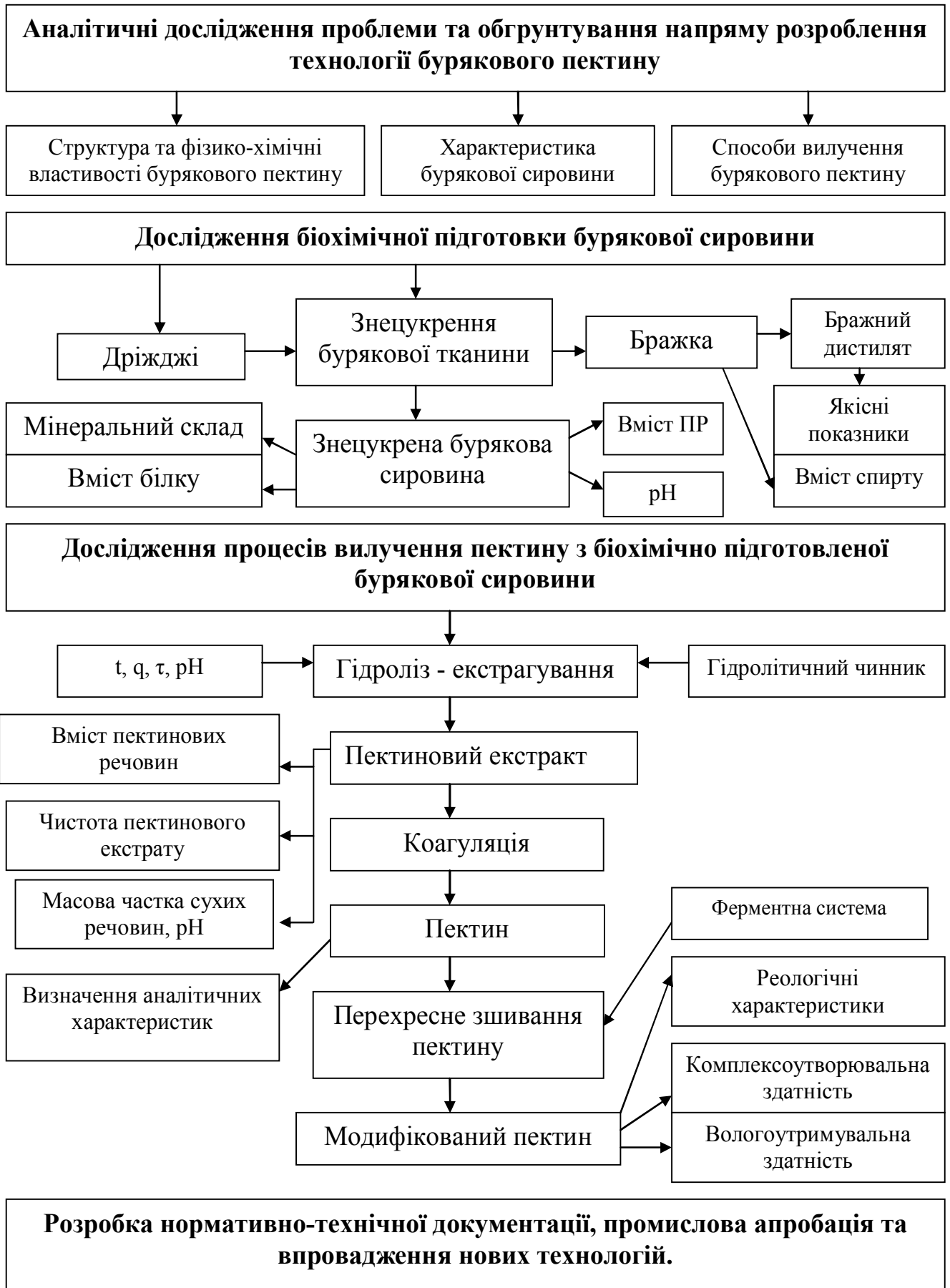


Рисунок 1 – Схема комплексної програми досліджень

У третьому розділі «Технологічні особливості біохімічної підготовки коренеплодів цукрових буряків» обґрунтовано використання у пектиновому виробництві свіжих коренеплодів цукрового буряку, розроблено спосіб біохімічної підготовки бурякової сировини, доведено переваги розробленого способу для отримання пектину високої якості.

Існуючі технології виробництва пектину використовують переважно висушений буряковий жом бурякоцукрового виробництва. В процесах дифузійного екстрагування та висушування бурякова тканина зазнає тривалих та значних температурних впливів, при яких відбувається деструкція та втрата пектинових речовин і забруднення токсичними сполуками. Біохімічна підготовка сировини ставить за мету максимально зберегти нативну структуру пектинової молекули та мінімізувати вміст баластних щодо пектину речовин.

Розроблений спосіб підготовки передбачає подрібнення коренеплодів цукрового буряку на мезгу, екстрагування розчинних речовин водою при температурі 30 °С у періодичному режимі з одночасною утилізацією цукрів методом цілеспрямованого зброджування на етанол культурою спиртових дріжджів *S.cerevisiae*. Визначено технологічні параметри зброджування бурякового суслу (табл.1). Встановлено, що розбавлення мезги водою у співвідношенні 1:1 та 1:1,5 забезпечує високий рівень технологічності та накопичення достатньої кількості етанолу для подальшого його виділення. Розмір частинок мезги становить  $(0,8...1,2) \cdot 10^{-3}$  м. Дослідження показали, що зброджування бурякової мезги до вмісту в ній цукру 0,4 % відбувається за 36...60 год.

Таблиця 1 – Технохімічні показники процесу зброджування

Мезга : вода	Вміст сахарози у буряку, %	Вміст незбро- джен- их цукрів, г/см <sup>3</sup>	Вміст сухих речовин, %		рН		Виділи- лося СО <sub>2</sub> , г/200 г	Вміст спирту, % об.
			Вих.	Кінц.	Вих.	Кінц.		
1,5 : 1	18,0	0,54	12,3	6,65	7,08	4,85	10,14	8,02
1 : 1	18,0	0,42	10,2	5,5	7,09	4,76	8,66	5,11
1 : 1,5	18,0	0,30	8,2	4,3	7,12	4,66	6,98	4,53
1 : 2	18,0	0,27	6,2	3,5	7,12	4,54	4,82	3,97

Аналіз якісного та кількісного вмісту домішок у бражному дистиляті показав, що отриманий етанол з такого дистиляту може бути використаний в технологічному процесі на подальших стадіях виділення та очищення пектину.

Цукровий буряк містить значну кількість білків (0,7 %), частина яких переходить у пектин в процесі його вилучення. Для забезпечення дріжджів азотним живленням і зниження вмісту білку у готовому продукті – пектині проведені дослідження по попередньому обробленню бурякового суслу протеолітичним ферментним препаратом нейтраза компанії «Новозім» (Данія). Встановлено, що ферментативне оброблення сприяє збільшенню бродильної активності дріжджів у порівнянні з контролем (табл. 2).



Таблиця 2 – Хіміко-технологічні показники зрілої бражки отриманої із використанням ферментного препарату протеази

Концентрація протеази, Пр3/г сировини	Виділилось CO <sub>2</sub> , г/200 г, через год.				Накопичення дріжджових клітин, млн/мл, через год.					Вміст спирту, % об.
	12	24	32	40	0	12	24	32	40	
Контроль	5,70	6,75	6,95	6,97	30	77	101	110	112	4,50
0,020	5,9	6,93	7,0	7,02	30	98	125	128	127	4,69
0,028	6,15	7,12	7,17	7,20	30	104	143	157	159	4,80
0,035	6,17	7,14	7,20	7,22	30	109	148	159	160	4,83

Досліджено вміст баластних речовин білкової природи у пектині із біохімічно підготовленої сировини. Процеси вилучення пектину супроводжуються одночасним екстрагуванням і коагуляцією білків – структурних складових бурякової тканини. Крім того, при зброджуванні бурякового суслу накопичується значна кількість дріжджової біомаси, яка може переходити в пектин при його вилученні. Визначено вміст та проаналізовано амінокислотний склад білкової фракції у зразках пектину: із зброженої бурякової мезги (I); із зброженої бурякової мезги, попередньо обробленої ферментним препаратом протеази (II); із бурякової мезги, знецукреної екстрагуванням (контроль) (табл.3).

Таблиця 3 – Вміст амінокислот та білку у пектині

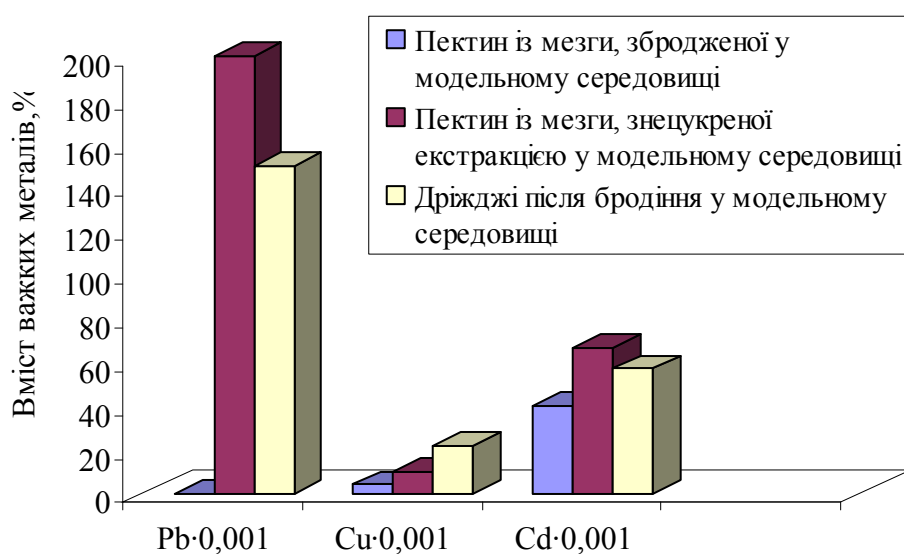
Амінокислоти та загальний білок	Вміст, %		
	Контроль	I	II
Лізін	0,6398	0,6436	0,3347
Гістидин	0,2502	0,2496	0,1523
Аргінін	0,2823	0,2819	0,1635
Оксипролін	0,8003	0,8218	0,5063
Аспарагін	0,3615	0,3487	0,2093
Треонін	0,3401	0,3641	0,2330
Серин	0,4182	0,4025	0,2254
Глутамін	0,5559	0,5773	0,3271
Пролін	0,3991	0,3871	0,2458
Гліцин	0,2225	0,2273	0,1341
Аланін	0,3236	0,3140	0,2031
Цистеїн	0,0298	0,0325	0,0194
Валін	0,2776	0,2682	0,1475
Метіонін	0,0578	0,0566	0,0364
Ізолейцин	0,1461	0,1328	0,0823
Лейцин	0,3026	0,3064	0,1747
Тирозин	0,4439	0,4235	0,2470
Фенілаланін	0,1754	0,1746	0,1048
<b>Загальний білок</b>	<b>6,0267</b>	<b>6,0125</b>	<b>3,5467</b>

За результатами досліджень встановлено, що вміст білку та амінокислотний склад у зразках пектину, вилученому із зброженої сировини, не відрізняється від відповідних показників контрольного зразка. Це свідчить про те, що в процесі гідролізу-екстрагування лізис дріжджових клітин не відбувається та їхні структурні білкові складові не переходять у пектиновий екстракт. Попереднє ферментативне оброблення бурякової мезги дозволяє знизити вміст білку у пектині на 41%.

Висока комплексоутворювальна активність бурякового пектину ускладнює його отримання в межах допустимих норм щодо токсичних елементів. Досліджено міграцію важких металів при вилученні пектину із бурякової мезги, знецукреної методом екстрагування, та із збродженої мезги (табл. 4 і рис.2.). Як модельне середовище використовували розчин солей такого складу:  $ZnCl_2$  (4,67 мг%),  $Pb(NO_3)_2$  (2,67 мг%),  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  (2,67 мг%),  $ZrOCl_2$  (4,00 мг%),  $CdSO_4$  (4,00 мг%),  $CrCl_3 \cdot 6H_2O$  (4,00 мг%).

Таблиця 4 – Вміст важких металів у вихідній сировині, пектині та дріжджах

№	Зразок	Вміст іонів важких металів, %					
		$Zn^{2+} \cdot 10^{-3}$	$Pb^{2+} \cdot 10^{-3}$	$Cu^{2+} \cdot 10^{-3}$	$Zr^{2+} \cdot 10^{-3}$	$Cd^{2+} \cdot 10^{-3}$	$Cr^{2+} \cdot 10^{-3}$
1	Коренеплоди цукрового буряку	1,1	0,01	0,075	0,15	0,08	0,012
2	Зброджена мезга непромита	20,1	40,0	2,2	6,24	40,0	3,0
3	Зброджена мезга промита	20,0	40,0	4,1	6,0	40,0	2,4
4	Мезга знецукрена екстрагуванням	20,0	24,0	3,0	10,0	40,0	3,2
5	Пектин із збродженої мезги	50,0	2,0	4,0	1,5	40,0	2,5
6	Пектин із мезги, знецукреної екстрагуванням	49,0	200,0	10,0	93,0	66,6	3,4
7	Вихідні дріжджі	1,4	0,62	0,32	1,4	0,4	1,1
8	Дріжджі після бродіння	43,0	150,0	22,0	93,0	57,2	8,6



Одержані результати показали: здатність зв'язувати метали у дріжджів вища, ніж у пектинових речовин, що дозволяє отримувати пектин із збродженої сировини за вмістом токсичних елементів нижче меж регламентованих вимог.

Рисунок 2 – Вміст іонів важких металів у пектині та дріжджах

В четвертому розділі «Розроблення способу вилучення пектину із біохімічно підготовленої сировини та дослідження його фізико-хімічних властивостей» сформульовано критерії оцінювання процесів вилучення пектину та представлено результати досліджень гідролітичного розщеплення протопектинового комплексу біохімічно підготовленої бурякової сировини, обґрунтовано й розроблено спосіб безперервного вилучення пектинових речовин та установку для його реалізації, представлено результати досліджень по модифікації бурякового пектину.

Для з'ясування впливу фізичного стану бурякової сировини та умов її гідролізу на вихід і аналітичні характеристики пектину проведені дослідження процесу гідролітичного розщеплення протопектину свіжого, висушеного та зброженого бурякового жому. Встановлені кінетичні залежності гідролізу бурякової сировини від рН та температури (рис. 3).

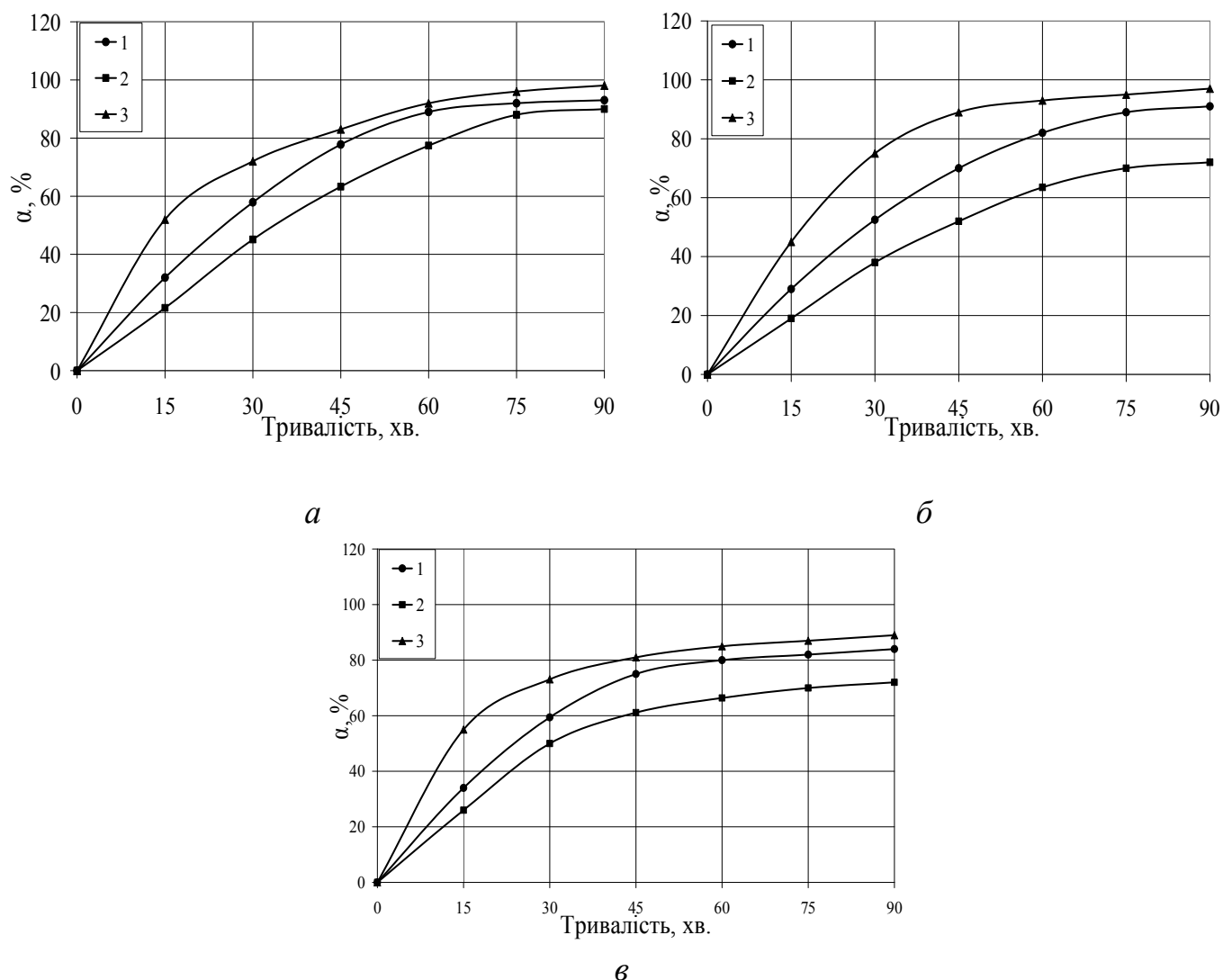


Рисунок 3 – Залежність ступеня гідролізу протопектину ( $\alpha$ ,%) бурякової сировини від тривалості процесу при параметрах: *a* – рН 1,0,  $t = 70$  °C; *б* – рН 1,5,  $t = 80$  °C; *в* – рН 1,8,  $t = 90$  °C; 1 – свіжий жом; 2 – висушений жом; 3 – зброжений жом.

Аналіз кінетичних залежностей показав, що ступінь гідролізу протопектину та швидкість процесу більші для зброженої бурякової сировини незалежно від умов гідролізу. Результати досліджень вилучених пектинів наведені в табл. 5 (БП1 – пектин із свіжого бурякового жому, БП2 – пектин із висушеного бурякового жому, БП3 – пектин із зброженої бурякової сировини).

Таблиця 5 – Вихід та аналітичні характеристики пектину

Показники	рН 1,0; t=70 °С			рН 1,5; t=80 °С			рН 1,8; t=90 °С		
	БП1	БП2	БП3	БП1	БП2	БП3	БП1	БП2	БП3
Вихід пектину, %	12,4	12,0	13,8	10,9	10,2	13,1	5,8	5,2	6,9
Вміст галактуранової кислоти, %	79,4	78,0	79,3	63,7	64,2	59,3	62,1	62,9	61,9
Вміст метоксильних груп, %	4,1	3,9	4,4	6,7	5,2	7,2	7,3	6,5	7,8
Вміст ферулових груп, %	0,14	0,10	0,15	0,31	0,22	0,52	0,44	0,28	0,53
Молекулярна маса	31100	27300	30900	35800	28400	46100	39100	34100	51000

За результатами проведених досліджень розроблено математичні моделі процесу гідролізу протопектину біохімічно підготовленої бурякової сировини для розрахунку виходу пектину ( $Y_1$ ) та вмісту ферулових груп ( $Y_2$ ) у ньому.

$$Y_1 = -5,13 + 9,10 \cdot x_1 - 0,11 \cdot x_2 + 0,41 \cdot x_3 + 0,13 \cdot x_1 \cdot x_2 - 63 \cdot x_1^2 - 2,58 \cdot 10^{-3} \cdot x_3^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,46 + 0,12 \cdot x_1 - 6,81 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 - 1,15 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 + 4,04 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,23 \cdot x_1^2 - 8,40 \cdot 10^{-3} \cdot x_3^2; \quad (2),$$

де:  $x_1$  – рН;  $x_2$  – температура, °С;  $x_3$  – тривалість, хв.

Аналіз моделі показує, що найбільший вплив на вихід і на вміст ферулових груп має рівень рН середовища. Зниження рН гідролізу призводить до підвищення виходу, а вміст ферулових груп у пектиновій молекулі навпаки збільшується з підвищенням рН. Підвищення температури та збільшення тривалості процесу позитивно відображаються на виході продукту, але негативно – на вмісті ферулових груп.

Використовуючи отримані математичні моделі, за допомогою узагальненого критерію оптимізації визначено значення оптимальних технологічних параметрів процесу гідролізу протопектину зброженої бурякової сировини: рН 1,47, температура  $t = 84$  °С, тривалість  $\tau = 71$  хв.

З метою удосконалення процесу гідролізу розроблено спосіб безперервного гідролізу-екстрагування та установку для його реалізації. Установка для безперервного процесу гідролізу включає батарею апаратів, які послідовно з'єднані між собою трубопроводом з теплообмінниками типу “труба у трубі”. Розміщення апаратів по низхідній дає можливість вивантажувати окремі апарати самопливом, а також їх промивати. Безперервний процес гідролізу-екстрагування складається з послідовних стадій, кожна з яких відбувається у окремому апараті установки, що дозволяє варіювати режимами процесу в одному технологічному циклі та отримувати пектини із заданими показниками.

Проведено дослідження по отриманню різних типів пектину з біохімічно підготовленої бурякової сировини: з проміжним відділенням пектинового екстракту (пектин тип 1 і тип 2) та з додаванням Трилону Б (ВОП) (табл. 6).

Для одержання двох типів пектину в одному технологічному циклі проводили гідроліз в дві стадії при різних режимах з проміжним відділенням пектинового екстракту: 1 стадія – рН 1,4...1,5,  $t = 75...80$  °С,  $\tau = 45...50$  хв. (пектин тип 1); 2 стадія – гідроліз під вакуумом при рН 1,1...1,2,  $t = 70...75$  °С,  $\tau = 40...45$  хв. (пектин тип 2).

Для отримання високоочищеного пектину (ВОП) проводили гідроліз у два етапи. Перший етап гідролізу тривав 40...45 хв. при параметрах рН 1,5...1,7,  $t = 70...75$  °С та розрідженні 80...85 кПа. При цьому відбувалося видалення вологи та концентрування іонів водню у гідролізній суміші (зниження значення рН до 1,2...1,3). На другому етапі вводили розчин Трилону Б (0,01...0,03 %) і продовжували гідроліз при рН 1,4...1,5,  $t = 70...75$  °С протягом 30...40 хв. Зразки отриманих пектинів порівнювали з контролем – пектином, виділеним із біохімічно підготовленої сировини при таких режимах гідролізу: рН 1,1...1,2,  $t = 70...75$  °С,  $\tau = 80...90$  хв. Результати досліджень представлені в табл. 6.

Таблиця 6 – Вихід, аналітичні характеристики бурякового пектину та вміст металів у ньому

Назва показника	Значення для пектину			
	Контроль	З проміжним відділенням екстракту		ВОП
		Тип 1	Тип 2	
Вихід, %	11,0	6,2	7,7	15,2
Вміст полігалактуронової кислоти, %	62,1	51,0	65,6	72,0
Вміст метоксильних груп, %	7,2	8,0	7,6	8,1
Ступінь етерифікації, %	37	53	42	56
Молекулярна маса	47000	51700	45800	51000
Комплексоутворювальна здатність, мг Pb <sup>2+</sup> /г	240,0	316,0	308,0	360,0
Вміст ферулових груп, %	0,3	0,56	0,25	0,2
Вміст металів, %:				
Ca <sup>2+</sup>	$3,4 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Mg <sup>2+</sup>	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Fe <sup>2+</sup>	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Cu <sup>2+</sup>	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Pb <sup>2+</sup>	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Zn <sup>2+</sup>	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Cd <sup>2+</sup>	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	–
<b>Σ</b>	<b>0,4275</b>	<b>0,2842</b>	<b>0,1062</b>	<b>0,041</b>

Удосконалені режими гідролізу дають змогу отримати цільовий продукт із високими виходом та якісними показниками при менших витратах хімічних реагентів, що, в свою чергу, відображається не тільки на собівартості пектину, але значно покращує екологічні умови виробництва.

Проведено дослідження по модифікації бурякового пектину методом його зшивання за допомогою ферменту пероксидази та пероксиду водню згідно з реакцією, особливістю якої є взаємодія залишків ферулової кислоти, що знаходяться в розгалужених фрагментах молекули бурякового пектину. Зшивання проводили в розчинах з масовою часткою пектину 1,0; 1,5 і 2,0 %.

Визначено реологічні характеристики розчинів модифікованого пектину. За експериментальними даними побудовано реологічні криві течії та ефективної в'язкості. Встановлено, що показники ефективної в'язкості 1,0 % розчину пектину при зшиванні зростають в 3,0...3,5 рази, 1,5 % розчину – майже в 7 разів.

Визначено комплексоутворювальну та вологоутримувальну здатності модифікованого пектину, значення яких склали відповідно 370 мг  $Pb^{2+}$ /г та 58 г води/г.

**У п'ятому розділі «Впровадження технології бурякового пектину із біохімічно підготовленої сировини»** описано розроблену технологію бурякового пектину, представлено апаратурно-технологічну схему, викладені розрахунки матеріального балансу, сформульовано вимоги до бурякового пектину, наведено розробки продуктів із застосуванням бурякового пектину.

Переробка коренеплодів цукрових буряків з отриманням пектину складається з 7 основних стадій, які здійснюються згідно з розробленою апаратурно-технологічної схеми (рис. 4).

У ТОВ «ПРОДСЕРВІС-ІР» і ТОВ «Пектин» (Черкаська обл.) проведені промислові випробування способу біохімічної підготовки бурякової сировини з подальшим вилученням пектину.

Результати науково-експериментальних досліджень і промислових випробувань покладено в основу розроблення експериментально-промислового регламенту виробництва бурякового пектину із коренеплодів цукрових буряків і проект нормативно-технічної документації на пектин буряковий (ТУУ 15.8-19492247-075:2011).

Розроблено харчові продукти з використанням бурякового пектину та пектинових екстрактів: паста кисломолочна «Лалі» (ТУУ 18019595-30-96), десерти соєві (ТУУ 15.8-31815341-002-2004), майонези соєві (ТУУ 15.8-31815341-003-2004), продукти соєві сквашені (ТУУ 15.8-31815341-004:2006); оздоровчі продукти: біологічно активна добавка фітопектиновий напій «Сузір'я Лева» (ТУУ 02070938.014-2000), сухі пектиновмісні суміші «Пектосан» (ТУУ 18019595-31-96).

Продукти впроваджено у виробництво на виробничих потужностях Броварського молокопереробного заводу та ТОВ «Солвей».

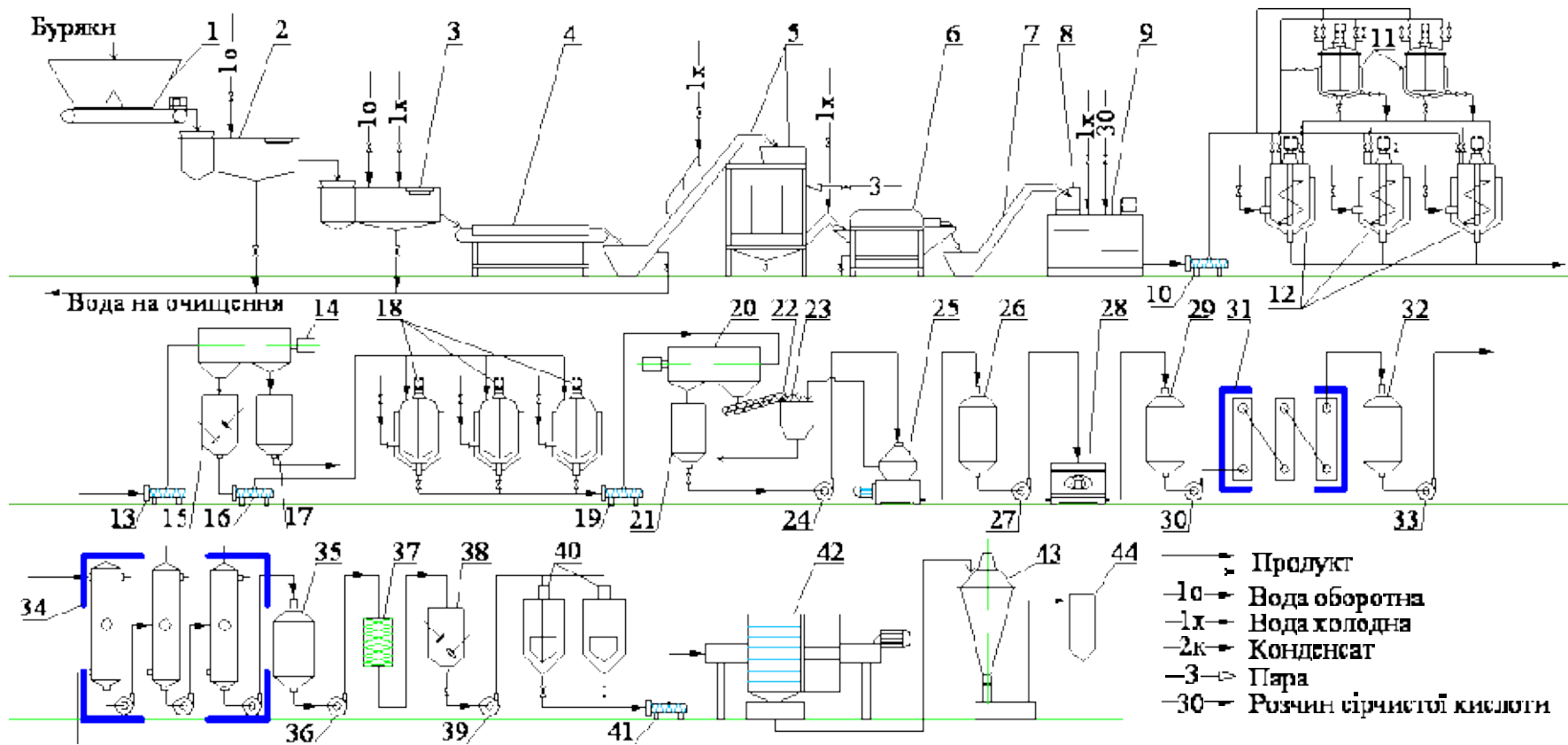


Рисунок 4 – Апаратурно-технологічна схема виробництва пектину із коренеплодів цукрових буряків  
 1 – бункер-ваги; 2,3 – барабанна мийна машина; 4 – інспекційний транспортер; 5 – паротермічний агрегат; 6 – мийна машина; 7 – елеватор; 8 – дробарка; 9 – ємкість для мезги; 10, 13, 16, 19, 41 – гвинтовий насос; 11 – дріжджогенератори; 12 – бродильні апарати; 14, 20 – декантер; 15 – ємність для жому; 17 – ємність для дріжджової суспензії; 18 – гідролізатори; 21 – збірник пектинового екстракту; 22 – транспортер; 23 – збірник для знепектиненого жому; 24, 27, 30, 33, 36, 39 – відцентровий насос; 25 – центрифуга; 26, 29, 32, 35, 38 – збірники; 28 – кізельгуровий фільтр; 31 – ультрафільтраційна установка; 34 – випарна установка; 37 – теплообмінник; 40 – коагулятор; 42 – прес «Bucher»; 43 – роторна сушарка; 44 – спиртоуловлювач.

## ВИСНОВКИ

На основі аналізу та узагальнення даних теоретичних і експериментальних досліджень способів підготовки сировини та основних технологічних процесів виробництва пектину обґрунтовано та розроблено технологію пектину із коренеплодів цукрових буряків.

1. Розроблено спосіб біохімічної підготовки бурякової сировини, який полягає в одночасному екстрагуванні та утилізації цукрів шляхом цілеспрямованого зброджування на етиловий спирт культурою спиртових дріжджів *S.cerevisiae* в періодичному режимі.

2. Встановлено технологічні параметри зброджування бурякового суслу. Суміш бурякової мезги з розміром частинок  $(0,8...1,2) \cdot 10^{-3}$  м і води у співвідношенні 1:1 і 1:1,5 зброджувалася культурою спиртових дріжджів *S.cerevisiae* раси К-7 протягом 36...60 год. Встановлено, що біохімічне знецукрення запобігає втраті пектинових речовин та їх молекулярній деструкції. Зниження рН середовища при зброджуванні з 7,12...7,08 до 4,54...4,85 дозволяє заощадити витрати кислот при гідролізі на 20...25 %. Визначено якісний та кількісний склад домішок бражного дистилляту, що довело можливість використання отриманого етанолу в процесах осадження та оброблення пектинового коагуляту.

3. Встановлено, що попереднє оброблення бурякової мезги ферментним препаратом протеази у кількості 0,028 Пр3/г сприяє збільшенню бродильної активності дріжджів і зменшує вміст білку у кінцевому продукті на 41 %.

4. Експериментально підтверджено, що біохімічна підготовка бурякової сировини дозволяє знизити вміст важких металів у пектині в 2...20 разів.

5. Досліджено процеси вилучення пектину із біохімічно підготовленої бурякової сировини, встановлено оптимальні параметри гідролізу-екстрагування для отримання пектину з вмістом ферулових груп 0,45...0,7 %, що збільшує його здатність до структуроутворення. На основі експериментальних даних розроблено математичну модель процесу гідролітичного розщеплення протопектину, що виражає залежність виходу пектину та вмісту ферулових груп у ньому від рН, температури та тривалості гідролізу.

6. За допомогою узагальненого критерію оптимізації визначено значення оптимальних технологічних параметрів процесу гідролізу протопектину збродженої бурякової сировини: рН 1,47, температура 84 °С, тривалість 71 хв.

7. Розроблено способи визначення комплексоутворювальної здатності пектинових речовин (патент України № 31512) та концентрації пектинових речовин з полярографічним закінченням (патент України № 29872).

8. Теоретично обґрунтовано та розроблено спосіб безперервного вилучення пектинових речовин та установка для його реалізації. Експериментально підтверджено інтенсифікацію процесів гідролізу-екстрагування пектину шляхом варіювання режимів на різних стадіях. Продемонстровано отримання в одному виробничому циклі різних видів цільового продукту при забезпеченні ступеня вилучення пектину на рівні 60...65 % від його загального вмісту у



вихідній сировині та зменшенні витрати хімічних реагентів на 45...55 %, що підвищує екологічну безпеку пектинового виробництва.

9. На підставі досліджень пероксид-пероксидазного зшивання бурякового пектину отримано його модифіковані форми та досліджено реологічні властивості їхніх розчинів, які відрізняються підвищеною в'язкістю у порівнянні з розчинами вихідного пектину. Встановлено, що показники в'язкості 1,0 % розчину пектину при зшиванні зростають в 3,0...3,5 рази, 1,5 % розчину – майже в 7 разів. Визначено комплексоутворювальну та вологоутримувальну здатності модифікованого пектину, значення яких склали 370 мг  $Pb^{2+}$ /г та 58 г води/г відповідно.

10. Розроблено принципову та апаратурно-технологічну схему вилучення пектину із біохімічно підготовленої бурякової сировини.

11. Проведено промислову апробацію розробленої технології бурякового пектину в ТОВ «ПРОДСЕРВІС-ІР» (Київська обл.) і ТОВ «Пектин» (Черкаська обл.), очікуваний річний економічний ефект від впровадження технології складатиме 270 тис. грн.

12. Розроблено та затверджено у встановленому порядку нормативно-технічну документацію на виробництво бурякового пектину та продуктів з пектином: біологічно активна добавка фітопектиновий напій “Сузір’я Лева” (ТУУ 02070938.014–2000); сухі пектиновмісні суміші “Пектосан” (ТУУ 18019595-31-96); паста кисломолочна “Лалі” (ТУУ 18019595-30-96); десерти соєві (ТУУ 15.8–31815341–002–2004); майонези соєві (ТУУ 15.8–31815341–003–2004); продукти соєві сквашені (ТУУ 15.8–31815341–004:2006). Проведено практичне впровадження розроблених продуктів у виробництвах Броварського молокопереробного заводу та ТОВ «Солвей».

### **СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Утилізація цукрів із бурякової пектиновмісної сировини у виробництві пектину / М.І. Сороколіт, В.М. Швець, І.О. Крапивницька, О.В. Кушнір // Цукор України. – 1995. – № 3. – С. 34.

2. Коллоидно-химические свойства технологических растворов свекловичного пектина и пектатов / О.О. Худайкулова, И.А. Крапивницкая, И.О. Клецкова, Е.В. Кушнір, С.А. Куличенко. // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 1998. – № 4. – С. 38–40.

3. Кушнір О.В. Вилучення пектину із свіжих коренеплодів цукрових буряків / О.В. Кушнір, І.О. Крапивницька // Експрес-новини – 1998.– № 17 – 18.– С. 9.

4. Кушнір О.В. Вплив технологічних параметрів процесу гідролізу протопектину бурякової сировини на вміст ферулових груп у пектиновій молекулі / О.В. Кушнір // Наукові праці УДУХТ. – 2001. – № 10. – С. 77.

5. Кушнір О.В. Дослідження процесу гідролізу протопектину біохімічно підготовленої бурякової сировини для отримання пектину / О.В. Кушнір, В.О. Мірошник // Цукор України. – 2007. – № 5 – 6 (54). – С. 36–38.

6. Кушнір О.В. Накопичення токсичних елементів у процесі вилучення пектину з біохімічно підготовленої сировини/ О.В. Кушнір, І.О. Крапивницька // Наукові праці НУХТ. – 2008. – № 24. – С. 56 – 57.

7. Стеценко Н.О. Реологічні властивості перехресно-зшитих пектинів із бурякової сировини / Н.О. Стеценко, О.В. Кушнір, І.О. Крапивницька // Цукор України. – 2010. – № 4(60). – С. 46 – 49.

8. Пат. № 21542 А Україна, 6МПК А 23L 1/0524. Спосіб одержання пектину з корене-, бульбоплодної сировини / Сороколіт М.І., Крапивницька І.О., Гулий І.С., Бобрівник Л.Д., Карпович М.С., Таран В.М., Гнатенко А.М., Кушнір О.В., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн.– № 95031202; заявл.16.03.95; опубл. 30.04.98, Бюл. № 2.

9. Пат. № 15406 А Україна, МПК А 23В7/14, А 23В7/156 Спосіб консервування вторинної пектиновмісної сировини/ Клецькова І.О., Крапивницька І.О., Кушнір О.В., Карпович М.С., Примак І.В., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 96041360; заявл. 08.04.96; опубл. 30.06.97, Бюл. № 3.

10. Пат. № 24639 А Україна., 6МПК А 23 С7/00 Спосіб одержання пектиновмісного харчового порошку / Клецькова І.О., Крапивницька І.О., Кушнір О.В., Худайкулова О.О., Гнатенко М.А., Гурська О.Ф., Гнатенко А.М., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 97063345; заявл. 27.06.97; опубл. 30.10.98, Бюл. № 5.

11. Пат. на винахід № 24623 А Україна, 6МПК А23С 9/12. Кисломолочна паста “Лалі”/ Крапивницька І.О., Кушнір О.В., Дарсалія Л.Д., Клецькова І.О., Мікая Т.Г., Дарсалія В.Д., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 97063290; заявл. 27.06.97; опубл. 30.10.98. Бюл. № 5.

12. Пат. № 32143 А Україна, 6МПК А 23L 1/0524, С 08В 37/06. Спосіб виробництва пектинового екстракту з наповнювачем / Крапивницька І.О., Гнатенко М.А., Мотченко О.П., Кушнір О.В., Купчик М.П., Свінціцька А.І., Гнатенко А.М., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 98126926; заявл. 28.12.98; опубл. 15.12.00, Бюл. № 7– 11.

13. Пат. № 31664 А Україна, 6МПК А 23L 1/0524, С 08В 37/06. Спосіб виробництва сухого пектинового екстракту / Крапивницька І.О., Мотченко О.П., Гнатенко М.А., Купчик М.П., Кушнір О.В., Худайкулова О.О., Свінціцька А.І., Клецькова І.О., Гнатенко А.М., Бандура І.М., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 98105422; заявл.15.10.98; опубл. 15.12.00, Бюл. № 7– 11.

14. Пат. № 31328 А Україна, 6МПК С 08В 37/06. Спосіб безперервного вилучення пектину із пектиновмісної сировини / Крапивницька І.О., Мотченко О.П., Кушнір О.В., Гулий І.С., Карпович М.С., Клецькова І.О., Худайкулова О.О., Свінціцька А.І., Гурська О.Ф., Бандура І.М., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 98084298; заявл. 06.08.98; опубл. 29,03.00, Бюл. № 2; 15.12.00, Бюл. № 7– 11.

15. Пат. № 30979 А Україна, 6МПК С 08В 37/06. Установа для проведення гідролізу-екстрагування / Крапивницька І.О., Гулий І.С., Мотченко О.П., Карпович М.С., Кушнір О.В., Худайкулова О.О., Клецькова І.О., Гнатенко М.А.,

Свінціцька А.І., Донченко Л.В., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 98063344; заявл. 26.06.98; опубл. 29.03.00, Бюл. №2; 15.12.00, Бюл. № 7– 11.

16. Пат. № 31332 А Україна, 6МПК А 23L 1/0524. Спосіб отримання пектиновмісного порошку і пектину із рослинної сировини / Клецькова І.О., Крапивницька І.О., Мотченко О.П., Кушнір О.В., Худайкулова О.О., Гурська О.Ф., Бандура І.М., Гнатенко М.А., Свінціцька А.І., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 98084302; заявл. 06.08.98; опубл. 29.03.00, Бюл. №2; 15.12.00, Бюл. № 7– 11.

17. Пат. № 31512 А Україна, 6МПК С 08В 37/06. Спосіб визначення комплексоутворюючої здатності пектинових речовин / Худайкулова О.О., Крапивницька І.О., Бобрівник Л.Д., Кабан О.П., Куліченко С.А., Кушнір О.В., Клецькова І.О., Бандура І.М., Цимбаленко О.А., Шляханова А.С., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 98094916; заявл. 18.09.98; опубл. 29.03.00; Бюл. № 2; 15.12.00. Бюл. № 7– 11.

18. Пат. № 29872 А Україна, 6МПК С 08В 37/06, А 23L 1/0524. Спосіб визначення концентрації пектинових речовин з полярографічним закінченням / Худайкулова О.О., Штокало М.Й., Крапивницька І.О., Кабан О.П., Куліченко С.А., Клецькова І.О., Кушнір О.В., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн.– № 97094661; заявл. 05.12.97; опубл. 15.11.00, Бюл. № 6–11.

19. Пат. на винахід № 45751 А Україна, 7МПК С08В37/06, С12G3/06. Фітопектиновий напій “Сузір’я Лева” / Крапивницька І.О., Кушнір О.В., Свінціцька А.І., Карпович І.В., заявник і патентовласник Укр. держ. унів-т харч. техн. – № 2001064360; заявл. 22.06.2001; опубл. 15.04.02, Бюл. № 4.

20. Пат. №. 31496 Україна, МПК А23L 1/0524. Спосіб отримання бурякового пектину / Кушнір О.В., Крапивницька І.О., Українець А.І., заявник і патентовласник Націон. унів-т харч. техн. – № u200714010; заявл. 13.12.2007; опубл. 10.04.2008. Бюл. № 7.

21. Пат. №.83984 Україна, МПК С08В 37/06. Спосіб одержання бурякового пектину / Кушнір О.В., Крапивницька І.О., Українець А.І., заявник і патентовласник Націон. унів-т харч. техн. – № а 2007 14015; заявл. 13.12.2007; опубл. 26.08.2008. Бюл. № 16.

22. Сороколіт М.І. Підготовка до перероблення пектиновмісної сировини /М.І. Сороколіт, І.О. Крапивницька, О.В. Кушнір // Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість: міжнародна науково-технічна конференція, 21–24 жовтня 1997 р.: матеріали конф. – Київ: УДУХТ, 1997. – С. 18.

23. Пектиновмісна біологічно-активна добавка – джерело харчових волокон / О.В. Кушнір, І.О. Крапивницька, О.І. Яловенко, О.П. Кабан // Досягнення сучасної фармації та перспективи її розвитку в новому тисячолітті: матеріали V національного з'їзду фармацевтів України. – Харків: 1999. – С. 684 – 685.

24. Кушнір О.В. Пектин із біохімічно обробленої сировини / О.В. Кушнір, І.О. Крапивницька, М.І. Сороколіт // Проблеми і перспективи створення і впровадження нових ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в

галузях харчової і переробної промисловості: матеріали Шостої міжнародна науково-технічної конференції. – Київ: УДУХТ, 2000. – С. 44.

25. Крапивницька І.О. Ресурсо- та енергозберігаюча технологія пектину з біохімічно підготовленої бурякової сировини / І.О. Крапивницька, О.В. Кушнір, Ф.В. Перцевий // Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодні та перспективи: міжнародна науково-практична конференція, 27–28 вересня 2010 р.: тези доповідей –К.: НУХТ, 2010. – Ч. 2 – С. 8.

#### Додатковий список публікацій

26. Кушнір О.В. Вміст азотистих речовин у пектині із біохімічно обробленої сировини / О.В. Кушнір, М.І. Сороколіт, Г.С. Мельник // Наукові праці УДУХТ. – 2001. – № 10. – С. 84 – 85.

27. Безперервне вилучення пектину із рослинної сировини / І.О. Крапивницька, М.С. Карпович, І.С. Гулий, О.В. Кушнір // Наукові праці УДУХТ. – 2001. – № 10. – С. 75 – 76.

28. Біологічно активна добавка – напій фітопектиновий "Сузір'я Лева" / І.О. Крапивницька, А.І. Свінцицька, О.В. Кушнір, І.М. Бандура, О.В. Цапко // Наукові праці УДУХТ. – 2001. – № 10. – С. 96.

29. Клецькова І.О. Ферментативне оброблення пектиновмісної сировини в процесі її підготовки / І.О. Клецькова, І.О. Крапивницька, О.В. Кушнір // Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість: міжнародна науково-технічна конференція, 21–24 жовтня 1997 р.: матеріали конф. – Київ: УДУХТ, 1997. – С. 18.

30. Технологічний регламент виробництва пектину із коренеплодів / М.С. Карпович, М.І. Сороколіт, І.О. Крапивницька, О.В. Кушнір // Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість: міжнародна науково-технічна конференція, 21–24 жовтня 1997 р.: матеріали конф. – Київ: УДУХТ, 1997. – С. 21.

31. Кушнір О.В. Сухі пектиновмісні суміші для профілактичного харчування / О.В. Кушнір, І.О. Крапивницька, Ю.Ю. Куянов // Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість: міжнародна науково-технічна конференція, 21–24 жовтня 1997 р.: матеріали конф. – Київ: УДУХТ, 1997. – С. 22-23.

32. Виробництво пектиновмісної кисломолочної пасти / О.В. Кушнір, І.О. Крапивницька, В.О. Ромоданова, Л.Д. Дарсалія, М.С. Карпович // Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість: міжнародна науково-технічна конференція, 21–24 жовтня 1997 р.: матеріали конф. – Київ: УДУХТ, 1997. – С. 23.

*Особистий внесок:* пошук і аналіз літературних і інформаційних джерел [1–7, 26–32], патентний пошук [8–21], постановка та проведення експериментальних досліджень, оброблення результатів [3–7, 8–16, 26, 27], підготовка експериментальних зразків [2, 17, 18] розроблення математичних моделей [5], розроблення рецептур і технологій [28, 11, 19, 23, 31, 32], підготовка та оформлення матеріалів до публікації [3–8, 14, 15, 19–32].

## АНОТАЦІЯ

**Кушнір О. В. Розроблення ефективної технології пектину із коренеплодів цукрових буряків. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.05. – технологія цукристих речовин та продуктів бродіння. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2012.

Дисертація присвячена проблемі розроблення сучасної комплексної технології бурякового пектину.

В дисертації обґрунтовано використання та представлені результати досліджень способу біохімічної підготовки коренеплодів цукрового буряку, доведені переваги розробленого способу для отримання пектину високої якості. Розроблено математичні моделі гідролітичного розщеплення протопектинового комплексу біохімічно підготовленої бурякової сировини, сформульовано засади та розроблено спосіб безперервного вилучення пектину та установку для його реалізації. Наведені результати досліджень по модифікації бурякового пектину.

Представлено розроблену апаратурно-технологічну схему виробництва бурякового пектину, викладені розрахунки матеріального балансу, сформульовані вимоги до бурякового пектину, наведені розробки продуктів із застосуванням бурякового пектину.

**Ключові слова:** буряковий пектин, протопектин, екстрагування, зброджування, протеолітичний ферментний препарат, гідролітичне розщеплення, ферулоєфірні групи, перехресне зшивання.

## АННОТАЦИЯ

**Кушнир Е.В. Разработка эффективной технологии пектина из корнеплодов сахарной свеклы. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискания ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.05. – технология сахаристых веществ и продуктов брожения. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2012.

Диссертация посвящена проблеме разработки современной комплексной технологии свекловичного пектина.

На основании анализа и обобщения теоретических и экспериментальных данных исследований обоснована, разработана и апробирована в производственных условиях технология производства пектина из корнеплодов сахарной свеклы.

Проанализированы современные способы получения свекловичного пектина; способы подготовки и консервирования сырья, процессы извлечения пектиновых веществ, осаждения, очистки и высушивания пектина. Представлены аспекты использования свекловичного пектина, как пищевой добавки, так и биологически активного вещества.

В разработку технологии вошли исследования по биохимической подготовке свекловичного сырья, заключающиеся в одновременной экстракции и утилизации сахаров методом направленного сбраживания на этиловый спирт культурой спиртовых дрожжей *S.cerevisiae* в периодическом режиме. Установлены технологические параметры сбраживания свекловичного сусла:

смесь свекловичной мезги с размерами частичек  $(0,8...1,2) \cdot 10^{-3}$  м и воды при соотношении 1:1 и 1:1,5 сбраживалась культурой спиртовых дрожжей *S.cerevisiae* расы К-7 на протяжении 36...60 часов. Снижение рН при сбраживании с 7,12...7,08 до 4,54...4,85 сокращает расход кислот при гидролизе на 20...25 %. Определены качественный и количественный состав примесей бражного дистиллята, что подтвердило возможность использования полученного этанола в процессах осаждения и обработки пектинового коагулята.

Проведены исследования по предварительной обработке свекловичной мезги ферментным препаратом протеазы; установлено увеличение бродильной активности дрожжей и снижение содержания белка в конечном продукте – пектине на 41 %.

Экспериментально подтверждено, что биохимическая подготовка свекловичного сырья позволяет снизить содержание тяжелых металлов в пектине в 2...20 раз.

Исследованы процессы извлечения пектина из биохимически подготовленного свекловичного сырья. Установлены оптимальные параметры гидролиза-экстрагирования для извлечения пектина с содержанием феруловых групп 0,45...0,7 %. На основании экспериментальных данных разработана математическая модель процесса гидролитического расщепления протопектина, выраженная зависимостью выхода пектина и содержания феруловых групп в нем от рН, температуры и продолжительности гидролиза.

При помощи обобщенного критерия оптимизации определены значения оптимальных технологических параметров процесса гидролиза протопектина сброженного свекловичного сырья. Оптимальными параметрами гидролиза являются рН 1,47, температура 84 °С, продолжительность 71 мин.

Теоретически обоснованы и разработаны способ непрерывного извлечения пектина и установка для его реализации. Экспериментально подтверждена интенсификация процессов гидролиза-экстрагирования пектина путем варьирования режимов на разных стадиях. Продемонстрирована возможность получения в одном производственном цикле разных видов целевого продукта, обеспечения степени извлечения пектина на уровне 60...65 % от его общего содержания в исходном сырье, уменьшения расхода химических реагентов на 45...55 %, что повышает экологическую безопасность пектинового производства.

На основании исследований пероксид-пероксидазной сшивки свекловичного пектина получены его модифицированные формы. Исследованы реологические свойства растворов модифицированного пектина, отличающиеся повышенной вязкостью по сравнению с растворами исходного пектина. Установлено, что показатели эффективной вязкости 1,0 % раствора пектина при сшивке увеличиваются в 3,0...3,5 раза, 1,5 % раствора – практически в 7 раз. Определены комплексообразующая и влагоудерживающая способности модифицированного пектина, значения которых составили 370 мг  $Pb^{2+}$ /г и 58 г воды/г соответственно.

Представлена разработанная аппаратно-технологическая схема производства свекловичного пектина, изложены расчеты материального баланса, сформулированы требования к свекловичному пектину, приведены разработки продуктов с применением свекловичного пектина.

**Ключевые слова:** свекловичный пектин, протопектин, экстрагирование, сбраживание, протеолитический ферментный препарат, гидролитическое расщепление, ферулоэфирные группы, перекрестная сшивка.

#### ANNOTATION

**Kushnir O.V. The development of effective technology of pectin from sugar beet roots. – Manuscript.**

Thesis for Candidate of Technical Sciences Degree, Speciality 05.18.05 – Technology of Sugary Substances and Fermentation Products. – National University of Food Technologies, Kyiv, 2012.

The dissertation is devoted to a problem of development of modern complex technology of sugar beet pectin.

In the dissertation use is proved and results of researches of a method of biochemical preparation of sugar beet roots are presented, advantages of the developed method to receiving quality pectin are proved. It is developed mathematical models of hydrolytic splitting of a protopectin complex biochemical the prepared raw materials, it is formulated principles and are developed a method of continuous extraction of sugar beet pectin and installation for its realization. Results of researches of updating of sugar beet pectin are given.

It is presented the developed hardware and technological scheme of production of sugar beet pectin, calculations of material balance are stated, requirements to sugar beet pectin are formulated, development of products with application of sugar beet pectin is given.

**Keywords:** sugar beet pectin, protopectin, extraction, fermentation, hydrolytic decomposition, proteolytic enzyme, cross linking of pectin molecules.