

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

Національний університет харчових технологій

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ УТФЕЛЮ ОСТАННЬОГО ПРОДУКТУ В ПЕРЕМІШУВАЧАХ-КРИСТАЛІЗАТОРАХ

***Резюме.** В статті, на основі виробничих, лабораторних та обчислювальних експериментів запропоновано новий спосіб інтенсифікації процесу кристалізації утфелю останнього продукту в мішалках-кристалізаторах. Показана 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

***The summary.** Based on the industrial, laboratory and computational experiments the article suggests method of intensifying the process of the last product massecuite crystallization in the mixer-crystallizer. The expediency of replacing dilution last product massecuite with water in a mixer-crystallizer by intermediate heating massecuite by 7÷10 °C after reducing its temperature to*

50÷55 °C. Under such conditions, the effect of the crystallization process is achieved by 7,4 ÷ 8,2 %.

Keywords: *sugar massecuite, intermediate heating, crystallization, sucrose, crystal.*

Постановка проблеми. Однією із головних задач 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 в ній залишилась мінімальна кількість сахарози.

Аналіз досліджень з даного питання. На сьогоднішній день основним способом знецукрення меляси 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 пониженні температури утфелю. Кристалізація в утфелі при охолодженні в мішалках-кристалізаторах відбувається із значно меншою швидкістю ніж у вакуум-апараті [1, 2].

Існує декілька способів проведення додаткової кристалізації утфелю останнього продукту охолодженням в 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 (розкачка) утфелю водою вже в третьому кристалізаторі. Цей метод в певній мірі дозволяє покращити умови кристалізації. Але, як відомо, вода є добрим мелясоутворювачем, що збільшує вихід меляси, отже і вміст сахарози в ній. При розкачці 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. Завданням наших досліджень було 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 на скільки можливо підвищити температуру охолодженого утфелю, щоб забезпечити суттєве зменшення в'язкості при одночасному збереженні необхідного пересичення і концентрації сахарози в міжкристальному розчині.

Результати досліджень. Для накопичення вихідних даних нами проаналізована робота станції додаткової кристалізації утфелю останнього продукту в комбінованих схемах (вертикальні + горизонтальні мішалки-кристалізатори). Для проведення промислових досліджень скористались 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 розкачкою водою після вертикального кристалізатора, після розкачки водою в першій горизонтальній мішалці та після центрифугування ми дійшли висновку, що розкачка утфелю водою унеможливорює досягнення бажаного ефекту кристалізації, який за даного технологічного режиму складає лише 4%.

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

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

Залежність коефіцієнту 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 нагріві 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:

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

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_{cy} – маса нецукрів в утфелі; K_{nep} – коефіцієнт пересичення.

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

Використавши рівняння (1), відповідно до отриманих в результаті лабораторних досліджень даних, розраховували розчинність сахарози при температурах 40–70°C. Отримані розрахункові дані співпадають з даними інших дослідників [2]. Розраховане нами 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 проміжний нагрів утфелю на 5 °C; 7 °C; 10 °C замість розкачок 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 усталених ізогідричних умовах кристалізації.

Для аналізу ефективності застосування проміжного нагрівання утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах нами проведено серія досліджень, в яких поряд з застосуванням розкачок утфелю водою, мелясою застосовували проміжне нагрівання утфелю на 5, 7, 10 та 12 °C. Отримані результати говорять проте, що найкращого ефекту кристалізації

досягається, коли температура проміжного нагрівання утфелю в перемішувачах-кристалізаторах складає 7–10 °С (табл. 1). Окрім того нами встановлено, що зі зменшенням чистоти початкового утфелю температуру його проміжного нагрівання необхідно підвищувати.

Таблиця 1. Порівняльні результати експериментальних досліджень

Показник	Одиниця вимірювання	Початок кристалізації	розкачкою, чи проміжним	Кінець кристалізації	Оцінка
1	2	3	4	5	6
Утфель:	Дані лабораторних експериментів				Незадовільно
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					
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					
Вміст сухих речовин	%	81,40	79,80	79,20	Задовільно

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
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 підігрівом 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 підігрівом 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	

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 про те, що застосування проміжного нагріву утфелю останнього продукту в процесі його кристалізації

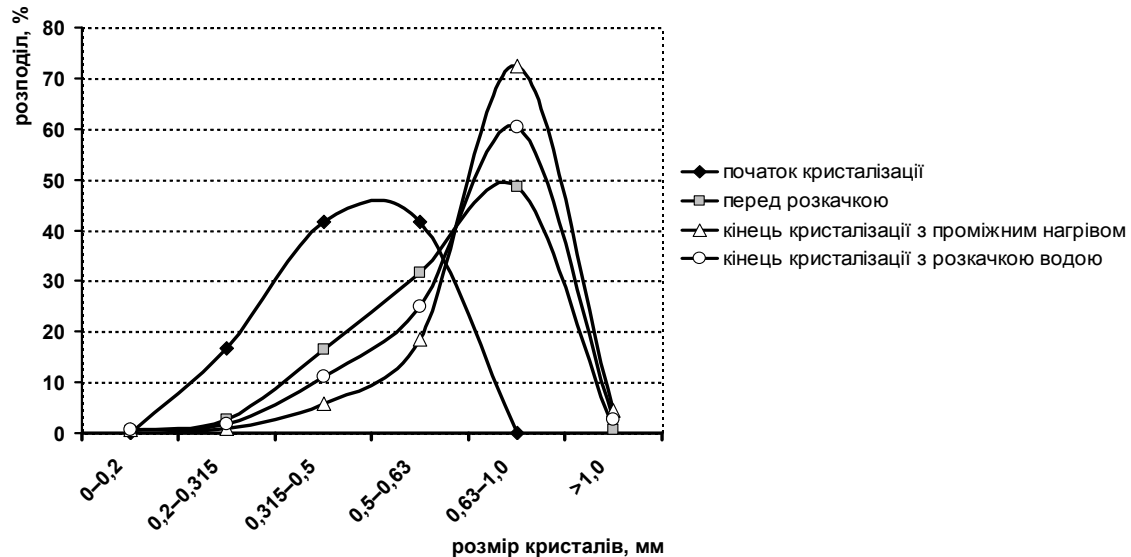


Рисунок 1. Зміна розподілу лінійного розміру кристалів цукру при проміжному нагріванні утфелю та розкачці водою

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

охолодженням значно покращує гранулометричний склад цукру. Про це свідчать мікрофотографії кристалів цукру отриманих за прийнятою типовою схемою та за умов проміжного нагрівання (рис.2).

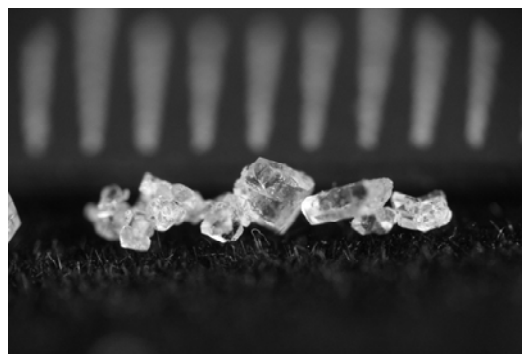
Отже, проміжне нагрівання утфелю в процесі його кристалізації охолодженням забезпечує отримання крупних і рівномірних кристалів цукру. Отримані результати показують, що запропонований технологічний режим в мішалках-кристалізаторах інтенсифікує процес кристалізації, забезпечує більш глибоке знецукрення міжкристалічного розчину утфелю останнього продукту, що зводить до мінімуму вміст сахарози в мелясі. Застосування проміжного нагріву утфелю замість розкачки утфелю водою чи цукровими розчинами забезпечує ефект кристалізації до 7,4–8,2 %, що

значно більше в порівнянні з розкачками водою, де він складає 3,6 %, та розкачками нечистим цукровим розчином – 4,2 %. Іншим важливим наслідком використання проміжного нагріву утфелю є те, що виключення розкачок утфелю водою чи цукровими розчинами зменшує вихід меляси на 2,5%.



a

a



б

b

Рисунок 2. Кристали цукру останнього продукту:

а – за схемою прийнятою у виробництві; б – за умов проміжного нагрівання утфелю

Figure 2. Sugar crystals last product:

a – scheme adopted in the industry; b – under conditions of intermediate heating massecuite

Висновки. Використання проміжного нагрівання утфелю останнього продукту на $7\div 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ замість розкачок 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 the intermediate heating last product massecuite $7\div 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ instead of dilution with water or sugar solution minimizes the secondary crystallization, creates favorable conditions for intensive crystallization

massecuite last product in the mixer-crystallizers, increasing the effect of crystallization in them almost twice.

Література:

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