

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

САМІЛИК МАРИНА МИХАЙЛІВНА

УДК 664.1.05.004

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТУ ПОЛІТЕРМІЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ САХАРОЗИ В
ПЕРЕМІШУВАЧАХ-КРИСТАЛІЗАТОРАХ**

Спеціальність – 05.18.12. – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2013

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Мирончук Валерій Григорович**, Національний університет харчових технологій МОН України, м. Київ, завідувач кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України **Штангесв Валерій Остапович**, ДНУ «Український науково-дослідний інститут цукрової промисловості» Міністерства аграрної політики та продовольства України, головний науковий співробітник-консультант;

кандидат технічних наук, доцент **Матиящук Андрій Миколайович**, Національний університет біоресурсів і природокористування України Кабінету Міністрів України, доцент кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК.

Захист відбудеться «__» _____ 2013 року о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

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

Автореферат розісланий «__» _____ 2013 року.

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

Л.О.Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Складність процесу політермічної кристалізації цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації обумовлена нестійким характером тепло- і масообміну і залежить від багатьох факторів.

Значний внесок у вивчення процесу політермічної кристалізації сахарози охолодженням, вибору режиму ведення даного процесу внесли вітчизняні та закордонні вчені: І.С. Гулий, І.Г. Бажал, І.Ф. Бугаєнко, А.І. Громковський, М.І. Даїшев, І.Н. Акіндінов, К.К. Полянський, А.Р. Сапронов, П.М. Силін, В.О. Штангеев, В.І. Тужилкін, Р.А. Мак-Джиніс, Д. Шлипхаке та інші. Вибір режиму політермічної кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах має важливе значення зважаючи на лімітуючу роль швидкості кристалізації сахарози з розчинів різної чистоти, коли кінетика кристалізації залежить від пересичення міжкристального розчину та темпу охолодження утфелю.

За існуючим регламентом, охолодження здійснюється протягом 24-28 чи 32-34 год (відповідно для вертикальних і горизонтальних кристалізаторів), при цьому температура утфелю змінюється від 68-75°C до 40°C. В результаті охолодження відбувається ізогідрична політермічна кристалізація сахарози. Однією із основних проблем кристалізації сахарози охолодженням є розбіжність між темпом охолодження та темпом кристалізації, що провокує вторинне кристалоутворення. Крім того, значне підвищення коефіцієнту динамічної в'язкості в результаті охолодження погіршує подальші умови кристалізації сахарози і вимагає розбавлення (розкачки) утфелю водою або цукровим розчином (мелясою), що порушує ізогідричність процесу і перешкоджає максимальному знецукренню меляси.

Вирішення цієї проблеми можливе за умов чіткої відповідності темпу охолодження утфелю зі швидкістю кристалізації та заміни розкачки утфелю водою альтернативним способом, який не порушує умов ізогідричності процесу політермічної кристалізації. Таким способом може бути проміжне нагрівання утфелю замість його розкачок водою чи мелясою.

Актуальність даної наукової роботи зумовлена тим, що надання раціонального режиму ведення процесу кристалізації сахарози охолодженням утфелю останнього ступеня кристалізації дозволить досягти максимального ефекту кристалізації, значно зменшити вміст сахарози в мелясі, а відповідно – збільшити вихід готової продукції, товарного цукру.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до планів науково-дослідної роботи НУХТ, зокрема до теми «Розроблення наукових основ тепло-масообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових і переробних галузей АПК» (схвалено вченою радою НУХТ, протокол №7 від 25.03.2006р.), відповідно до Закону України №2623-3 від 11 липня 2001 року «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є інтенсифікація політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації для підвищення ефективності кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах.

У відповідності до поставленої мети сформульовані наступні завдання досліджень:

- обґрунтувати застосування проміжного нагрівання утфелю станнього ступеня кристалізації в процесі політермічної кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах;
- визначити вплив проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації на ефективність кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах;
- дослідити вплив умов політермічної кристалізації сахарози на коефіцієнт динамічної в'язкості та коефіцієнт поверхневого натягу міжкристального розчину;
- визначити раціональні температурні режими проміжного нагрівання утфелю в процесі політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах;
- розробити математичну модель процесу політермічної кристалізації сахарози;
- надати рекомендації промисловості щодо раціонального ведення процесу політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації.

Об'єктом досліджень є процес політермічної кристалізації сахарози цукрового утфеля останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах.

Предметом досліджень є цукровий утфель останнього ступеня кристалізації.

Методи дослідження включають натурні дослідження в промислових та лабораторних умовах, розрахунки за математичною моделлю та оброблення результатів досліджень. Накопичення і аналіз інформації щодо об'єкту та предмету досліджень здійснювали емпірично-дослідним методом. Визначення технологічних характеристик утфелю та міжкристального розчину здійснювали за допомогою сучасного сертифікованого лабораторного обладнання. Оброблення експериментальних даних та розрахунки виконувались із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD 14, програми Microsoft Office Excel, CurveExpert 1.3.

Наукова новизна отриманих результатів:

- показано, що застосування розкачок утфелю останнього ступеня кристалізації водою в перемішувачах-кристалізаторах не забезпечує досягнення максимального ефекту кристалізації внаслідок порушення ізогідричних умов процесу; розкачка утфелю цукровим розчином низької чистоти (мелясою) зменшує швидкість подальшої кристалізації сахарози;
- доведена доцільність застосування проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації на 7-10°C в процесі його політермічної кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах після зниження температури утфелю до 50-55°C;
- узгодження темпу охолодження утфеля останнього ступеня кристалізації зі швидкістю кристалізації зводить до мінімуму вторинне кристалоутворення зменшуючи частку кристалів фракції <0,2 мм до 0,77%;

- проміжне нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах створює сприятливі умови для рекристалізації за коливальним механізмом, при цьому частка фракції кристалів цукру розміром $>0,5\text{мм}$ зростає до 91,5%, у порівнянні з типовим режимом політермічної кристалізації – 80,1%;
- розроблено математичну модель та алгоритм імітаційної моделі процесу політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації, на основі чого отримано математичні залежності зміни масових та якісних характеристик утфелю останнього ступеня кристалізації в процесі його політермічної кристалізації.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечена проведенням натурних досліджень в промислових та лабораторних умовах, використанням сучасних методик досліджень та технічних рішень, математичних методів оброблення експериментальних даних, використанням метрологічно атестованої вимірювальної техніки і приладів, застосуванням сучасних інформаційних систем, адекватністю експериментальних даних і даних промисловості з розбіжністю 2-7 %.

Практичне значення отриманих результатів.

В роботі обґрунтовано та розроблено новий режим ведення політермічної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації, який полягає в заміні розкачок утфелю водою на проміжне нагрівання утфелю на $7-10^{\circ}\text{C}$ від температури $50-55^{\circ}\text{C}$ до $58-60^{\circ}\text{C}$, що захищено Патентом України на корисну модель (№80292). Запропонована нова конструкція пристрою для проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації.

На основі проведених досліджень надані рекомендації промисловості щодо раціонального режиму політермічної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах.

Розроблені математична та імітаційна моделі процесу. Запропоновані моделі доцільно використовувати для експертної оцінки та прогнозування результатів роботи станцій політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах.

Результати науково-дослідної роботи впроваджені на ТОВ «Ук.Аз.-Дружба» (Жовтневий цукровий завод), що дозволило зменшити вміст сахарози в мелясі.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, створенні дослідної установки та розробленні методики досліджень проміжного нагрівання утфелю в процесі його охолодження, дослідженні процесу кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації в промислових та лабораторних умовах, обробленні результатів експериментальних досліджень, формулюванні висновків, апробації та підготовки до публікації результатів досліджень.

Постановка задачі та узагальнення результатів досліджень виконані разом з науковим керівником, д.т.н. проф. Мирончуком В.Г. Автор висловлює подяку к.т.н. доц. Єщенко О.А. за консультації при розробленні імітаційної моделі та працівникам ТОВ «Ук.Аз.-Дружба» (Жовтневий цукровий завод) за допомогу в проведенні натурних промислових досліджень.

Апробація результатів досліджень. Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 74-й, 2008 р.; 75-й, 2009 р.; 76-й, 2010 р.; 77-й, 2011 р.; 78-й, 2012 р. Міжнародних наукових конференціях молодих учених аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», (Київ); Міжнародних науково-технічних конференціях цукровиків України, 2012, 2013 р.р., (Київ), Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку обладнання переробних і харчових виробництв», 2012 (Луцьк), Міжнародній науково-технічній конференції «Новітні науково-технічні рішення в цукровій промисловості» (Львів) 2013р, другому Північно-європейському конгресі NEEFood, Kyiv, Ukraine, 2013.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 21 наукову роботу, із них: 8 статей у фахових виданнях (з них: 6 входять до переліку, 1 – закордонне видання), 12 доповідей на наукових конференціях, Патент України на корисну модель №80292.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел, додатків. Основний зміст роботи викладений на 125 сторінках, включаючи 62 рисунки. До роботи додається 7 додатків. Список використаних літературних джерел зі 124 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, визначені мета та основні завдання досліджень, наукова новизна і практична цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** проаналізовано теоретичні основи процесу кристалізації та сучасний стан політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах, показано вплив окремих факторів на швидкість кристалізації сахарози, проаналізовані способи проведення процесу політермічної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах. На основі проведеного аналізу сформульовано мету і задачі досліджень.

У **другому розділі** наведені методики проведення досліджень, описані засоби їх забезпечення.

Лабораторні експерименти проводили за розробленою нами методикою на дослідній установці (рис. 1).

Промислові дослідження процесу кристалізації сахарози охолодженням утфелю останнього ступеня кристалізації проводили методом натурального експерименту на підприємстві ТОВ «Ук.Аз.-Дружба» (Жовтневий цукровий завод) оснащеного комбінованою схемою (рис.2) політермічної кристалізації. При виконанні експериментальних досліджень використовували прилади та устаткування спеціалізованої лабораторії техно-хімічного контролю цукрового виробництва Сумського технікуму харчової промисловості НУХТ та виробничої лабораторії ТОВ «Ук.Аз.-Дружба» (Жовтневий цукровий завод).

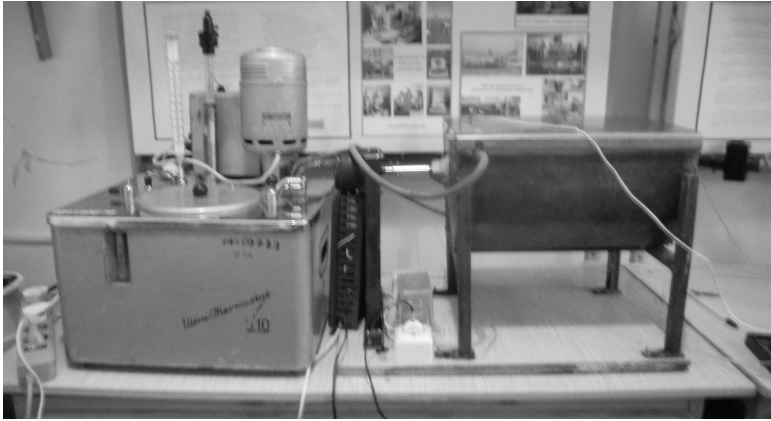


Рис. 1. Лабораторна установка для дослідження процесу політермічної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації.

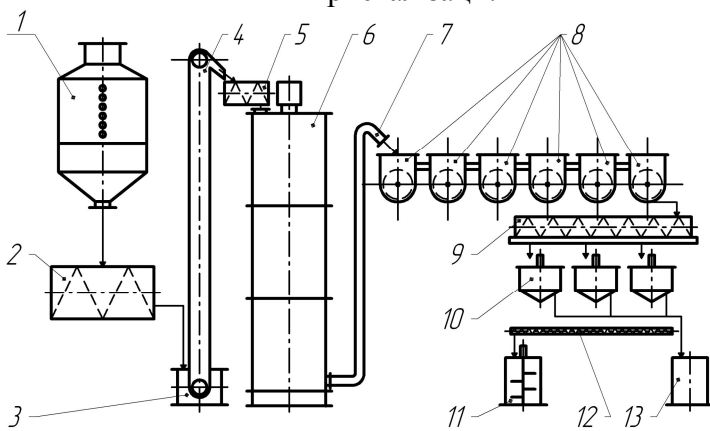


Рис. 2. Комбінована апаратурна схема кристалізації охолодженням утфелю останнього ступеня кристалізації: 1 – вакуум-апарат останнього ступеня кристалізації; 2 – приймальна утфелемішалка; 3 – збірник утфелю; 4 – насос «Норія»; 5 – змішувач; 6 – вертикальний кристалізатор; 7 – трубопровід утфелю; 8 – горизонтальні кристалізатори; 9 – утфелерозподільувач перед центрифугами; 10 – центрифуги; 11 – клерувальна мішалка; 12 – шнек; 13 – збірник меляси.

У третьому розділі наведені результати натурних досліджень процесу політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації на лабораторній установці (рис.1) та на ТОВ «Ук.Аз.-Дружба» (Жовтневий цукровий завод) (рис.2).

Особливістю промислової схеми політермічної кристалізації сахарози є її оснащення вертикальним кристалізатором ємністю 150 м^3 та шістьма горизонтальними кристалізаторами ємністю 45 м^3 кожний. На початку кристалізації температура утфелю становила $72\text{--}73^\circ\text{C}$, після вертикального кристалізатора – 55°C , при надходженні утфеля в перший горизонтальний кристалізатор здійснювалась розкачка утфелю водою відповідно до існуючого регламенту. Температура утфелю після охолодження до 40°C в останньому перемішувачі-кристалізаторі перед центрифугуванням доводилась до 46°C . Різниця температури між холодоносієм (вода) і утфелем підтримувалась в межах 15°C .

Швидкість кристалізації (рис. 3) визначали на основі рівнянь матеріального балансу за сахарозою.

Як свідчать результати досліджень (рис. 3), швидкість кристалізації значно зменшується після охолодження утфеля до $50\text{--}55^\circ\text{C}$ і нижче, що пов'язано зі зростанням в'язкості міжкристального розчину і зменшенням його чистоти.

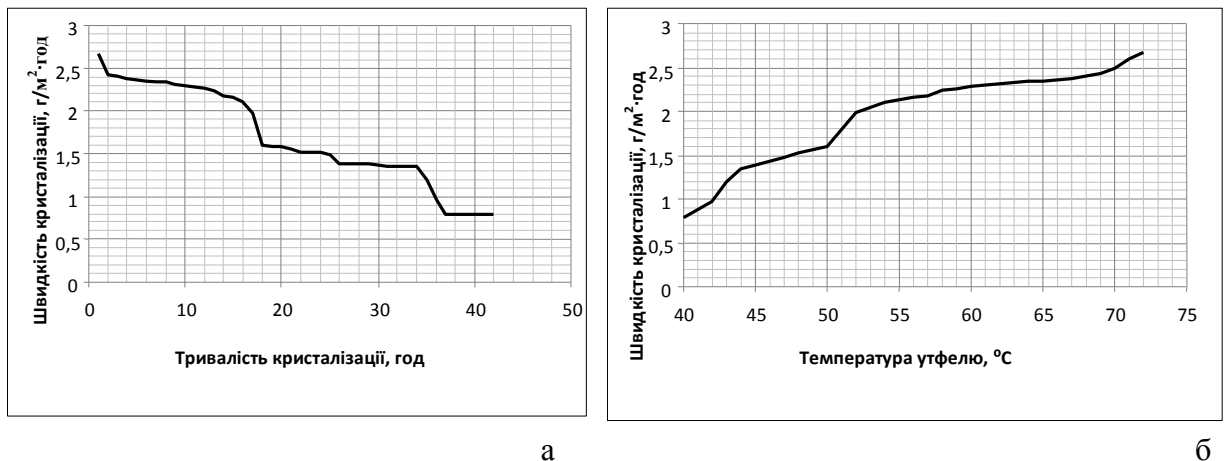


Рис.3. Зміна швидкості кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах за типовим режимом, прийнятим на підприємстві: а – за часом процесу; б – за температурою процесу.

Необхідність розкачки утфелю водою є наслідком надмірного зростання в'язкості утфелю, перевищення темпу охолодження утфелю в порівнянні зі швидкістю кристалізації, надмірного зростання пересичення утфелю в зонах охолодження утфелю, що провокує вторинне кристалоутворення. Отже, використання розкачок утфелю водою після його охолодження до 50-55°C для зменшення коефіцієнту динамічної в'язкості міжкристального розчину не вирішує проблеми повного знецукрення меляси: порушуються ізогідричні умови кристалізації, збільшується вихід меляси за рахунок високого мелясоутворюючого коефіцієнту води (2,3-2,7), підвищується вміст сахарози в мелясі (54-57%). Ефект кристалізації склав $E_{кр}=5,35\%$, що значно нижче за нормативний $E_{кр}=8,0\%$.

Вирішити цю проблему нами запропоновано шляхом застосування такого способу обробки утфелю в перемішувачах-кристалізаторах, який би забезпечив ізогідричні умови та інтенсифікацію процесу політермічної кристалізації. З цією метою нами запропонована заміна розкачок утфелю водою (чи мелясою) на його проміжне нагрівання.

З метою визначення доцільності використання проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах та узгодження зміни температури утфелю зі швидкістю кристалізації в процесі його охолодження нами виконані дослідження методикою яких передбачалось порівняння результатів отриманих за умов розкачки утфелю водою, мелясою та використання замість їх проміжного нагрівання.

Отримані результати лабораторних досліджень свідчать про те, що у випадку застосування проміжного нагрівання утфелю на 5°C після його охолодження до 50°C та подальшого охолодження до 40°C і нагріванням перед центрифугуванням до 46°C отримали найбільше знецукрення меляси із ефектом кристалізації $E_{кр}=7,04\%$, що значно більше в порівнянні з розкачкою водою ($E_{кр}=3,98\%$) і розкачкою мелясою ($E_{кр}=5,02\%$).

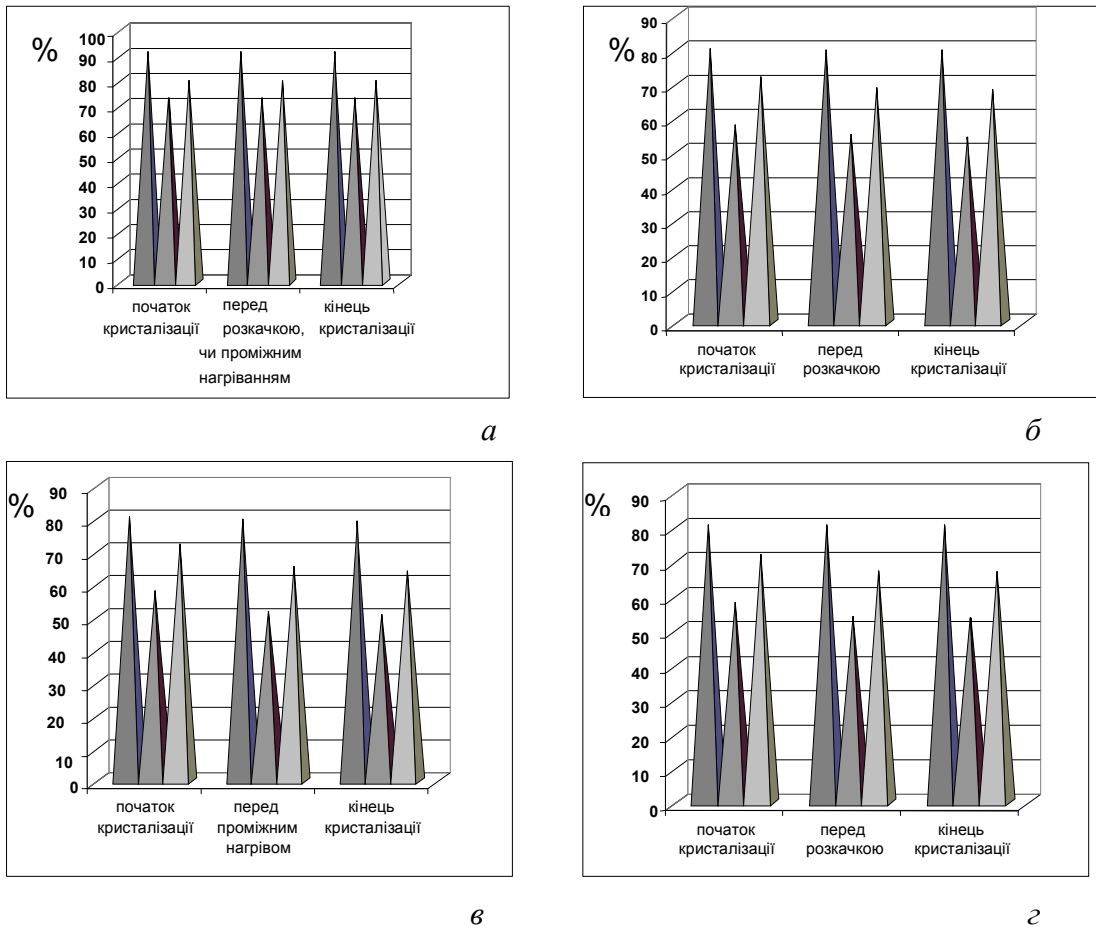


Рис.4. Результати лабораторних досліджень: а - характеристики утфелю; б - характеристики міжкристального розчину з розкачкою водою; в - характеристики міжкристального розчину з розкачкою мелясою; г - характеристики міжкристального розчину з проміжним нагріванням
 ■ - чистота міжкристального розчину, %; ■ - вміст сахарози у міжкристальному розчині, %; ■ - вміст сухих речовин у міжкристальному розчині.

Для визначення раціонального значення температури проміжного нагрівання порівнювали чистоту міжкристального розчину та гранулометричний склад кристалів цукру в кінцевому утфелі за різних способів обробки утфелю: з розкачкою водою, розкачкою мелясою, проміжним нагріванням на 5°C, 7°C, 10°C, 12°C (рис. 5). Найкращого результату досягнуто при проміжному нагріванні утфелю останнього ступеня кристалізації на 7-10°C. При цьому, ефект кристалізації становить $E_{кр}=8,2-8,4\%$.

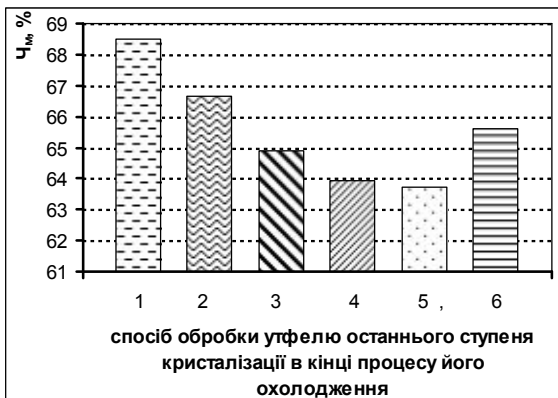


Рис.5. Залежність чистоти міжкристального розчину від способу обробки утфелю останнього ступеня кристалізації в кінці процесу: 1 – розкачка водою, 2 – розкачка мелясою, 3,4,5,6 – проміжне нагрівання, відповідно, на 5°C, 7°C, 10 °C, 12 °C.

Дослідження зміни температури утфелю в умовах застосування проміжного його нагрівання з великою точністю узгоджуються зі зміною швидкості кристалізації за цих умов (рис. 6,7). Коефіцієнт кореляції між температурою утфелю $t_y=f(\tau)$ та швидкістю кристалізації $v_{кр}=\varphi(\tau)$ як функцій часу склав 0,98.

Результати аналізу гранулометричного складу кристалів цукру, свідчать, що при застосуванні проміжного нагрівання утфелю частка крупних кристалів розміром більше 0,5 мм склала 91,48 % в порівнянні з розкачкою водою – 80,1 %. Цей факт пояснюється наявністю рекристалізації за коливальним механізмом при зміні температури міжкристального розчину.

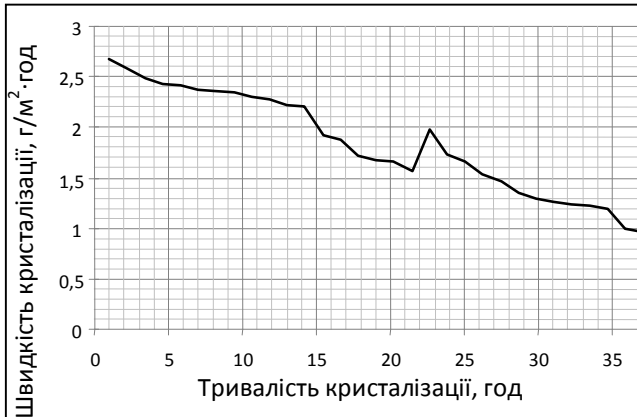


Рис.6. Зміна швидкості політермічної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації



Рис.7. Зміна температури утфелю останнього ступеня кристалізації

Характер зміни коефіцієнту динамічної в'язкості міжкристального розчину в процесі політермічної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах наведено на рис. 8, а коефіцієнту поверхневого натягу на рис. 9. Проміжне нагрівання утфелю останнього ступеню кристалізації на 7-10°C зі швидкістю 0,95-1,0°C/хв. після зниження його температури до 50-55°C зменшує коефіцієнт динамічної в'язкості міжкристального розчину (для чистоти $Ч=56,4\%$ майже в 2 рази, для чистоти $Ч=67,4\%$ в 1,4 рази) та інтенсифікує процес політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах.

Зменшення коефіцієнту динамічної в'язкості міжкристального розчину за рахунок проміжного нагрівання утфелю прискорює процес перенесення молекул сахарози із об'єму міжкристального розчину до поверхні кристалів, а також прискорює швидкість кристалохімічної реакції на границі поділу фаз «розчин-кристал» під час переходу молекул сахарози із розчиненого стану в кристалічний. Ефект кристалізації при цьому складає 8,2-8,4%.

Отже, проміжне нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах є альтернативою розкачки утфелю водою чи цукровим розчином, які застосовуються на багатьох цукрових заводах.

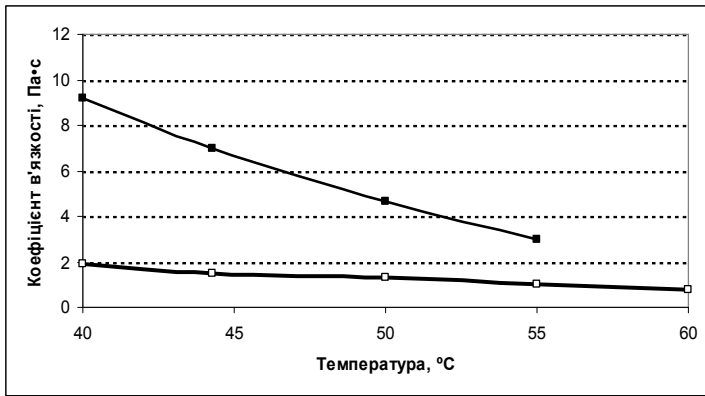


Рис.8. Зміни коефіцієнту динамічної в'язкості міжкристального розчину в залежності від чистоти і температури:
 ● - чистота $Ch=54,6\%$ (Требін Л.І.);
 □ - чистота $Ch=67,45\%$

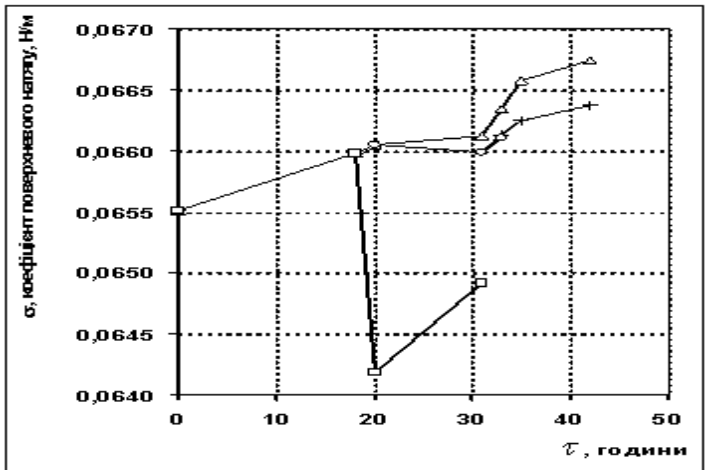


Рис.9. Зміна коефіцієнту поверхневого натягу при різних режимах політермічної кристалізації:
 —+— за умов розкачки цукровим розчином високої чистоти; —▲— за умов розкачки водою; —○— за умов розкачки мелясою; —□— за умов проміжного нагрівання.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробленню імітаційної моделі процесу політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах.

Процес політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах представлений нами як об'єкт технології (рис.10) з вхідними, керуючими та вихідними параметрами.

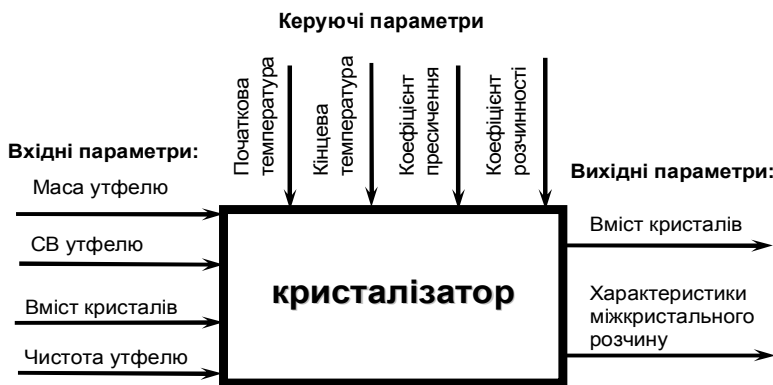


Рис.10. Процес політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах як об'єкт технології

За основу математичного опису процесу політермічної кристалізації сахарози прийнято матеріальний баланс процесу.

Залежність коефіцієнту розчинності сахарози від температури та чистоти розчину визначали за рівнянням регресії третього порядку, отриманим нами методом найменших квадратів:

$$\begin{aligned}
 H_0(t, Ch) = & 1,0502 + 0,1903t - 0,01827Ch + 6,084 \cdot 10^{-5}t^2 + 6,926 \cdot 10^{-3}Ch^2 - \\
 & - 4,1505 \cdot 10^{-3}tCh + 6,429 \cdot 10^{-6}t^3 - 5,244 \cdot 10^{-6}Ch^3 - \\
 & - 8,317 \cdot 10^{-6}t^2Ch + 2,821 \cdot 10^{-5}tCh^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де t – температура продукту, °C; Ch – чистота міжкристального розчину.

Нами прийнято спрощення, що в процесі ізогідричної політермічної кристалізації сахарози вміст нецукрів в міжкристальному розчині залишається незмінним.

Тоді, для будь-якої температури утфелю в процесі охолодження $t_i = t_n \dots t_k$:

$$G_{M_i} = W_y H_0(t_i, \mathcal{C}_i) K_{nep} + \frac{G_y H_{u_y}}{100\%} + \frac{G_y W_y}{100\%},$$

$$G_{Kp_i} = G_y - G_{M_i}, \quad Kp_i = \frac{G_{Kp_i}}{G_y} 100\% \quad (2)$$

G_{M_i} , G_{Kp_i} , Kp_i – масові частки міжкристального розчину та кристалів, вміст кристалів в утфелі в момент часу τ_i , відповідно.

де t_n, t_k, t_i – температура утфелю, відповідно, на початку, в кінці та в будь-який час протягом процесу кристалізації.

Масові частки сахарози \mathcal{C}_{M_i} , нецукрів $H_{u_{M_i}}$, сухих речовин CP_{M_i} та води W_{M_i} в міжкристальному розчині, а також його чистоту \mathcal{C}_{M_i} визначали за рівняннями:

$$\mathcal{C}_{M_i} = \frac{W_y H_0(t_i) K_{nep}}{G_{M_i}} 100\%, \quad H_{u_{M_i}} = \frac{G_y H_{u_y}}{G_{M_i}} 100\%,$$

$$CP_{M_i} = \frac{W_y H_0(t_i) K_{nep} + G_y H_{u_y}}{G_{M_i}} 100\% \quad W_{M_i} = \frac{G_y W_y}{G_{M_i}} 100\%, \quad \mathcal{C}_{M_i} = \frac{\mathcal{C}_{M_i}}{CP_{M_i}} 100\% \quad (3)$$

Наведені залежності являють собою математичну модель процесу політермічної кристалізації сахарози. Масу $G_M(t)$, масову частку сухих речовин $CP_M(t)$ та чистоту $\mathcal{C}_M(t)$ міжкристального розчину можна представити у вигляді раціональних рівнянь:

$$G_M(t) = \frac{a_{G_M} + b_{G_M} t}{1 + c_{G_M} t + d_{G_M} t^2}, \quad CP_M(t) = \frac{a_{CP_M} + b_{CP_M} t}{1 + c_{CP_M} t + d_{CP_M} t^2}, \quad \mathcal{C}_M(t) = \frac{a_{\mathcal{C}_M} + b_{\mathcal{C}_M} t}{1 + c_{\mathcal{C}_M} t + d_{\mathcal{C}_M} t^2}, \quad (4)$$

де a_{G_M} , b_{G_M} , c_{G_M} , d_{G_M} , a_{CP_M} , b_{CP_M} , c_{CP_M} , d_{CP_M} , $a_{\mathcal{C}_M}$, $b_{\mathcal{C}_M}$, $c_{\mathcal{C}_M}$ – розрахункові коефіцієнти, що залежать від чистоти утфелю на вході в кристалізатори.

Вміст кристалів в утфелі останнього ступеня кристалізації описується рівнянням Вейбулла:

$$Kp(t) = a_{Kp t} - b_{Kp t} e^{-c_{Kp t} t^{d_{Kp t}}}, \quad (5)$$

де коефіцієнти $a_{Kp t}$, $b_{Kp t}$, $c_{Kp t}$, $d_{Kp t}$ є функціями чистоти утфелю останнього ступеня кристалізації.

Вміст кристалів в утфелі в процесі його охолодження у часі має чітко виражений експоненційний характер:

$$Kp(\tau) = a_{Kp} (b_{Kp} - e^{-c_{Kp} \tau}), \quad (6)$$

а основні характеристики міжкристального розчину (маса, чистота та вміст сухих речовин) з достатньою точністю описуються логістичними залежностями:

$$G_m(\tau) = \frac{a_{G_m}}{1 + b_{G_m} e^{-c_{G_m} \tau}}, \quad \chi_m(\tau) = \frac{a_{\chi_m}}{1 + b_{\chi_m} e^{-c_{\chi_m} \tau}}, \quad CP_m(\tau) = \frac{a_{CP_m}}{1 + b_{CP_m} e^{-c_{CP_m} \tau}}, \quad (7)$$

де розрахункові коефіцієнти a_{Kp} , b_{Kp} , c_{Kp} , a_{G_m} , b_{G_m} , c_{G_m} , a_{χ_m} , b_{χ_m} , c_{χ_m} , a_{CP_m} , b_{CP_m} , c_{CP_m} залежать від чистоти утфелю.

Побудована нами модель політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації використана для дослідження цього процесу за двома режимами, потокові графи яких наведені на рис. 11.

Температурний режим процесу політермічної кристалізації (рис.12) описується логістичними залежностями:

- при розкачці утфелю водою чи цукровим розчином:

$$t(\tau) \approx \frac{a_1}{1 + b_1 \cdot e^{-c_1 \cdot \tau}}, \quad (8)$$

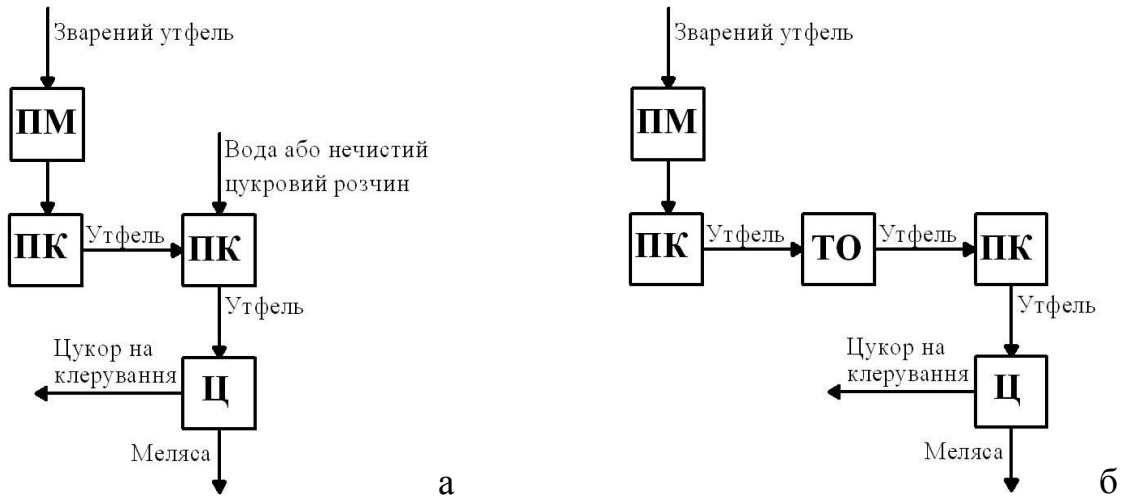


Рис.11. Поточний граф процесу політермічної кристалізації: а – з розкачкою водою чи мелясою, б – з проміжним нагріванням
 ПМ – приймальний перемішувач; ПК – перемішувач-кристалізатор; ТО – теплообмінник (підігрівник); Ц – центрифуга

- із застосуванням проміжного нагрівання:

$$t(\tau) = \begin{cases} \frac{a_1}{1 + b_1 \cdot e^{-c_1 \cdot \tau}}, & \text{до нагрівання} \\ \frac{a_2}{1 + b_2 \cdot e^{-c_2 \cdot \tau}}, & \text{після нагрівання} \end{cases} \quad (9)$$

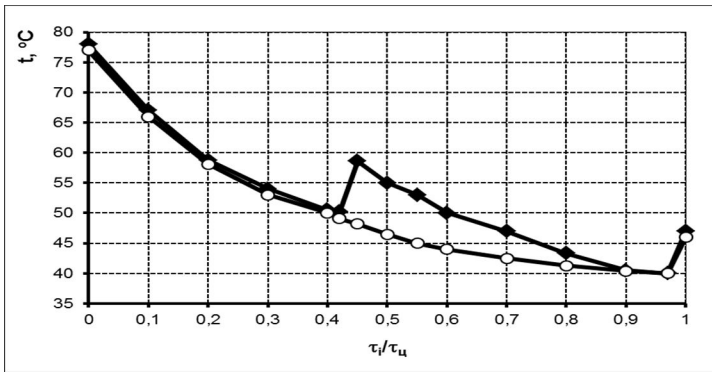
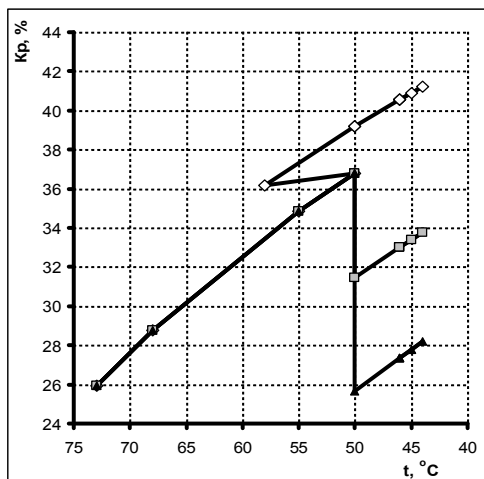


Рис.12. Температурний режим політермічної кристалізації утфелю останнього ступеню кристалізації: \blacklozenge – з проміжним нагрівом, \circ – за типовим режимом

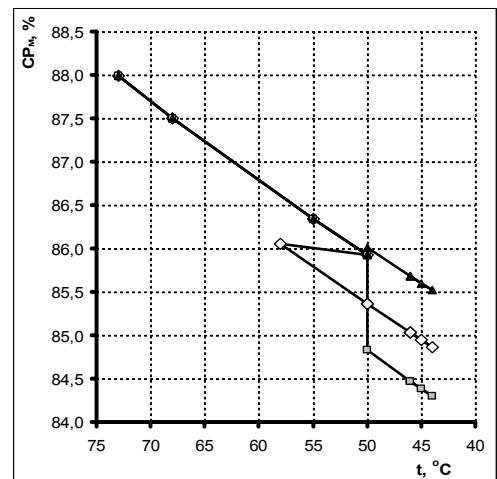
експериментів показало, що розроблена нами імітаційна модель описує реальний процес поліметричної кристалізації сахарози з похибкою, яка не перевищує 7%. Така модель може використовуватись для експертної оцінки і прогнозування роботи ділянок кристалізації сахарози охолодженням на цукрових заводах.

Результати обчислювальних експериментів за побудованою нами моделлю (рис. 13) свідчать, що максимальне знецукрення меляси досягається у випадку застосування проміжного нагрівання утфелю.

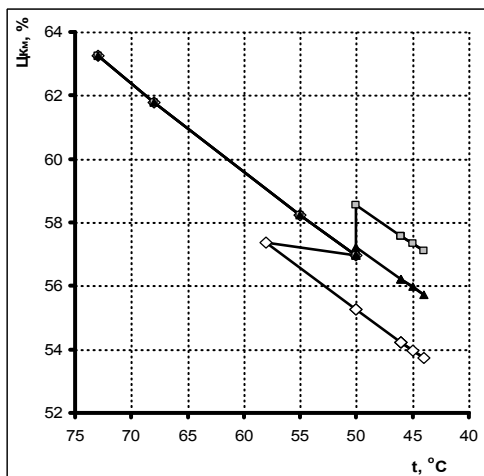
При цьому ефект кристалізації складає $E_{кр}=8,4\%$, в порівнянні з розкачкою утфелю водою – $E_{кр}=5,6\%$, що співпадає з даними наших лабораторних досліджень. Порівняння результатів, отриманих за допомогою моделі та натурних



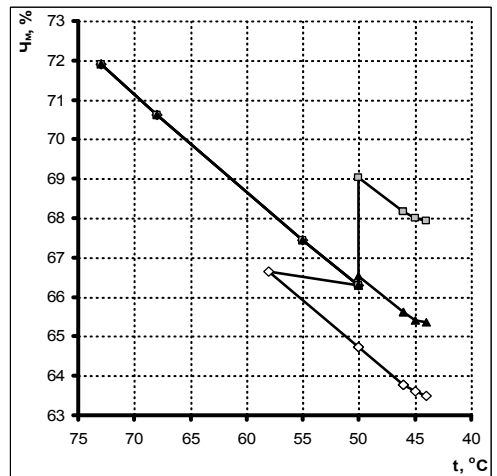
а



б



в



г

Рис.13. Зміна характеристик утфелю від температури при різних режимах ведення процесу: \square – з розкачкою водою; \blacktriangle – з розкачкою мелясою; \diamond – з проміжним нагріванням; а – вміст кристалів в утфелі; б – масова частина сухих речовин в міжкристалльному розчині; в – масова частина сахарози в міжкристалльному розчині; г – чистота міжкристалльного розчину.

П'ятий розділ дисертації містить рекомендації промисловості щодо раціонального ведення процесу політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах.

З метою забезпечення ізогідричних умов процесу доцільно замість розкачок утфелю останнього ступеня кристалізації водою здійснювати його проміжне нагрівання на 7-10°C після охолодження утфелю до 50-55°C. При визначенні терміну політермічної кристалізації $\tau_{кр}$ необхідно врахувати чистоту утфелю останнього ступеня кристалізації після вакуум-апарату відповідно до отриманої нами залежності

$$\tau_{кр} = 134,62 - 1,29C_y . \quad (10)$$

Запропонований спосіб політермічної кристалізації сахарози реалізується шляхом оснащення машино-апаратурної схеми станції додаткової кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації спеціальними нагрівачами для проміжного нагрівання утфелю у відповідності до особливостей компоновки таких схем на конкретному підприємстві. Приклад компоновки машино-апаратурної схеми політермічної кристалізації сахарози оснащеної двома вертикальними кристалізаторами з використанням проміжного нагрівання утфелю наведено на рис.14.

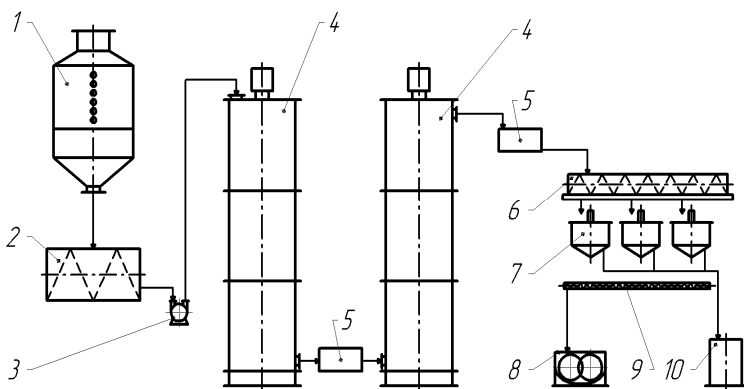


Рис.14. Удосконалена машино-апаратурна схема політермічної кристалізації з проміжним нагріванням утфелю останнього ступеня кристалізації: 1 – вакуум-апарат; 2 – приймальний перемішувач; 3 – утфельний насос; 4 – вертикальні перемішувачі-кристалізатори; 5 – нагрівачі проміжного та кінцевого нагрівання утфелю; 6 – утфелерозподільувач; 7 – центрифуги; 8 – афінаційний перемішувач; 9 – шнек; 10 – збірник меляси

Схема пристрою для проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації наведена на рис. 15.

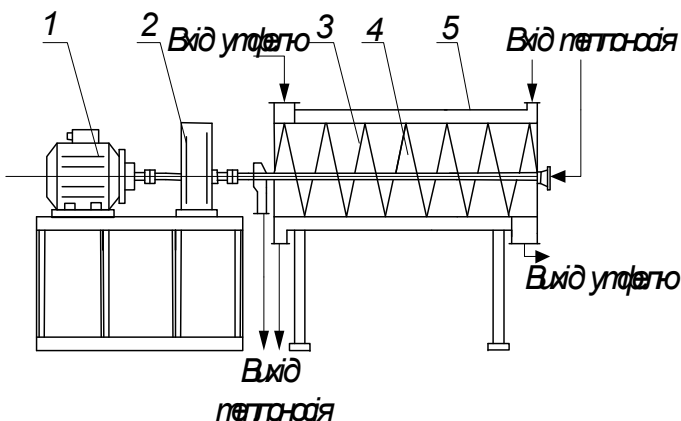


Рис. 15. Пристрій для проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації: 1 – двигун; 2 – редуктор; 3 – теплообмінник; 4, 5 – рухомий та рубашковий нагрівачі

Витрати теплової енергії на проміжне нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації для заводу продуктивністю 3000 тонн буряків на добу складають $Q=70,4$ кВт·год.

Використання результатів проведених досліджень дозволяють досягти максимального знецукрення меляси, забезпечити ефект політермічної кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах в межах 8,2-8,4%.

ВИСНОВКИ

За підсумками виконаної наукової роботи, спрямованої на підвищення ефективності процесу кристалізації охолодженням цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації, одержані наступні наукові та практичні результати:

1. Базуючись на аналізі науково-технічної інформації з кристалізації сахарози охолодженням та на результатах виконаної дисертаційної роботи показано, що застосування, за існуючим регламентом розбавлення (розкачки) водою утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах не забезпечує досягнення максимального ефекту кристалізації внаслідок порушення ізогідричних умов процесу, високого мелясоутворюючого коефіцієнту води, та сприятливих умов для вторинного кристалоутворення в зонах надмірного охолодження утфелю.

2. Доведено, що використання проміжного нагрівання (замість розкачок водою чи мелясою) утфелю останнього ступеня кристалізації після його охолодження до 50-55°C на 7-10°C зі швидкістю 0,95-1,0°C/хв підвищує ефект кристалізації в межах 8,2-8,4% за рахунок зменшення коефіцієнту динамічної в'язкості міжкристального розчину, зменшення коефіцієнту поверхневого натягу та узгодження швидкості охолодження утфелю зі швидкістю кристалізації сахарози.

3. Дослідженням фізичних властивостей утфелю встановлено, що, за умов експерименту, нагрівання утфелю на 7-10°C зменшує коефіцієнт динамічної в'язкості міжкристального розчину чистотою 54,6% майже в 2 рази, чистотою 67,4% в 1,4 рази, при цьому, коефіцієнт поверхневого натягу для міжкристального розчину чистотою 67,5% зменшується від 0,06598 Н/м до 0,06419 Н/м.

4. Показано, що, за умов експерименту, узгодження темпу охолодження 0,95-1,0°C/год до та 0,8-0,95°C/год після проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації зі швидкістю кристалізації зводить до мінімуму вторинне кристалоутворення зменшуючи долю кристалів фракції менше за 0,2 мм до 0,77%.

5. Встановлено, що застосування проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах сприяє поліпшенню гранулометричного складу кристалів утфеля за рахунок рекристалізації за коливальним механізмом. Доля фракцій кристалів цукру розміром >0,5 мм складає 91,5 %.

6. Одержані нами наукові результати стали підґрунтям для запропонованого нового ефективного способу політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах (Патент України на корисну модель №80292. Опубл. 27.05.2013, бюл. № 10), який полягає в заміні розкачок утфелю водою в процесі його

охолодження на проміжне нагрівання від 50-55°C до 7-10°C. Запропоновано нову конструкцію нагрівача утфелю останнього ступеня кристалізації.

7. Побудована імітаційна модель процесу політермічної кристалізації сахарози цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації на основі теорії графів та математичного опису балансових рівнянь цього процесу дозволяє визначити поточні характеристики утфелю та міжкристального розчину в залежності від вихідних характеристик утфелю та умов ведення процесу політермічної кристалізації. Отримані математичні залежності у вигляді двопараметричної моделі зміни характеристик утфелю останнього ступеня кристалізації від його поточної чистоти та температури узгоджуються із результатами виконаних досліджень та висновками інших дослідників про їх експоненціальний характер і відповідають перебігу реального процесу політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах з точністю 2-7%. Запропонована модель може бути використана в практиці цукрового виробництва для експертної оцінки роботи ділянок політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах.

8. Результати виконаних досліджень використані на ТОВ «Ук.Аз.-Дружба» (Жовтневий цукровий завод), що дозволило: підвищити ефект кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації в кристалізаторах на 2,5-3%; зменшити вміст сахарози в мелясі на 0,25-0,27%; покращити гранулометричний склад кристалів цукру останнього ступеня кристалізації.

9. Очікуваний економічний ефект від продовження результатів дисертаційної роботи складає 274,22 тис. грн. при переробці цукровим заводом 158,3 тис. тонн цукрових буряків.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Мирончук В.Г. Імітаційне моделювання кристалізації охолодженням утфелю останнього продукту / Мирончук В.Г., Єщенко О.А., Картава М.М.: // Наукові праці НУХТ, №42 . – Київ, 2012. – с.80-87.
Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування теоретичних положень, формулювання висновків та результатів.
2. Мирончук В.Г. Моделювання кристалізації утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах / Мирончук В.Г., Єщенко О.А., Картава М.М. // Обладнання та технології харчових виробництв: 29 випуск тематичного збірника наукових праць / Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2012. – Том 2. – с.14-22.
Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування, формулювання результатів та висновків.
3. Мирончук В.Г. Интенсификация процесса кристаллизации охлаждением сахарного утфеля последнего продукта / Мирончук В.Г., Ещенко О.А.

Картава М.М. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2012. – Випуск 39. – с.111-117.

Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування, виконання досліджень, формулювання результатів і висновків.

4. Мирончук В.Г. Ефективність проміжного підігріву утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах / Мирончук В.Г., Єщенко О.А. Картава М.М. // Ukrainian Food Journal №2. – Київ, 2012. – с. 73-77.

Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування, виконання досліджень, формулювання результатів і висновків.

5. Мирончук В.Г. Політермічна кристалізація сахарози / Мирончук В.Г., Самілик М.М., Єщенко О.А., // Харчова промисловість. – К.: РВЦ НУХТ., №14. – 2013. – с. 98-101.

Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування, виконання досліджень, формулювання результатів і висновків.

6. Мирончук В.Г. Застосування теплової обробки утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах / Мирончук В.Г., Єщенко О.А., Самілик М.М. // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2012. – № 4 (68) – с. 227–233.

Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування, виконання досліджень, формулювання результатів і висновків.

7. Valeriy Myronchuk, Oxana Yeshchenko, Maryna Samilyk. Sucrose Cooling Crystallization Modelling. // Journal of Faculty of Food Engineering, Ștefan cel Mare University of Suceava, Romania Volume XII, Issue 2 – 2013, pag. 109 – 114. Personal payment of candidate for a degree: implementation of experiments, preparation of materials, is to the seal.

8. Мирончук В.Г. Політермічна кристалізація сахарози / Мирончук В.Г., Єщенко О.А., Самілик М.М. // Наукові праці. Одеська національна академія харчових технологій. – Одеса, 2013. – Вип.43. – Том 2 – с.21-25.

Особистий внесок дисертанта: наукове обґрунтування, виконання досліджень, формулювання результатів і висновків.

Матеріали та тези конференцій

1. Картава М.М. Особливості кристалізації цукрози охолодженням з нечистих цукрових розчинів / Картава М.М., Мирончук В.Г. // Матеріали 74-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 21-22 квітня 2008 р. – Ч.2 – К.: НУХТ, 2008. – с.245.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, написання статті.

2. Підгорний В.М. Оптимізація кристалізації утфелю в мішалках з метою підвищення ефективності центрифугування / Підгорний В.М., Мирончук В.Г., Картава М.М. // Матеріали 75-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 13-14 квітня 2009 р. – Ч.2 – К.: НУХТ, 2009. – с.247.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, написання статті.

3. Картава М.М. Реологічні властивості цукрового утфелю – важливий фактор кристалізації охолодженням / Картава М.М., Мирончук В.Г. // Матеріали 76-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 12-13 квітня 2010 р. – Ч.2 – К.: НУХТ, 2010. –с.121.
Особистий внесок дисертанта: виконання експериментальних досліджень, підготовка матеріалів до друку.
4. Веремей А.В. Аналіз вмісту кристалів в утфелі при кристалізації сахарози охолодженням за допомогою математичного моделювання / Веремей А.В., Картава М.М. // Матеріали 77-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 11-12 квітня 2011 р. – Ч.2 – К.: НУХТ, 2011. –с.58-59.
Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, формулювання висновків і результатів.
5. Дятел О.А. Математичне моделювання вмісту кристалів в утфелі останнього продукту при кристалізації сахарози охолодженням / Дятел О.А., Картава М.М. // Матеріали 78-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 02-03 квітня 2012 р. – Ч.2 – К.: НУХТ, 2012. –с.78-79.
Особистий внесок дисертанта: теоретичне обґрунтування, підготовка матеріалів до друку.
6. Єщенко О.А. Інтенсифікація процесу кристалізації охолодженням цукрових утфелів останнього продукту / Єщенко О.А., Картава М.М. // Матеріали 78-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 02-03 квітня 2012 р. – Ч.2 – К.: НУХТ, 2012. –с.58-59.
Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, підготовка матеріалів до друку.
7. Картава М.М. Аналіз впливу розкачок на кристалізацію утфелю охолодженням / Картава М.М. // Матеріали 78-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 02-03 квітня 2012 р. – Ч.2 – К.: НУХТ, 2012. –с.79-81.
Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, формулювання висновків і результатів.
8. Мирончук В.Г. Особливості кристалізації охолодженням цукрових утфелів останнього продукту / Мирончук В.Г., Єщенко О.А., Картава М.М. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції цукровиків України «Цукробурякове виробництво в умовах реформування національної економіки». – К.: Цукор України, 2012. – с. 110-112.
Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, узагальнення результатів.
9. Мирончук В.Г. Особливості температурного режиму кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах / Мирончук В.Г., Картава М.М. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості». – К.: НУХТ, 2012 – с. 94-95.
Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, висновки.
10. Мирончук В.Г., Самілик М.М., Єщенко О.А. Інтенсифікація кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах. // Міжнародна науково-технічна

конференція «Новітні науково-технічні рішення цукрової промисловості» 11–15 березня 2013 р. – Львів, Варшава: 2013 – с. 75–80 (переклад с.81–86)
Особистий внесок дисертанта: виконання експериментальних досліджень, узагальнення результатів і висновків.

11. V.Myronchuk, O.Yeshchenko, M.Samilyk. Final Sugar Masecuite Cooling Crystallization. // The Second North and East European Congress on Food. Kyiv: NUFT, 2013 – p. 230.

Personal payment of candidate for a degree: implementation of experiments, preparation of materials, is to the seal.

12. Мирончук В.Г. Альтернатива розкачці утфелю останнього продукту водою в перемішувачах-кристалізаторах / Мирончук В.Г., Самілик М.М. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції цукровиків України «Шляхи диверсифікації виробництва продукції на цукрових заводах України» - К.: Цукор України, 2013. – с. 164-167.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, підготовка матеріалів до друку.

Патент на корисну модель

1. Мирончук В.Г., Єщенко О.А., Самілик М.М. Спосіб кристалізації цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації. // Патент України на корисну модель №80292. Опубл. 27.05.2013, бюл. № 10.

Особистий внесок дисертанта: запропоновано після охолодження утфелю останнього ступеня кристалізації до 50-55°C здійснювати його проміжне нагрівання на 7-10°C.

АНОТАЦІЯ

Самілик Марина Михайлівна. Підвищення ефекту політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12. – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2013.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесу політермічної кристалізації сахарози в перемішувачах-кристалізаторах при проведенні додаткової кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації.

Розглянуто питання доцільності використання проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації замість розкачок водою чи мелясою при політермічній кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах.

Кінетика процесу кристалізації залежить від коефіцієнту пересичення міжкристального розчину різної чистоти.

В результаті зменшення температури утфелю, а, як наслідок - чистоти міжкристального розчину, в процесі кристалізації охолодженням, зменшується швидкість кристалізації по причині зростання коефіцієнту динамічної в'язкості міжкристального розчину.

Це, та наявність нерівномірності температурного поля біля поверхонь теплообміну в перемішувачах-кристалізаторах провокує утворення вторинних кристалів та конгломератів, що погіршує умови кристалізації, центрифугування і, як наслідок, підвищує вміст сахарози в мелясі.

Проміжне нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації на 7-10°C від температури 50-55°C до 58-60°C в процесі політермічної кристалізації усуває недоліки розкачок утфелю водою чи мелясою і забезпечує ефект кристалізації 8,2-8,4% при кращих гранулометричних характеристиках кристалів цукру і підвищує ефект знецукрення меляси.

За таких умов ведення процесу досягається найбільше знецукрення меляси.

Ключові слова: кристалізація, утфель, меляса, міжкристальний розчин, перемішувач-кристалізатор, коефіцієнт динамічної в'язкості, швидкість кристалізації, пересичення.

ANNOTATION

Samilyk Marina Mikhailovna. Enhancing effect politermal crystallization of sucrose in the mixer crystallizer.

Dissertation for competition of scientific candidate's degree of Technical Sciences by speciality 05.18.12. - Processes and equipments of food, microbiological and pharmaceutical productions. - The National University of Food Technologies of Department of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2013.

Dissertation work is devoted research of process politermal crystallization of sucrose in mixer crystallizer during further crystallization massecuite latest product.

The problem of the usefulness of an intermediate heat finish crystallization massecuite instead of dilution with water or molasses at polythermal mixers-crystallizer is discussed.

The kinetics of the crystallization process depends on the supersaturation coefficient of the different purity syrup.

As a result of the decrease in temperature massecuite, syrup purity during cooling crystallization reduces the crystallization rate due to syrup viscosity increase.

This, and the presence of temperature distribution unevenness next to the heat transfer surface in mixer-crystallizers provoke the formation of secondary grains and conglomerates impair crystallization and centrifugation conditions, and, consequently, increase the sucrose content of the molasses. Intermediate heating by 7-10 °C of the finish crystallization stage massecuite from temperature of 50-55 °C to 58-60 °C during polythermal crystallization overcomes the disadvantages of water or molasses dilution and provides the effect of crystallization of 8,2-8,4 % with better grain size characteristics sugar crystals and increases molasses desugarization.

Keywords: crystallization, massecuite, molasses, syrup purity, mixer-crystallizers, viscosity, crystallization rate, satiety.

АННОТАЦИЯ

Самилык Марина Михайловна. Повышение эффекта политермической кристаллизации сахарозы в мешалках-кристаллизаторах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12. – Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Киев, 2013.

Диссертационная работа посвящена исследованию процесса политермической кристаллизации сахарозы в мешалках-кристаллизаторах при проведении дополнительной кристаллизации утфеля последнего продукта.

Рассмотрены вопросы целесообразности использования промежуточного нагрева утфеля последней кристаллизации вместо раскачек водой или мелассой при политермической кристаллизации в мешалках-кристаллизаторах.

Кинетика процесса кристаллизации зависит от коэффициента пересыщения межкристалльного раствора различной чистоты.

В результате уменьшения температуры утфеля, а как следствие - чистоты межкристалльного раствора, в процессе кристаллизации охлаждением, уменьшается скорость кристаллизации по причине роста вязкости межкристалльного раствора.

Неравномерность температурного поля у поверхности теплообмена в мешалках-кристаллизаторах провоцирует образование вторичных кристаллов и конгломератов, при этом уменьшается скорость кристаллизации, повышается коэффициент динамической вязкости межкристалльного раствора, а соответственно – ухудшаются условия центрифугирования. Все эти факторы провоцируют повышение содержания сахарозы в мелассе.

Промежуточный нагрев утфеля последней ступени кристаллизации на 7-10 °С от температуры 50-55 °С до 58-60 °С в процессе политермической кристаллизации устраняет недостатки раскачек утфеля водой или мелассой и обеспечивает эффект кристаллизации 8,2-8,4%. При этом значительно улучшается гранулометрический состав кристаллов сахара.

Рекомендуется проводить охлаждение утфеля со скоростью 0,95-1,0°С/час в начале процесса кристаллизации, а после промежуточного нагрева – 0,8-0,95°С/час. При таком режиме скорость охлаждения практически совпадает со скоростью кристаллизации. В процессе промежуточного нагрева растворяются мелкие кристаллы, а кристаллы средних размеров увеличиваются за счет молекул сахарозы, которые находятся в межкристалльном растворе.

Использование такого режима политермической кристаллизации позволяет получить мелассу с минимально возможным содержанием сахарозы.

Ключевые слова: кристаллизация, утфель, меласса, межкристалльный раствор, мешалка-кристаллизатор, коэффициент динамической вязкости, пересыщение.