

**НИЧИК ОКСАНА ВАСИЛІВНА**

УДК 664.164

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНВЕРТНИХ СИРОПІВ  
ГІДРОЛІЗОМ ЦУКРОЗИ КЛЕРОВОК ЖОВТОГО ЦУКРУ**

05.18.05 – Технологія цукристих речовин

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

КИЇВ – 2005

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор,  
Штангєєва Надія Іванівна,  
Національний університет харчових технологій,  
професор кафедри технології цукристих речовин

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук,  
Міщук Ромуальд Цезаревич,  
Український науково-дослідний інститут  
цукрової промисловості, головний науковий  
співробітник

кандидат технічних наук,  
Михайлик В'ячеслав Аврамович  
Інститут технічної теплофізики НАН України,  
провідний науковий співробітник

**Провідна установа:** Інститут харчової хімії та технології НАН України,  
м. Київ

Захист відбудеться “        ” березня 2005 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.04 Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ-33, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033 м. Київ-33, вул. Володимирська, 68

Автореферат розісланий \_\_\_\_\_ 2005 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, к.т.н.

О.В. Кобилінська

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми.** Несприятлива екологічна ситуація в Україні та поступовий перехід суспільства до здорового способу життя вимагають ефективного вирішення питання створення технологій продуктів профілактичного харчування. В раціоні людини широко використовуються рафіновані харчові продукти, позбавлені природних біологічно-активних речовин вихідної сировини. Заміна складних комплексів речовин, створених природою, чистими речовинами, зокрема цукром, який містить 99,75% цукрози має несприятливий вплив на організм. Тому розроблення технології інвертного сиропу на основі напівпродуктів цукрового виробництва, в якому в максимальній кількості збережені макро-, мікроелементи та амінокислоти цукрових буряків, є водночас комплексним вирішенням проблеми одержання харчового продукту профілактичного призначення, збагаченого природними біологічно-активними речовинами та розширення асортименту продукції, яка на даний момент виробляється цукровою промисловістю України.

Цій важливій проблемі присвячується дисертаційна робота, яка виконана в Національному університеті харчових технологій.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема даної дисертаційної роботи є складовою частиною плану кафедральної держбюджетної науково-дослідної тематики “Розроблення, удосконалення, інтенсифікація та оптимізація технологічних процесів, апаратного оформлення у цукровому та крохмалепатоковому виробництві”. Робота виконувалась у відповідності з розділом 6 “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та аграрно-промисловому комплексі” Закону України “Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки” згідно тематики науково-дослідних робіт УкрНДЦП “Розробити технологію одержання нових видів цукровмісної продукції зі збереженням натуральних речовин”

Автор особисто приймала участь у розробленні методик, проведенні лабораторних та промислових досліджень, обробленні та аналізі отриманих результатів, розробленні технічної документації.

**Мета і задачі досліджень.** Мета роботи полягає в удосконаленні технології інвертних сиропів з клеровок жовтих цукрів шляхом розроблення ефективних способів очищення напівпродуктів цукрового виробництва та гідролізу цукрози, що забезпечують високу біологічну цінність та мікробіологічну чистоту готового продукту.

У відповідності з поставленою метою були сформульовані основні задачі роботи:

- оцінка існуючих і вибір найбільш ефективних способів очищення клеровок жовтих цукрів, гідролізу цукрози очищених клеровок та стерилізації цукровмісних продуктів з метою отримання інвертних сиропів;
- розроблення ефективних способів очищення клеровок жовтих цукрів;
- дослідження перебігу реакцій кислотного та ферментативного гідролізів цукрози клеровок жовтих цукрів;

- розроблення способів інтенсифікації процесу гідролізу цукрози за допомогою дії фізичних впливів;
- дослідження якісних показників готового продукту;
- розроблення проекту технічної документації на готовий продукт. – інвертний сиропів з клеровок жовтого цукру.

*Об'єкт дослідження* – способи очищення клеровок жовтих цукрів, їх стерилізація, способи інверсії цукрози та їх інтенсифікація.

*Предмет дослідження* – процес гідролізу цукрових розчинів, клеровка та інвертний сироп.

*Методи дослідження* – традиційні та спеціальні фізико-хімічні і мікробіологічні методи оцінки якості продуктів, ефективності застосування реагентів, ферментів, фізичних впливів для очищення, інтенсифікації процесу гідролізу цукрози та інактивації мікроорганізмів клеровок жовтих цукрів, методи оптимізації та математичного оброблення експериментальних даних.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Встановлена ефективність застосування перекису водню та моноамонійфосфату при очищенні клеровок жовтих цукрів.

Експериментально встановлена ефективність застосування гідроксохлориду алюмінію  $Al_2(OH)_5Cl$  (торгова назва “Полвак”) при очищенні клеровок жовтих цукрів.

Із застосуванням комп'ютерної техніки розроблені математичні моделі процесу очищення клеровок, які дозволяють контролювати та регулювати його перебіг.

Встановлено, що в результаті дії надвисокочастотного опромінення відбувається скорочення тривалості кислотного гідролізу клеровок жовтих цукрів, що дає змогу отримати інвертний сироп з підвищеним вмістом редукувальних речовин та мінімальним вмістом оксиметилфурфуролу.

Вивчено процес ферментативного гідролізу цукрози клеровок жовтих цукрів ферментом Invertin та встановлені оптимальні умови інтенсифікуючого впливу ультразвукових коливань на процес інверсії.

Встановлено, що в результаті гідролізу клеровок жовтих цукрів можна отримати інвертний сироп, збагачений мікро-, макроелементами та амінокислотами вихідної сировини.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропонована удосконалена технологія інвертного сиропу, отриманого гідролізом цукрози клеровок жовтих цукрів. Реалізація технології дозволяє отримати цінний продукт, збагачений натуральними біологічно-активними речовинами цукрових буряків та сприяє розширенню асортименту продукції цукрової галузі.

Розроблений і випробуваний в заводських умовах спосіб очищення клеровок жовтих цукрів із застосуванням в якості коагулянту гідроксохлориду алюмінію, на який отримано деклараційний патент на винахід №45831А від 15.04.2002р. Економічний ефект від застосування коагулянту складає 274275 грн на рік для заводу потужністю 2300 тонн перероблення буряків на добу.

На основі результатів досліджень розроблено проект технічних умов на інвертний сироп з клеровок жовтого цукру та проект технологічної інструкції на його виробництво

**Особистий внесок здобувача** в отриманні наукових результатів полягає в розробленні методик досліджень в лабораторних та промислових умовах, проведенні лабораторних досліджень, обробленні і узагальненні їх результатів, безпосередній участі в організації і проведенні промислових досліджень, підготовці до публікації результатів експериментальних досліджень, розробленні способів, на які отримано два деклараційні патенти на винахід.

Розроблення способів інтенсифікації процесу гідролізу цукрози та інактивація мікроорганізмів цукрових розчинів виконано у співавторстві з к.ф.-м.н. Носенком В.Є.

Обговорення, аналіз та узагальнення результатів досліджень проведено з науковим керівником д.т.н. Штангєєвою Н.І.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи апробовано на 64-й, 66-й, 67-й, 69-й наукових конференціях УДУХТ та 7-й Міжнародній науково-технічній конференції “Пріоритетні напрями впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання та нових видів продуктів оздоровчого та профілактичного призначення” (Київ УДУХТ 2001), II міжнародній науково-технічній конференції “Техніка та технологія харчових виробництв” (республіка Беларусь, Могилів 2000), Науково-практичній конференції “Перспективні напрямки розвитку харчової промисловості” (Одеса ОЦНТЕІ 2003).

**Публікації.** По темі дисертаційної роботи опубліковано 12 друкованих праць, в тому числі 5 статей у наукових фахових виданнях, перелік яких затверджено Вищою атестаційною комісією України, 2 деклараційних патенти на винахід та 5 тез доповідей наукових конференцій.

**Структура і об’єм роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Робота викладена на 142 сторінках основного тексту, містить 26 рисунків і 23 таблиці. Список використаної літератури включає 134 вітчизняних і зарубіжних джерела.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету та задачі досліджень, охарактеризовано наукову та практичну цінність роботи.

У **першому розділі “АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД”** наведені результати теоретичних досліджень впливу вуглеводів на життєдіяльність людини, проаналізовано склад жовтого цукру і обґрунтовано його вибір для виробництва інвертних сиропів. Розглянуті відомі способи очищення клеровок жовтих цукрів та способи гідролізу цукрози. Проведено аналіз відомих

фізичних впливів, що застосовуються в харчовій промисловості, та вивчено їх дію на харчові продукти.

Вибрані основні напрямки та сформульовані конкретні задачі досліджень.

У другому розділі **“ОБ’ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ”** наведено характеристику об’єктів та методів досліджень.

Дослідження якості клеровки та інвертного сиропу здійснювали за загальноприйнятими та спеціальними методиками.

Якісний та кількісний склад вуглеводів інвертного сиропу визначали хроматографічним методом. Кількісний і видовий склад мікроорганізмів продуктів досліджували методом висіву проб на живильні середовища в чашки Петрі.

Склад мікроелементів інвертного сиропу досліджували за допомогою методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Якісний і кількісний склад амінокислот досліджували за методом іонообмінної хроматографії на автоматичному аналізаторі амінокислот.

При проведенні ферментативного гідролізу цукрози за допомогою біологічного каталізатора використовували інвертазовмістний фермент INVERTIN фірми MERSK, активність якого періодично визначали за методом Самнера. Контроль за вмістом оксиметилфурфуролу здійснювали спектрофотометричним методом.

Наведено схему установки для здійснення впливу хвиль надвисокої частоти на продукти а також основні характеристики надвисокочастотної установки та ультразвукового пристрою “Медитон”.

У третьому розділі **“РОЗРОБЛЕННЯ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ КЛЕРОВОК ЖОВТИХ ЦУКРІВ”** наведено результати досліджень очищення та знебарвлення клеровок жовтого цукру за розробленими способами. Необхідність очищення клеровок жовтого цукру для отримання інвертних сиропів пов’язана з тим, що вони мають значну забарвленість, високий вміст солей кальцію та речовин колоїдної дисперсності.

Перший спосіб включає одночасне знебарвлення і видалення солей кальцію та речовин колоїдної дисперсності, з застосуванням перекису водню як окисника і моноамонійфосфату, який є джерелом фосфат-іонів. Знебарвлення за допомогою перекису водню відбувається за рахунок переходу забарвлених речовин у безбарвні лейкополуки. Використання окисника викликає зниження рН розчинів цукру. При цьому відбувається часткове розкладання цукрози, що міститься у клеровці жовтого цукру, до моноцукридів, у результаті чого зменшуються витрати кислоти при подальшому кислотному гідролізі. Ефективність застосування перекису водню як знебарвлюючого так і антисептичного реагента, наведена в таблиці 1.

Залежність ефектів знебарвлення та видалення мікроорганізмів клеровки від витрат перекису водню

Показник	Величина показника				
	0,0035	0,0040	0,0045	0,0050	0,0055
Витрати $H_2O_2$ , до маси сухих речовин клеровки, %	0,0035	0,0040	0,0045	0,0050	0,0055
Забарвленість, од.опт.густ.	1342	1324	1308	1289	1317
Ефект знебарвлення, %	7,4	8,7	9,2	10,8	9,3
Кількість мікроорганізмів, КУО в 1 г клеровки після оброблення $H_2O_2$	$2,1 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	$1,9 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$
Ефект видалення мікроорганізмів, %	16,0	20,0	24,0	28,0	36,0
pH	6,6	5,4	4,2	3,9	3,5

В процесі очищення клеровки жовтого цукру фосфат-іони, реагуючи з органічними солями кальцію, утворюють осади основної і кислій солей фосфорної кислоти. Адсорбційна здатність фосфату кальцію більша, ніж карбонату кальцію, тому утворений осад в момент кристалізації додатково адсорбує з розчину забарвлені та колоїдно-дисперговані речовини. Ефективність видалення солей кальцію та речовин колоїдної дисперсності наведено в таблиці 2. Дані таблиці 2 свідчать, що оптимальні витрати реагентів – перекису водню складають 0,0045 %, моноамонійфосфату 0,5 % до маси СР продукту. В результаті застосування запропонованого способу одночасного впливу двох реагентів ефект знебарвлення клеровок становить 52,5%, ефект очищення – 20,7%.

Другий спосіб передбачає вплив на клеровки жовтих цукрів коагулянту “Полвак” – гідроксохлориду алюмінію. Встановлено, що під час введення реагенту в розчин в результаті гідролізу утворюються гідрофобні колоїдні системи, які завдяки присутності в цукрових розчинах електролітів і протилежно заряджених часток високомолекулярних сполук коагулюють з утворенням пластівців гідроксиду алюмінію, які сорбують на своїй поверхні нецукри та забарвлені речовини.

Таблиця 2

Залежність вмісту солей кальцію та речовин колоїдної дисперсності клеровки від витрат моноамонійфосфату

Показник	Величина показника						
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10
Витрати моноамонійфосфату, % до маси СР продукту	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10
Вміст солей $Ca^{2+}$ , % СаО на 100 г СР	0,38	0,29	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17
Вміст речовин колоїдної дисперсності, % на 100 г СР	0,040	0,038	0,022	0,021	0,020	0,108	0,018

Для встановлення оптимального режиму очищення клеровки коагулянт “Полвак” проведені дослідження згідно з планом трьохфакторного експерименту. Як основні фактори, що впливають на процес очищення клеровки приймали:  $t$  – температура процесу очищення, °С,  $\tau$  – тривалість процесу очищення, хвилин,  $c$  – витрати коагулянту, % до маси сухих речовин клеровки. Для оцінки ефективності процесу очищення клеровки були обрані наступні локальні критерії: забарвленість (Зб) та чистота (Ч) клеровок. Для розроблення математичної моделі було застосовано матрицю рототабельного плану із “зоряними точками”. В результаті отримані наступні рівняння:

залежність забарвленості очищених клеровок від температури ( $t$ ), тривалості ( $\tau$ ) процесу і витрат коагулянту ( $c$ ).

$$\text{Зб} = 1345,98 - 13,4443 \cdot t - 601,4495 \cdot c - 23,10306 \cdot \tau + 2,133 \cdot t \cdot c + 0,065 \cdot t^2 + 135,849 \cdot c^2 + 0,3504 \cdot \tau^2$$

залежність чистоти очищених клеровок від температури, тривалості процесу і витрат коагулянту.

$$\text{Ч} = 80,378 + 0,1448 \cdot t + 11,8742 \cdot c - 0,043 \cdot t \cdot c - 0,001975 \cdot t \cdot \tau - 0,10389 \cdot c \cdot \tau - 0,0006225 \cdot t^2 - 3,5577 \cdot c^2.$$

Таким чином, за допомогою узагальненого критерія оптимізації методом Кохрена визначені значення оптимальних параметрів процесу очищення клеровок: витрати коагулянту “Полвак”-0,57 % до маси продукту, температура процесу 84°С, тривалість 10 хвилин. Встановлено, що використання розробленого способу забезпечує ефект знебарвлення клеровок – 25...35%, ефект очищення – 20,6...30,7%. Якісні показники клеровок, очищених коагулянтм з різною відносною основністю, наведені в таблиці 3.

У результаті проведених досліджень встановлено високу ефективність антисептичної дії ультразвукових коливань та ультрафіолетового опромінення на мікрофлору клеровки жовтих цукрів. Ефект інактивації мікроорганізмів в результаті дії ультразвукових коливань становить 81...83%, 88...98% – в результаті опромінення ультрафіолетовим промінням.

**У четвертому розділі “УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНВЕРТНОГО СИРОПУ З ОЧИЩЕНИХ КЛЕРОВОК ЖОВТИХ ЦУКРІВ”** наведено результати досліджень гідролізу цукрози клеровок жовтих цукрів.

Аналіз відомих способів одержання інвертних сиропів показав, що найбільш поширеними є технології, які ґрунтуються на розщепленні цукрози на фруктозу та глюкозу неорганічними та органічними кислотами. Ці способи гідролізу досить ефективні, оскільки процес недовготривалий.



Таблиця 3

Залежність якісних показників очищених клеровок від витрат коагулянту  
“Полвак” (гідроксохлориду алюмінію)

№ досл.	Витрати коагулянту,% до маси сухих речовин продукту	pH	Чистота,%	Ефект знебарвлення,%	Масова частка редукувальних речовин клеровки,%	Ефект очищення,%
<b>Полвак – 80</b>						
1	0,25	7,88	93,1	16,58	0,275	4,5
2	0,5	7,64	94,7	29,96	0,276	27,8
3	0,75	7,45	94,9	31,42	0,275	30,7
4	1,0	7,00	95,1	32,95	0,274	33,6
5	1,25	6,87	94,3	33,08	0,278	22,1
<b>Полвак – 68</b>						
1	0,25	8,14	93,1	13,21	0,283	4,5
2	0,5	7,70	94,2	22,74	0,288	20,6
3	0,75	7,56	94,7	24,52	0,285	27,8
4	1,0	7,25	95,0	26,31	0,285	32,16
5	1,25	7,10	94,1	26,50	0,286	19,2
<b>Полвак – 40</b>						
1	0,25	8,42	92,9	9,82	0,306	1,5
2	0,5	8,13	93,1	16,38	0,310	4,5
3	0,75	7,95	93,2	21,58	0,312	6,0
4	1,00	7,65	93,1	25,64	0,315	4,5
5	1,25	7,44	92,8	25,81	0,320	0,8

Недоліком способу є те, що в результаті кислотного гідролізу отримують сиропи зі ступенем інверсії не більше 50%, що обумовлено небезпекою утворення оксиметилфурфуролу, але після ретельного дослідження та здійснення процесу інтенсифікації даного способу гідролізу жовтого цукру його можна застосовувати для виробництва сиропів, споживання та використання яких не передбачає повного гідролізу продукту.

Встановлено оптимальні параметри проведення інверсії цукрози очищених клеровок жовтих цукрів лимонною кислотою, при яких спостерігається максимальне утворення редукувальних речовин (рис.1) та мінімальне утворення оксиметилфурфуролу: витрати лимонної кислоти – 0,2 % до маси сухих речовин, тривалість 2 години при температур 90-95°C.

Одним з варіантів отримання інвертного сиропу з мінімальним вмістом оксиметилфурфуролу та максимальним вмістом редукувальних речовин є скорочення тривалості процесу внаслідок швидкого і рівномірного підвищення температури, яке відбувається в результаті дії полів надвисокої частоти. Грунтуючись на цьому розроблено спосіб інтенсифікації процесу кислотного гідролізу обробленням очищеної клеровки променями НВЧ.

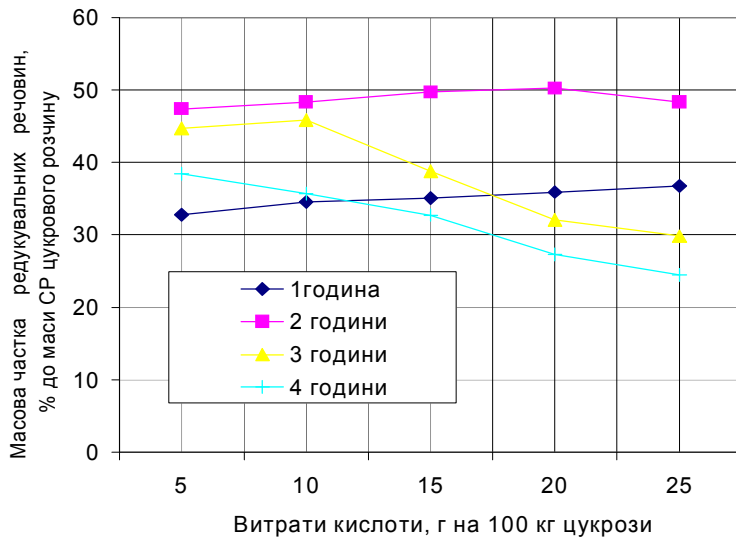


Рис. 1. Залежність масової частки редуковувальних речовин від витрат кислоти на гідроліз.

порівнянні з традиційним способом, прискорення кислотного гідролізу цукрових розчинів. Це обумовлено виникненням у середовищі, яке знаходиться під впливом НВЧ-енергії мікрообластей з високими термодинамічними потенціалами. Результатом цього є швидке і рівномірне підвищення температури по всьому об'єму і, як наслідок, прискорення

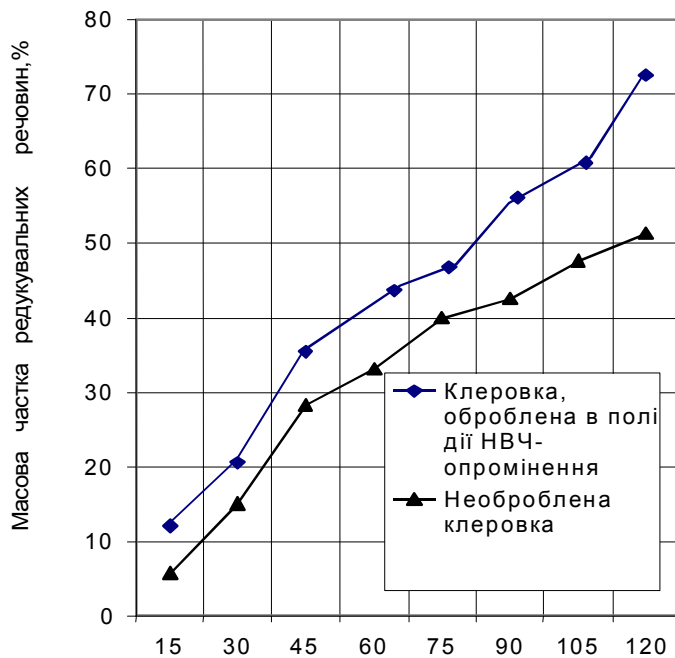


Рис. 2. Динаміка накопичення редуковувальних речовин при кислотному гідролізі обробленої і необробленої в полі дії НВЧ-опроміювання клеровки жовтого цукру.

Встановлено, що попереднє імпульсне оброблення клеровки променями НВЧ протягом 180 с викликає скорочення тривалості процесу кислотного гідролізу від 120 хвилин до 90. При цьому ступінь інверсії підвищується від 51,2 до 59,3 %, що неможливо досягнути без використання НВЧ внаслідок небезпеки утворення оксиметилфурфуролу. Експериментальні дані свідчать про те, що під дією електромагнітного поля надвисокої частоти відбувається значне, у гідролітич-их реакцій. На рисунку 2 наведена динаміка накопичення редуковувальних речовин при кислотному гідролізі обробленої протягом 180 с і необробленої в полі дії НВЧ-опроміювання клеровки жовтого цукру.

Оскільки метою роботи є одержання сиропу з максимальною кількістю редуковувальних речовин, що неможливо досягнути кислотним гідролізом цукрози в результаті небезпеки утворення оксиметилфурфуролу, то в роботі розроблено спосіб ферментативного гідролізу

очищених клеровок жовтих цукрів, застосування якого забезпечує практично повне розкладання цукрози. Експериментальним шляхом встановлені оптимальні параметри проведення інверсії: витрата ферменту – 10...20 од.акт./ г цукрози; масова частка сухих речовин субстрату – розчину цукрози – 65...70%; температура – 50...55°C; рН – 4,5...5,0.

В залежності від того, з яким ступенем інверсії необхідно отримати сиропи, тривалість процесу становить для ступеню гідролізу 50...60% – 4...9 годин; 80...100% – 8...20 годин, про що свідчать результати досліджень, наведені на рисунку 3.

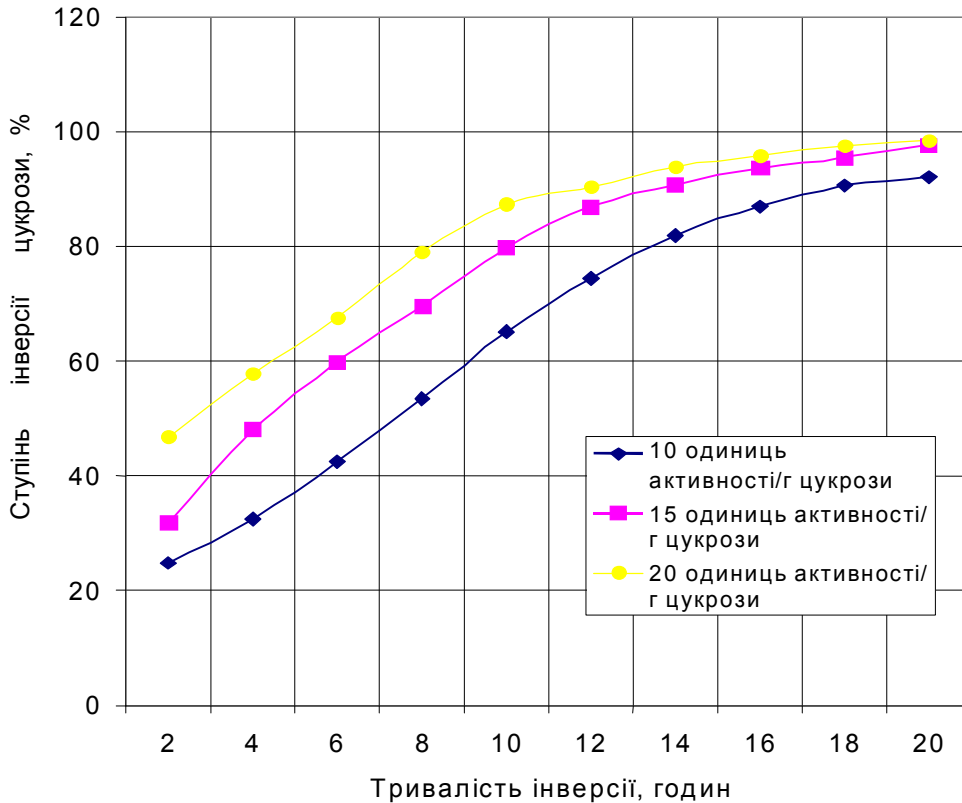


Рис.3.Залежність ступеню інверсії цукрози від тривалості ферментативного гідролізу для різних витрат ферменту

Оскільки спосіб одержання інвертних сиропів із застосуванням ферментів довготривалих, то було розроблено спосіб інтенсифікації процесу ферментативного гідролізу очищених клеровок обробленням ультразвуковими коливаннями. Залежність ступеню інверсії цукрози до редукувальних речовин від тривалості оброблення ультразвуковими коливаннями наведено на рисунку 4.

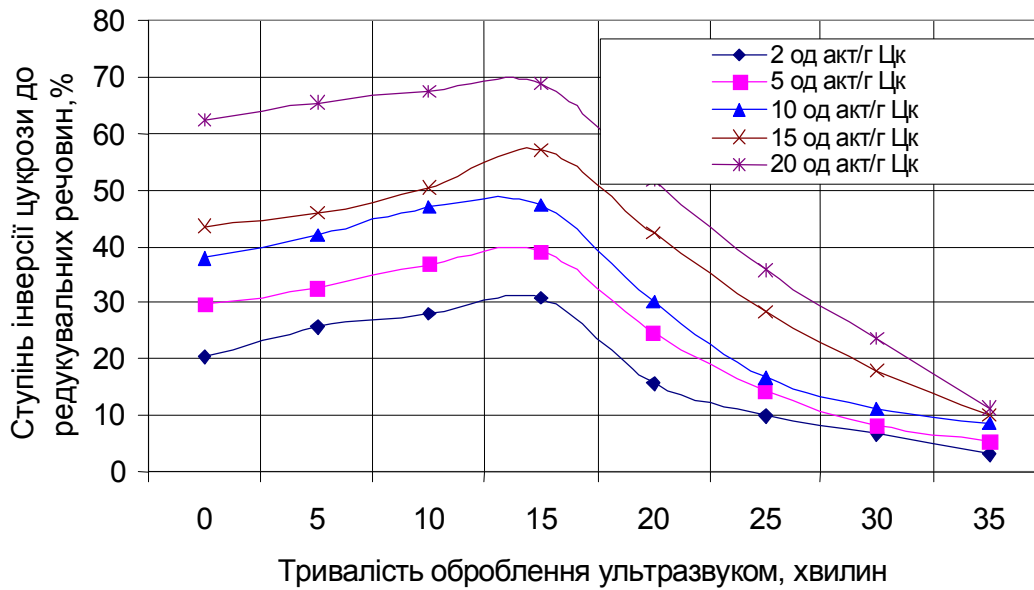


Рис. 4. Залежність ступеню інверсії розчинів жовтих цукрів від тривалості оброблення ультразвуком для різних витрат ферменту

Встановлено, що оброблення УЗ протягом 10-15 хвилин підвищує ступінь гідролізу на 7-8% в порівнянні з гідролізом, проведеним без застосування УЗ, і це дає змогу суттєво скоротити процес. У разі тривалого (більше 15 хвилин) оброблення субстрату в полі дії ультразвукових коливань спостерігається зниження активності ферменту в результаті руйнування білкової частини ферменту, що приводить до сповільнення процесу гідролізу. Питомі витрати енергії на продукт становлять 2,75...3 кВт/м<sup>3</sup>\*год. Механізм активації ферменту пояснюється підвищенням частоти зіткнень між молекулами, викликаних ультразвуковими коливаннями, та створенням нових активних центрів ферменту, до яких приєднуються молекули субстрату.

Створена математична модель процесу гідролізу з використанням УЗ коливань, користуючись якою і задаючись певними параметрами можна одержати продукт з визначеним ступенем гідролізу:

Ступінь інверсії цукрози =  $(57,188 + 2600 C + 4500 \cdot \tau_1 - 30 \cdot \tau_2 - 10,688 \cdot C^2 + 12,813 \cdot \tau_1^2 - 18,688 \cdot \tau_2^2 + 1,125 \cdot C \cdot \tau_1 - 1,125 \cdot C \cdot \tau_2 - 4,625 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2) / 1000$ , де  $C$  – витрата ферменту,  $\tau_1$  – тривалість інверсії,  $\tau_2$  – тривалість оброблення ультразвуком.

У п'ятому розділі “ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ, ХАРЧОВОЇ І БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ІНВЕРТНОГО СИРОПУ” з метою визначення харчової та біологічної цінності продукту проведені дослідження по

визначенню його вуглеводного складу, якісного та кількісного складу азотовмісних і неорганічних нецукрів.

Встановлено, що, незалежно від способу гідролізу (табл.4), сироп, окрім цукрози, містить в значній кількості суміш глюкози та фруктози, а наявність у ньому, особливо одержаному за допомогою ферментативного гідролізу протягом 480 хвилин, незначної кількості цукрози (2,9%) дає змогу рекомендувати його до споживання як замітник цукру.

Таблиця 4

## Якісний та кількісний склад вуглеводів інвертних сиропів

Масова частка вуглеводів, % до маси вуглеводів продукту		
Ферментативний гідроліз		
	$\tau=300$ хвилин	$\tau=480$ хвилин
Цукроза	45,1	2,9
Фруктоза	28,8	47,3
Глюкоза	30,1	49,5
Кислотний гідроліз ( $\tau=90$ хвилин)		
Цукроза	41,7	
Фруктоза	23,6	
Глюкоза	29,5	

Порівнюючи склад сиропів, одержаних різними способами гідролізу цукрози клеровки жовтих цукрів (табл. 4), слід відмітити, що при ферментативному гідролізі можливо досягнути практично повного розкладання цукрози без утворення оксиметилфурфуролу, а при кислотному – лише біля 50 % при вмісті оксиметилфурфуролу 35,8 мг/1000 см<sup>3</sup> продукту (гранично-допустима концентрація становить 100 мг/1000 см<sup>3</sup>), але при цьому слід відзначити коротку тривалість процесу, що важливо для виробництв, які потребують не повністю інвертовані сиропи. В сиропі ідентифіковано 16 амінокислот, з яких 6 є незамінними (табл.5). Вміст метіоніну – сірковмісної амінокислоти дозволяє характеризувати інвертний сироп, як цукропродукт підвищеної біологічної цінності.

Під час очищення клеровок спостерігалось незначне зниження вмісту амінокислот (на 4,7...7,2%) за рахунок ацетилювання аміногруп та меланоїдиноутворення, але це не вплинуло на біологічну цінність сиропу.

З мікроелементів, які відіграють важливу роль в обмінних процесах життєдіяльності людини, в сиропі присутні марганець у кількості 1,2 мг/кг, мідь – 0,8 мг/кг, цинк – 1,2 мг/кг, кобальт – 4,8 мг/кг, алюміній – 0,2 мг/кг, залізо – 12,6 мг/кг

Таблиця 5

Амінокислотний склад інвертного сиропу, мг/100г СР продукту

	Ферментативний гідроліз	Кислотний гідроліз		Ферментативний гідроліз	Кислотний гідроліз
Лізин*	0,74	0,68	Гліцин	10,40	9,15
Гістидин	2,85	2,34	Валін*	3,92	3,48
Аргінін	1,62	1,54	Метионін*	0,47	0,41
Аспарагінова к-та	8,43	8,21	Ізолейцин*+	5,89	5,63
Серин	3,81	3,17	лейцин*		
Глутамінова к-та	7,95	6,74	Тирозин	3,80	3,62
Пролін	2,50	2,32	Фенілаланін*	0,52	0,48
Аланін	7,36	7,30			
Загальний вміст амінокислот	60,26	53,07	Вміст незамінних амінокислот	11,54	10,68

Примітка: \* – незамінна амінокислота

В результаті дослідження зміни якісних показників інвертного сиропу протягом десяти місяців доведена можливість його тривалого зберігання зі збереженням високої якості та мікробіологічної чистоти. При цьому найкращий термін зберігання становить шість місяців при температурі 18...25°C, протягом яких не відбувається погіршення якісних показників одержаного продукту.

Склад одержаного інвертного сиропу наведений в таблиці 6.

Таблиця 6

Склад інвертного сиропу

Показник	Сироп, отриманий кислотним гідролізом	Сироп, отриманий ферментативним гідролізом (τ=8 годин)
Масова частка сухих речовин, %	64...68	
Реакція середовища (рН)	4,5...5,0	
Забарвленість, од.опт.густ.	172...180	
Запах	приємний карамельний	
Колір	від світло-жовтого до світло-коричневого	
Смак	солодкий, без гіркоти	

**В шостому розділі “УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ”** представлена комбінована технологічна схема отримання інвертних сиропів (рис.5). За цією схемою клеровка жовтого цукру зі збірника 1 надходить в збірник з мішалкою 2, в якому відбуваються процеси очищення і знебарвлення. У збірник, в залежності від обраного способу очищення, подається коагулянт “Полвак” у кількості 0,5...0,75 % до маси продукту зі збірника 3 чи перекис водню у кількості 0,0045 % та

моноамонійфосфат у кількості 0,5 % зі збірників 4 і 5. Суміш підігривається в підігривачі 6 і фільтрується на патронному фільтрі 7. З метою покращання умов фільтрування до фільтра подається кизельгурова суспензія зі збірника 8. Фільтрована клеровка надходить в збірник з мішалкою 9, де відбувається додаткове очищення клеровки в результаті процесів адсорбції забарвлених речовин та поверхнево-активних нецукрів на поверхні активованого вугілля. Витрата вугілля становить 2–2,5 % до маси сухих речовин клеровки. Фільтрат після фільтрування на патронному фільтрі 10 перед кислотним гідролізом надходить у збірник очищеної клеровки 12. У разі застосування ферментативного гідролізу продукт попередньо обробляють в ультразвуковому пристрої 11 протягом 25...30 хвилин з метою інактивації наявних мікроорганізмів. Зі збірника очищеної клеровки 12 розчин подають до збірника 13, в якому відбувається активація ферменту, що надходить зі збірника 14. Процес інверсії відбувається в реакторі 17, рН середовища регулюється додаванням лимонної кислоти зі збірника 15 та соди зі збірника 16. Інактивація ферменту здійснюється в теплообміннику 18 за рахунок нагрівання, що викликає руйнування білкової частини ферменту. Сироп фільтрується на дисковому фільтрі 19 (поз.20 – збірник кизельгурової суспензії), після чого надходить в збірник готової продукції 21.

У разі застосування кислотного гідролізу продукт зі збірника очищеної клеровки 12 подається у збірник 22, де відбувається оброблення клеровки надвисокочастотним опроміненням, сюди також подається розчин лимонної кислоти зі збірника 23 у кількості 0,2 % до маси сухих речовин продукту. Сироп після інверсії надходить в нейтралізатор 25. Нейтралізація здійснюється за рахунок дії соди, розчин якої перебуває в збірнику 24. Продукт підігривається в теплообміннику 26 і фільтрується на дисковому фільтрі 27 (поз.28 – збірник кизельгурової суспензії), після чого надходить в збірник готової продукції 29.

Запропонований спосіб очищення клеровок жовтих цукрів коагулянтном “Полвак” був випробуваний в умовах Лучанського цукрового заводу. В результаті витрати коагулянту у кількості 0,5...0,75 % до маси продукту. забезпечено високий ефект знебарвлення клеровок – 29,96 % та ефект очищення, що становить 19,7 %. Річний економічний ефект для цукрового заводу потужністю 2300 тон перероблення буряків за добу складає 274275 грн.

Рис. 5 Комбінована апаратурно-технологічна схема отримання інвертного сиропу з клеровки жовтого цукру



## ВИСНОВКИ

На підставі системного аналізу літературних даних, теоретичних та експериментальних досліджень розроблено способи очищення клеровок жовтих цукрів для їх подальшого гідролізу з метою отримання інвертних сиропів та встановлено їх високу ефективність. Удосконалено способи інверсії цукрових розчинів за рахунок їх інтенсифікації дієвими фізичними впливами. Комплексна реалізація запропонованих заходів забезпечить отримання інвертних сиропів високої якості та підвищеної біологічної цінності.

1. Встановлено, що в результаті сумісної дії моноамонійфосфату в кількості 0,5 % та перекису водню в кількості 0,0045 % до маси сухих речовин продукту з метою очищення клеровки жовтого цукру забезпечується ефект знебарвлення 52,5 %, ефект очищення 20,7 %, що досягається за рахунок адсорбції та переходу забарвлених речовин у безбарвні лейкосполуки.

2. Доведено значну ефективність застосування гідроксохлориду алюмінію як коагулянту при очищенні клеровки жовтого цукру. Встановлено, що використання коагулянту “Полвак” у кількості 0,5...0,75% до маси сухих речовин продукту забезпечує ефект знебарвлення 25...35 %, ефект очищення 20,6...30,7 % в залежності від марки коагулянту за рахунок адсорбції та процесів гетерокоагуляції високомолекулярних сполук та колоїдних речовин.

3. Встановлено високу ефективність інактивууючої дії ультразвукових коливань та ультрафіолетового опромінення на мікрофлору клеровки жовтого цукру. Ефект інактивації мікроорганізмів в результаті дії ультразвукових коливань становить 81...83 %, в результаті опромінення ультрафіолетовим промінням – 88...98 %.

4. Встановлено, що при витратах лимонної кислоти в кількості 0,2 % до маси сухих речовин продукту, тривалості процесу інверсії 120 хвилин та температурі 90...95°C спостерігається мінімум утворення оксиметилфурфуролу при максимально можливій кількості утвореного інвертного цукру.

5. Доведено високу ефективність впливу надвисокочастотного опромінення на протікання кислотного гідролізу. Встановлено, що попереднє імпульсне оброблення суміші клеровки і кислоти приводить до скорочення тривалості процесу гідролізу від 120 до 75 хвилин та підвищення ступеню гідролізу від 51,2 % до 59,3 % за рахунок рівномірного та швидкого підвищення температури по всьому об'єму.

6. Експериментальним шляхом встановлені оптимальні параметри проведення ферментативного гідролізу цукрози клеровок жовтого цукру. Доведено високу ефективність впливу ультразвукових коливань з метою інтенсифікації процесу ферментативного гідролізу очищених клеровок. Встановлено, що оброблення клеровки ультразвуком протягом 15 хвилин при питомих витратах енергії 2,75...3 кВт/м<sup>3</sup>\*год..підвищує ступінь гідролізу на 7-8 %, що дає змогу суттєво скоротити процес

7. В результаті досліджень вуглеводного складу інвертного сиропу встановлено, що незалежно від способу гідролізу в сиропі переважає суміш глюкози та фруктози, що становить для кислотного гідролізу – 53...59%, для

ферментативного – 58...96 %, який може бути рекомендований для виробництва продуктів зі зниженим вмістом цукру.

8. Результати досліджень біохімічного та мікроелементного складу цільового продукту свідчать про його високу харчову та біологічну цінність: загальний вміст амінокислот становить 53...60 мг/100 г СР продукту, вміст незамінних амінокислот – 10,7...11,5 мг/100г продукту, в сиропі виявлені необхідні для життєдіяльності людини мікроелементи Mn, Cu, Zn, Co, Fe, AL .

9. За результатами проведених виробничих випробувань встановлено значну ефективність дії коагулянту “Полвак” при очищенні клеровок жовтих цукрів. Ефект знебарвлення становить 29,96 %, ефект очищення – 19,7 %. Річний економічний ефект для Лучанського цукрового заводу потужністю 2300 тон переробки буряків на добу складає 274275 грн.

Новизна технічних рішень підтверджена 2 деклараційними патентами на винахід.

### Список праць, опублікованих за темою дисертації

1. Дослідження способів очищення напівпродуктів цукрового виробництва з метою отримання інвертних сиропів / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева, В.Є. Носенко // Наукові праці УДУХТ. – К.: УДУХТ. – 2001. – №10. - с.19.

*Особистий внесок:* приймала участь у проведенні досліджень, узагальненні отриманих даних та написанні тез доповіді.

2. Технологія очищення клеровок жовтих цукрів для виробництва інвертного сиропу / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева // Цукор України. – 2002. – №1-2 (21). – с.26-27.

*Особистий внесок:* приймала участь у підборі і теоретичному аналізі літературних джерел, проведенні досліджень та оформленні статті.

3. Інтенсифікація ферментативного гідроліза сахарних розчинів ультразвуком / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева, В.Є. Носенко // Сахар. – 2001. – №5. – с. 15-17.

*Особистий внесок:* приймала участь в організації та проведенні досліджень, обробці експериментальних даних і написанні статті.

4. Вплив ультразвукових коливань та ультрафіолетового опромінення на мікробіологічну забрудненість цукровмісних розчинів / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева, В.Є. Носенко // Харчова і переробна промисловість. – 2002. – № 4-5. – с.24-25

*Особистий внесок:* провела експериментальні дослідження, приймала участь в обробці експериментальних даних та оформленні статті.

5. Дослідження вмісту ОМФ у цукрових гідролізатах при кислотному гідролізі цукрових розчинів / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева // Харчова промисловість / Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – К.: НУХТ. – 2003. – № 2. – с. 3-4

*Особистий внесок:* приймала участь у проведенні досліджень, узагальненні їх результатів та написанні статті.

6. Деклараційний патент на винахід 33453 А України, МПК<sup>6</sup> С13К3/00, С12Р7/06. Спосіб одержання рідкого інвертного цукру // Штангеева Н.І., Лагода В.А., Клименко Л.С., Чмутов Л.М., Хоменко І.М., Нікіфоров О.В., Ничик О.В. – № 99021049; Заявл. 23.02.1999; Опубл. 15.02.2001, Бюл. №1.

*Особистий внесок:* приймала участь у проведенні патентного пошуку, експериментальних досліджень та підготовці матеріалів.

7. Деклараційний патент на винахід 45831 А України, МПК<sup>7</sup> С13D3/02. Спосіб очищення густих цукровмісних розчинів // Ничик О.В., Штангеева Н.І., Клименко Л.С., Лагода В.А., Рилик І.Е. – № 2001074977; Заявл. 16.07.2001; Опубл. 15.04.2002, Бюл. №4.

*Особистий внесок:* провела патентний пошук, приймала участь в організації та проведенні експериментальних досліджень, узагальненні їх результатів, підготовці матеріалів та написанні заявки на патент України.

8. Ультразвуковая интенсификация процесса ферментативного гидролиза сахарных растворов / О.В. Ничик, Н.И. Штангеева, В.Е. Носенко // Тезисы докладов II-й Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств». – Могилев: МТИ. – 2000. – с.95

*Особистий внесок:* приймала участь у плануванні та проведенні досліджень, проаналізувала їх результати та оформила тези доповіді.

9. Визначення оптимальних витрат коагулянту “Полвак” для очищення клеровок жовтих цукрів /С.В. Золотарьова, М.Д. Ніколаєва, О.В. Ничик, Н.І. Штангеева, Л.С. Клименко, В.О. Мірошник // Тези доповідей 67-ї студентської наукової конференції УДУХТ. – Ч.2. – К.: УДУХТ. – 2001. – с.12

*Особистий внесок:* приймала участь в організації та проведенні досліджень, оформила тези доповіді.

10. Дослідження вмісту оксиметилфурфуролу в цукрових гідролізатах при одержанні інвертованого сиропу / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева, Л.С. Клименко // Тези міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – Ч.2. – К.: НУХТ. – 2002. – с.10

*Особистий внесок:* приймала участь у проведенні досліджень, узагальненні отриманих результатів та оформленні тез доповіді.

11. Дослідження знезаражувальної дії ультразвукових коливань і ультрафіолетового опромінення при виробництві інвертованих сиропів / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева, В.Є. Носенко, Л.С. Клименко // Тези доповідей 69-ї наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – Ч.2. –К.: НУХТ. – 2003. – с.13.

*Особистий внесок:* приймала участь у плануванні та проведенні досліджень, обробленні експериментальних даних та оформленні тез доповіді.

12. Интенсификация кислотного та ферментативного гідролізу клеровок жовтих цукрів при одержанні інвертованих сиропів / О.В. Ничик, Н.І. Штангеева, В.Є.Носенко // Сборник научных статей научно-практической конференции. “Перспективные направления развития пищевой промышленности. – Одесса: ОЦНТЭИ. – 2003. – с.108-109.

*Особистий внесок:* провела експериментальні дослідження, проаналізувала їх результати, приймала участь в оформленні тез доповіді.

**Ничик О.В. Удосконалення технології інвертних сиропів гідролізом цукрози клеровок жовтого цукру. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.05 – Технологія цукристих речовин. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2005.

Робота присвячена удосконаленню технології інвертних сиропів з клеровок жовтих цукрів, застосування якої забезпечує високу біологічну та профілактичну цінність, стерильність кінцевого продукту.

Розроблено два способи очищення клеровок жовтих цукрів: перекисом водню з моноамонійфосфатом і коагулянтном “Полвак”, на які отримано патенти України. Запропоновані способи забезпечують високі ефекти знебарвлення та очищення продуктів.

Встановлено оптимальні параметри інверсії цукрози клеровок жовтих цукрів ферментативним та кислотним способами з їх інтенсифікацією ультразвуковими коливаннями та надвисокочастотним опроміненням. Розроблено комбіновану технологічну схему виробництва інвертного сиропу, реалізація якої дозволяє одержати солодкий продукт зі зниженим вмістом цукрози та підвищеним вмістом амінокислот, мікро- та макроелементів.

**Ключові слова:** жовтий цукор, очищення, знебарвлення, процес гідролізу, інвертний сироп, фермент, харчова та біологічна цінність.

**Ничик О.В. Усовершенствование технологии инвертных сиропов гидролизом сахарозы клеровок желтого сахара. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.05 – Технология сахаристых веществ. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2005.

Работа посвящена усовершенствованию технологии инвертных сиропов из клеровок желтых сахаров высокой биологической и профилактической ценности, имеющих свойство длительного хранения.

Разработаны два способа очистки клеровки: первый включает одновременное обесцвечивание, удаление солей кальция и веществ коллоидной дисперсности раствором перекиси водорода и моноамонийфосфатом натрия а второй основывается на применении коагулянта “Полвак”.

Обесцвечивание с помощью перекиси водорода происходит в результате перехода окрашенных веществ в бесцветные лейкосоединения, молекулы окрашенных веществ при этом не разрушаются. Фосфат-ионы, реагируя с органическими солями кальция образуют осадки основной и кислой солей фосфорной кислоты, адсорбционная способность которых выше, чем карбоната кальция. Поэтому красящие вещества поглощаются поверхностью осадка фосфата кальция. Кроме того, происходит дополнительное включение окрашенных веществ в кристаллическую решетку осадка во время его образования. Экспериментально установлены оптимальные параметры проведения процесса очистки, в результате которого эффект обесцвечивания составил 52,5 %, эффект очистки – 20,7%.

Во втором способе для очистки клеровки желтого сахара применяли коагулянт украинского производства – водный раствор гидроксохлорида алюминия (торговое название «Полвак»). В результате введения реагента образуются гидрофобные коллоидные системы, которые при взаимодействии с электролитами, находящимися в сахарных растворах, коагулируют с образованием хлопьев гидроксида алюминия, на поверхности которого сорбируются несахара, в том числе и красящие вещества. Установлены оптимальные параметры проведения процесса очистки клеровки желтого сахара реагентом «Полвак», обеспечивающие эффект обесцвечивания – 25...35%.

Усовершенствован способ ферментативного гидролиза очищенной клеровки желтого сахара и установлены оптимальные параметры проведения процесса. В качестве биологического катализатора процесса инверсии использовали инвертазосодержащий фермент – препарат INVERTIN. Осуществлена интенсификация процесса ферментативного гидролиза очищенной клеровки путем обработки её ультразвуковыми колебаниями. Установлено, что нахождение клеровки в поле действия ультразвуковых колебаний на протяжении 15 минут повышает степень гидролиза на 7...8%, что существенно сокращает продолжительность процесса.

Усовершенствован способ кислотного гидролиза очищенной клеровки желтого сахара лимонной кислотой. Установлены оптимальные параметры процесса, при которых наблюдается минимальное образование оксиметилфурфузола; осуществлена интенсификация процесса путем обработки очищенной клеровки сверхвысокочастотным облучением (СВЧ). Установлено, что предварительная импульсная обработка клеровки лучами СВЧ на протяжении 180 с приводит к сокращению продолжительности процесса кислотного гидролиза от 120 минут до 90. Степень инверсии повышается от 51,2 до 59,3%.

Полученные сиропы имеют повышенное содержание инвертного сахара, а также содержат аминокислоты, в том числе незаменимые, что повышает их пищевую и биологическую ценность. Проведенные исследования возможного срока хранения инвертированных сиропов показали, что при соблюдении необходимых условий сироп сохраняется без ухудшения качеств на протяжении трех месяцев.

**Ключевые слова:** желтый сахар, очистка, обесцвечивание, процесс гидролиза, инвертированный сироп, фермент, пищевая и биологическая ценность.

**Nichik O.V. The improvement of technology of the inverted syrups hydrolysis of saccharose solutions yellow sugar. – the Manuscript.**

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical science in the speciality 05.18.05 – Technology of sugary substances. – National university of food technologies, Kiev, 2005.

Work is devoted to improvement of technology of the inverted syrups from solutions of brown sugars which application provides high biological and preventive value, sterility of an end-product.

Two ways of solutions of brown sugars clarification are developed: peroxide of hydrogen with monoammoniyfosfat and coagulant "Polvac" on which patents of Ukraine are received. The suggested ways provide high effects of decolouration and clarification of products.

Optimum parameters of inversion of saccharose solutions yellow sugars enzyme and acid by ways with their intensification ultrasonic fluctuations and a superhigh-frequency irradiation are established. The combined technological circuit of manufacture of the inverted syrup which realization allows to receive a sweet product with the reduced contents of saccharose and the raised contents of amino acids, micro- and macrocells is developed.

**Key words:** yellow sugar, clearing, decolouration, the hydrolysis, the inverted syrup, enzyme, food and biological value, ultrasound.