

УДК 664.1.05

**В. Мирончук, докт. техн. наук; О. Єщенко, канд. техн. наук;  
М. Самілик**

*Національний університет харчових технологій*

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ УТФЕЛЮ ОСТАННЬОГО ПРОДУКТУ В ПЕРЕМІШУВАЧАХ-КРИСТАЛІЗАТОРАХ**

**Резюме.** На основі виробничих, лабораторних та обчислювальних експериментів запропоновано новий спосіб інтенсифікації процесу кристалізації утфелю останнього продукту в мішалках-кристалізаторах. Показано доцільність заміни розкачок утфелю останнього продукту водою в мішалках-кристалізаторах проміжним нагріванням утфелю на 7–10°C після зниження його температури до 50–55°C. За таких умов досягається ефект кристалізації 7,4–8,2%.

**Ключові слова:** утфель, проміжне нагрівання, кристалізація, сахароза, кристал.

**V. Myroncuk, O. Yeshchenko, M. Samilyk**

## **APPLICATION OF HEAT MANIPULATION OF LAST PRODUCT MASSECUITE IN THE MIXER-CRYSTALLIZERS**

**Summary.** The article, basing on the production, laboratory and computational experiments, proposes a new method of intensification of the process of crystallization of the last product massecuite in the mixer-crystallizer. The method deals with the fact that instead of dilutions of sugar massecuite in the mixers-crystallizers with water or impure sugar solution after its cooling to 50–55°C the heating of massecuite to 7–10°C is proposed. Dilution sugar massecuite with water or impure sugar solution on existing technologies reduces almost in three times the viscosity of the syrup which increases the rate of crystallization of sucrose. However, the dilution of massecuite with water violates isohydrate conditions of the crystallization process, satiety of syrup reduces, which makes it impossible to achieve the desired crystallization effect, which under these conditions is 3,6–4,2%. Moreover, water is a good molasses generator that increases the output of molasses, and thus the content of sucrose in it. To analyze the effectiveness of the intermediate heating massecuite of the last product in the mixer-crystallizer a series of investigations have been carried out. The results of these researches have testified that the intermediate heating of massecuite in the mixer-crystallizers does not violate the isohydrate conditions of the process, reduces the viscosity of the syrup in two times at the same time leaves unchanged the necessary satiety of the syrup and sucrose concentration in it. The sucrose crystallization process is intensified; much granulometric composition of sugar crystals in the final massecuite is improved greatly. The use of intermediate heat, instead of the massecuite dilution by water or sugar solution reduces the amount of sucrose in the molasses and reduces its output by 2,5%. The results of the comparative research testify the purposefulness of substitution of the massecuite dilution of the last product in the mixer-crystallizers by water or impure sugar solution by the intermediate heating of the massecuite in 7–10°C after reducing of its temperature to 50–55°C. Therefore, under these conditions intensification of crystallization of sucrose in mixers-crystallizers, which provides the effect of crystallization 7,4–8,2% is achieved.

**Key words:** sugar massecuite, intermediate heating, crystallization, sucrose, crystal.

**Постановка проблеми.** Одним із головних завдань цукрового виробництва, крім отримання високоякісного цукру, є зменшення вмісту сахарози в мелясі. Оскільки меляса є кінцевим продуктом виробництва і, здебільшого, не підлягає подальшій переробці в межах цукрового заводу, слід проводити процес знецукрення таким чином, щоб у ній залишилася мінімальна кількість сахарози.

**Аналіз досліджень з даного питання.** На сьогодні основним способом знецукрення м'яса є кристалізація утфелю останнього продукту шляхом його охолодження. Об'єктом наших досліджень був процес ізогідричної кристалізації утфелю охолодженням. Відомо, що рушійною силою процесу ізогідричної кристалізації є різниця концентрацій, яка досягається за умов охолодження утфелю внаслідок зменшення розчинності сахарози при зниженні температури утфелю. Кристалізація в утфелі при охолодженні в мішалках-кристалізаторах відбувається зі значно меншою швидкістю, ніж у вакуум-апараті [1, 2].

Існує кілька способів проведення додаткової кристалізації утфелю останнього продукту охолодженням у мішалках-кристалізаторах. Більшість дослідників [1, 2, 3] вважають, що оптимальна тривалість кристалізації становить 28–32 години. Охолодження проводиться до температури утфелю 40°C, швидкість охолодження – 1,1–1,5°C/год. Але за такої швидкості охолодження цукрового утфелю низької чистоти темп охолодження перевищує швидкість кристалізації, що викликає інтенсивне вторинне кристалоутворення. Значне зменшення швидкості кристалізації спостерігається при зниженні температури до 50°C і нижче [4] внаслідок зростання в'язкості, яка є основним фактором, що чинить опір транспортуванню молекул сахарози із розчину на поверхню існуючих кристалів цукру.

З метою зниження в'язкості міжкристального розчину утфелю останнього продукту на більшості цукрових заводів проводиться розбавлення (розкачування) утфелю водою вже в третьому кристалізаторі. Цей метод певною мірою дозволяє покращити умови кристалізації. Але, як відомо, вода є добрим м'ясоутворювачем, що збільшує вихід м'яса, отже, і вміст сахарози в ній. При розкачуванні утфелю водою розчиняються кристали цукру, і сахароза, що розчиняється, в подальшому не повністю викристалізовується на поверхні існуючих кристалів. Окрім того, додавання в утфель води порушує ізогідричні умови кристалізації, що не дозволяє отримати бажаний ефект кристалізації

**Мета досліджень** – знаходження альтернативного способу зниження в'язкості, підвищення швидкості кристалізації утфелю останнього продукту виключно в ізогідричних умовах. Встановлено [2], що з підвищенням температури на 10°C швидкість кристалізації збільшується приблизно в 2 рази. З цієї причини замість розкачування утфелю водою доцільно здійснювати його нагрів до певної температури. При підвищенні температури знижується в'язкість цукрових розчинів, підвищується швидкість кристалізації та зростає розчинність сахарози. Отже, необхідно визначити, наскільки можливо підвищити температуру охолодженого утфелю, щоб забезпечити суттєве зменшення в'язкості при одночасному збереженні необхідного пересичення й концентрації сахарози в міжкристальному розчині.

**Результати досліджень.** Для накопичення вихідних даних ми проаналізували роботу станції додаткової кристалізації утфелю останнього продукту в комбінованих схемах (вертикальні + горизонтальні мішалки-кристалізатори). Для проведення промислових досліджень скористалися комбінованою станцією додаткової кристалізації утфелю останнього продукту на Жовтневому цукровому заводі (ТОВ «УК.АЗ. – Дружба»). За існуючим на підприємстві технологічним регламентом утфель спочатку кристалізується у вертикальній мішалці-кристалізаторі протягом 18 годин,

далі після розкачування водою – в 6 горизонтальних мішалках-кристалізаторах протягом 26 годин.

На основі аналізу зразків утфелю та кристалічного цукру перед розкачуванням водою після вертикального кристалізатора, після розкачування водою в першій горизонтальній мішалці та після центрифугування ми дійшли висновку, що розкачування утфелю водою унеможливило досягнення бажаного ефекту кристалізації, який за даного технологічного режиму складає лише 4%.

Для надання промисловості рекомендацій щодо підвищення ефекту додаткової кристалізації утфелю останнього продукту ми провели ряд досліджень на розробленій та виготовленій нами лабораторній установці. Для лабораторних досліджень використали штучний утфель із цукру та меляси Жовтневого цукрового заводу.

Відповідно до завдання досліджень, визначили межу підвищення температури утфелю при проміжному нагріванні (замість розкачування водою), щоб забезпечити максимальну швидкість кристалізації при зростанні розчинності сахарози, зменшенні в'язкості міжкристального розчину за сталих ізогідричних умов кристалізації.

Залежність коефіцієнта розчинності від температури  $t$  на проміжку 40...70°C визначили за формулою, отриманою методом найменших квадратів за умов, що в процесі кристалізації охолодженням та проміжному нагріванні утфеля вміст нецукрів та води в міжкристальному розчині залишається незмінним:

$$H_0(t, \varphi) = 1,0502 + 0,1903t - 0,01827\varphi + 6,084 \cdot 10^{-5}t^2 - 4,1505 \cdot 10^{-3}t\varphi + 6,926 \cdot 10^{-3}\varphi^2 + 6,429 \cdot 10^{-6}t^3 - 8,317 \cdot 10^{-6}t^2\varphi + 2,821 \cdot 10^{-5}t\varphi^2 - 5,244 \cdot 10^{-6}\varphi^3 \quad (1)$$

На початку кристалізації охолодженням за рівняннями матеріального балансу [5] визначили:

масу міжкристального розчину

$$G_{m_n} = \frac{G_y W_y}{100\%} H_0(t_n, \varphi_{m_n}) K_{nep} + \frac{G_y H_{ц_y}}{100\%} + \frac{G_y W_y}{100\%}; \quad (2)$$

масу кристалів

$$G_{kp_n} = G_y - G_{m_n}; \quad (3)$$

вміст кристалів в утфелі

$$Kp_n = \frac{G_{kp_n}}{G_y} 100\%, \quad (4)$$

де  $G_y$  – маса утфелю;

$W_y$  – ваговий вміст води в утфелі;

$H_0$  – коефіцієнт розчинності сахарози;

$t_n$  – температура утфелю;

$H_{ц_y}$  – маса нецукрів в утфелі;

$K_{nep}$  – коефіцієнт пересичення.

За співвідношенням (2 – 4) знаходили характеристики початкового утфелю протягом процесу та в кінці кристалізації. Водночас масу кристалів та їх уміст в утфелі визначили ваговим методом. Похибка між розрахунковими і дослідними даними не перевищила 3%.

Використавши рівняння (1), відповідно до отриманих у результаті лабораторних досліджень даних розраховали розчинність сахарози при температурах 40 – 70°C. Отримані розрахункові дані співпадають з даними інших дослідників [2]. Розраховане пересичення міжкристального розчину за такої розчинності склало близько 1,4 одиниці. За такого пересичення після охолодження до 50°C швидкість кристалізації значно знижується за рахунок значного зростання в'язкості міжкристального розчину. Для усунення цього недоліку здійснювали проміжне нагрівання утфелю на 5°C; 7°C; 10°C замість розкачування водою. За таких умов інтенсивність кристалізації значно зростала за рахунок зменшення в'язкості міжкристального розчину від 10,1 Па·с до 4,7 Па·с при ustalених ізогідричних умовах кристалізації.

Для аналізу ефективності застосування проміжного нагрівання утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах проведено серію досліджень, в яких поряд із застосуванням розкачувань утфелю водою, мелясою застосовували проміжне нагрівання утфелю на 5, 7, 10 та 12°C. Отримані результати свідчать, що найкращого ефекту кристалізації досягається, коли температура проміжного нагрівання утфелю в перемішувачах-кристалізаторах складає 7 – 10°C (табл. 1). Окрім того, ми встановили, що зі зменшенням чистоти початкового утфелю температуру його проміжного нагрівання необхідно підвищувати.

Результати виконаних досліджень показали, що ефект кристалізації за умов застосування проміжного нагрівання утфелю зростає і становить 7,4 – 8,2%. Окрім зростання ефекту кристалізації, наведені на рис. 1 дані свідчать, що застосування проміжного нагрівання утфелю останнього продукту в процесі його кристалізації охолодженням значно покращує гранулометричний склад цукру. Про це свідчать мікрофотографії кристалів цукру, отримані за прийнятою типовою схемою та за умов проміжного нагрівання (рис. 2).

Таблиця 1.

Порівняльні результати експериментальних досліджень

Показник	Одиниця вимірювання	Початок кристалізації	Перед розкачуванням, чи проміжним нагріванням	Кінець кристалізації	Оцінка
1	2	3	4	5	6
Дані лабораторних експериментів					
Утфель					
Вміст сухих речовин	%	93,10	93,10	93,10	

Вміст сахарози	%	73,79	73,78	73,77	
Чистота	%	79,25	79,24	79,23	
Міжкристальний розчин					
З розкачуванням водою					Незадовільно
Вміст сухих речовин	%	81,40	79,80	78,80	
Вміст сахарози	%	58,00	55,05	54,41	
Чистота	%	71,25	68,98	68,96	
З розкачуванням мелясою					Задовільно
Вміст сухих речовин	%	81,40	79,80	79,20	
Вміст сахарози	%	58,00	55,05	52,80	
Чистота	%	71,25	68,98	66,67	
З проміжним підігрівом на 5 °С					Добре
Вміст сухих речовин	%	81,40	79,80	78,40	
Вміст сахарози	%	58,00	55,05	50,60	
Чистота	%	71,25	68,98	64,54	
З проміжним підігрівом на 7 °С					Відмінно
Вміст сухих речовин	%	81,40	79,80	78,2	
Вміст сахарози	%	58,00	55,05	50,01	
Чистота	%	71,25	68,98	63,95	
З проміжним підігріванням на 10 °С					Відмінно
Вміст сухих речовин	%	81,40	79,80	78,00	
Вміст сахарози	%	58,00	55,05	49,10	
Чистота	%	71,25	68,98	63,72	
З проміжним підігріванням на 12 °С					Задовільно
Вміст сухих речовин	%	81,40	79,80	78,80	
Вміст сахарози	%	58,00	55,05	51,70	
Чистота	%	71,25	68,98	65,61	

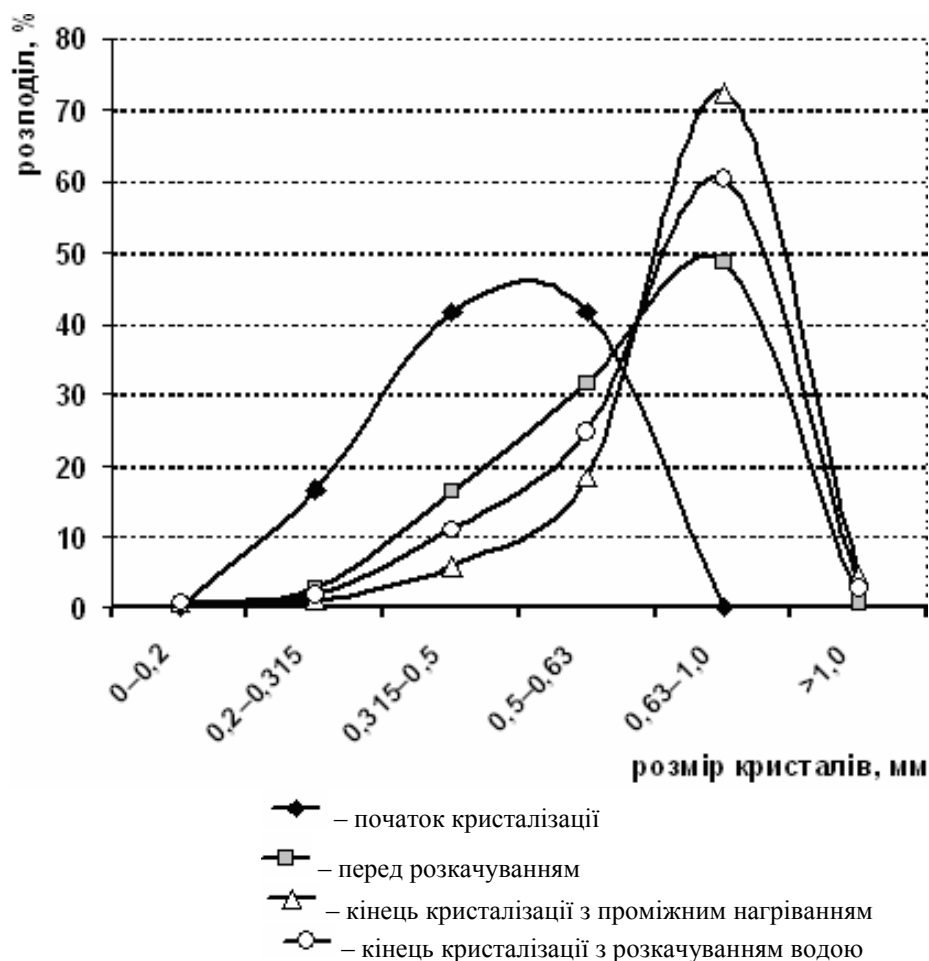


Рисунок 1. Зміна розподілу лінійного розміру кристалів цукру при проміжному нагріванні утфелю та розкачуванні водою

Figure 1. Changes in distribution of the linear size of sugar crystals in the intermediate heat masseccuite and diluted with water

Отже, проміжне нагрівання утфелю в процесі його кристалізації охолодженням забезпечує отримання крупних і рівномірних кристалів цукру. Отримані результати показують, що запропонований технологічний режим у мішалках-кристалізаторах інтенсифікує процес кристалізації, забезпечує більш глибоке знецукрення міжкристалічного розчину утфелю останнього продукту, що зводить до мінімуму вміст сахарози в мелясі. Застосування проміжного нагрівання утфелю замість розкачування утфелю водою чи цукровими розчинами забезпечує ефект кристалізації до 7,4 – 8,2%, що значно більше в порівнянні з розкачування водою, де він складає 3,6%, та розкачуванням нечистим цукровим розчином – 4,2%. Іншим важливим наслідком використання проміжного нагрівання утфелю є те, що виключення розкачувань утфелю водою чи цукровими розчинами зменшує вихід меляси на 2,5%.

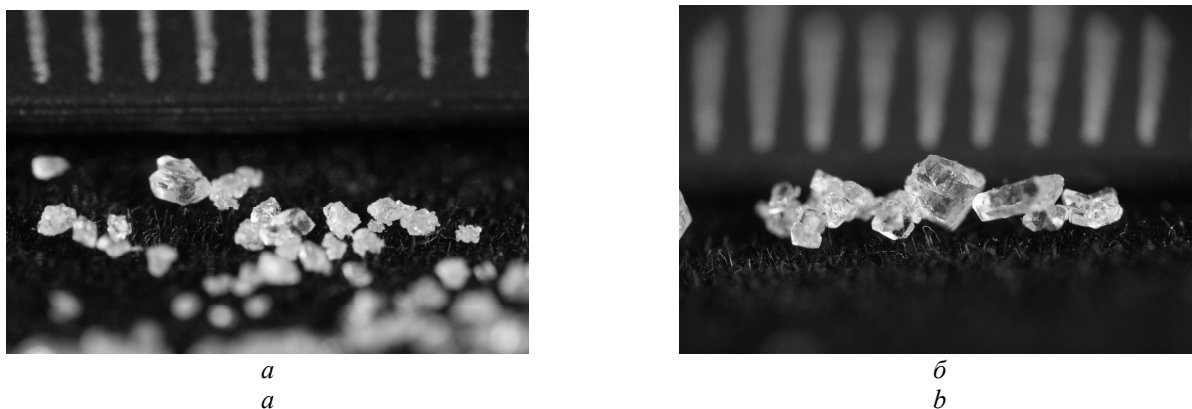


Рисунок 2. Кристали цукру останнього продукту:  
а – за схемою, прийнятою у виробництві; б – за умов проміжного нагрівання утфелю

Figure 2. Sugar crystals of the last product:  
a – scheme adopted in the industry; b – under conditions of intermediate heating of massecuite

**Висновки.** Використання проміжного нагрівання утфелю останнього продукту на  $7\div 10^{\circ}\text{C}$  замість розкачуванням його водою чи цукровим розчином зводить до мінімуму вторинне кристалоутворення, створює сприятливі умови для інтенсивної кристалізації утфелю останнього продукту в мішалках-кристалізаторах, збільшуючи ефект кристалізації в них майже в 2 рази.

**Conclusions.** Using of the intermediate heating of the massecuite last product in  $7\div 10^{\circ}\text{C}$  instead of dilution of it with water or sugar solution minimizes the secondary crystallization, creates favourable conditions for the intensive crystallization of the massecuite last product in the mixer-crystallizers, increasing the effect of crystallization in them almost in two times.

#### Список використаної літератури

1. Ярчук, М.М. Технологічний процес виробництва цукру з цукрових буряків. Правила усталеної практики 15.83–37–106:2007 [Текст] / М.М. Ярчук, М.Ф. Калінченко, В.Н. Чупахіна. – К.: Цукор України, 2007. – 420 с.
2. Штангеева, В.О. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. Часть 2 [Текст]; под ред. В.О. Штангеева. – К.: Цукор України, 2004, – 320 с.
3. Скорик, К.Д. Промислова кристалізація цукру: навчальний посібник [Текст] / К.Д. Скорик. – К.: ІПДО НУХТ, 2004. – 202 с.
4. Мирончик, В.Г. Кристалізація цукру у вертикальних кристалізаторах з подовженим терміном охолодження [Текст] / В.Г. Мирончук // Наукові праці НУХТ. – 1998. – №4. – С. 66 – 67.
5. Мирончук, В.Г. Методика моделювання процесу промислової кристалізації цукрози [Текст] / В.Г. Мирончук, О.А. Єщенко // Харчова промисловість. – К.: НУХТ. – 2009. – № 8. – С.87 – 90.

Отримано 06.12.2012

**ВІСНИК ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ**

Науковий журнал

№ 4 (68) 2012

Редактори *Є.І. Гриценко, Л.Й. Петришина*  
Коректор *Н.В. Собчук*  
Комп'ютерне макетування *Н.Р. Шаблій*

Тираж 125 пр. Зам. № 1984.

Видавець та виготівник Тернопільський національний  
технічний університет ім. Івана Пулюя  
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001  
E-mail: [vydavnytstvo@tu.edu.te.ua](mailto:vydavnytstvo@tu.edu.te.ua)  
Тел. 52-21-99, 42-79-65

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 4226 від 08.12.2011 р.