

УДК 664.1.05

**УДОСКОНАЛЕНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ МЕЛЯСИ НИЗЬКОЇ ЧИСТОТИ З  
МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ САХАРОЗИ**

**М.М. Самілик**, к.т.н., ст. виклад.  
факультету харчових технологій  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID ID: 0000-0002-4826-2080

*Предметом досліджень є цукровий утфель останнього ступеня кристалізації та бурякова меляса. Метою роботи є визначення умов досягнення максимально можливого виходу цукру високої якості з мінімальними втратами сахарози за рахунок підвищення ефекту кристалізації сахарози в мішалках-кристалізаторах шляхом максимального висолоджування меляси. Методи дослідження включають натурні дослідження в промислових та лабораторних умовах, оброблення результатів досліджень. Накопичення і аналіз інформації щодо предмету досліджень здійснено емпірично-дослідним методом. Визначення технологічних характеристик утфелю та міжкристального розчину (меляси) виконано за допомогою сучасного сертифікованого лабораторного обладнання. За результатами досліджень 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. Доведено 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. Запропонована нова конструкція пристрою для проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації. На основі проведених досліджень надано рекомендації промисловості щодо раціонального режиму політермічної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах. Проведено більш детальний аналіз впливу окремих факторів на процес кристалізації сахарози охолодженням.*

**Ключові слова:** меляса, кристалізація охолодженням, утфель, міжкристальний розчин, розкачка водою, проміжний підігрів.

**IMPROVED METHOD FOR GETTING MELASSES OF LOW QUALITY TO  
IMPROVE THE EFFECT OF CRYSTALIZATION OF SACHAROSIS**

**M. Samilyk**, Ph.D, Technics,  
Lecturer at the Faculty  
Food Technologies of the Sumy National Agrarian University  
ORCID ID: 0000-0002-4826-2080

*The object of research is the massecuite of the last degree of crystallization and beet molasses. The purpose of the work is to determine the conditions for achieving the highest possible yield of high quality sugar with minimal loss of sucrose due to the increase of the effect of crystallization of sucrose in the crystallizer mixers by maximizing the molasses desugaring. Research methods include studies in industrial and laboratory conditions, processing of research results. The accumulation and analysis of information on the subject of research is*

carried out by an empirical research method. The determination of the technological characteristics of the molasses and intercrystal solution is carried out using modern, certified laboratory equipment. According to the results of the research, it has been shown that the use of the massecuite of the last degree crystallization in the mixer-crystallizers does not achieve the maximum effect of crystallization due to the violation of the isogidic conditions of the process. The diluting of massecuite with low-purity sugar solution (molasses) reduces the rate of subsequent crystallization of sucrose. The expediency of intermediate heating of the mass of the last degree of crystallization at 7-10°C during the process of its polythermal crystallization in the crystallization mixers after the decrease of the temperature of the mass to 50-55°C has been proved. The new design of the device for intermediate heating of the ceiling of the last degree of crystallization is proposed. On the basis of the conducted researches the recommendations of the industry concerning the rational mode of polythermal crystallization of the massecuite of the last degree of crystallization in the mixer-crystallizers were given. A more detailed analysis of the influence of individual factors on the process of crystallization of sucrose by cooling was carried out.

**Key words:** molasses, cooling crystallization, massecuite, intercrystalline solution, dilution with water, the intermediate heating.

**Вступ.** Головним завданням цукрового виробництва є досягнення максимально можливого виходу цукру високої якості з мінімальними втратами сахарози на всіх етапах його виробництва. Кристали цукру ростуть за рахунок виснаження міжкристального розчину. Сахароза, що не викристалізувалась, залишається у складі меляси.

Меляса – побічна продукція бурякоцукрового виробництва, яка використовується як сировина для виробництва етилового спирту, харчових кислот, хлібопекарських та кормових дріжджів і як добавка до корму сільськогосподарських тварин [1].

Цінність меляси визначається її фізико-хімічними показниками, %:

- масова частка сухих речовин – 75,0;
- масова частка сахарози – 43,0;
- масова частка суми цукрі, що зброджуються – 44,0.

Задачею цукрового виробництва є отримання меляси з мінімальним вмістом сахарози. Зниження чистоти меляси на 1% дає можливість збільшити вихід цукру-піску на 0,07-0,1% до маси буряків. З цією метою проводиться додаткова кристалізація утфелю останнього ступеня кристалізації шляхом охолодження. Це пояснюється тим, що в цукровій промисловості використовується лише незначна кількість меляси, найчастіше, в якості добавки при виробництві сушеного збагаченого жому.

Вміст сахарози в мелясі в значній мірі залежить від повноти кристалізації її в утфелі останньої кристалізації. Кристалізація утфелю останньої кристалізації проводиться в два етапи: шляхом ізотермічної кристалізації у вакуум-апаратах та шляхом ізогідричної кристалізації в мішалках-кристалізаторах.

Процес ізогідричної кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації є до кінця не вивченим. Існує багато суперечностей щодо встановлення технологічного режиму, який дозволить інтенсифікувати процес і максимально висолодити мелясу.

Порушення технологічного регламенту виробництва, використання застарілого обладнання, переробка неякісної сировини призводить до підвищення втрат сахарози в мелясі.

**Метою статті** є виявлення оптимального режиму кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації, що забезпечить досягнення максимального виходу сахарози і мінімального вмісту її в мелясі.

**Аналіз досліджень з даного питання.** Охолодження утфелю здійснюється протягом 24-28 або 32 год (відповідно для вертикальних і горизонтальних кристалізаторів), при цьому температура утфелю змінюється від 73-75°C до 40°C [2]. В результаті охолодження

відбувається ізогідрична кристалізація сахарози. Рушійною силою цього процесу є зміна розчинності сахарози при зниженні температури.

Однією із основних проблем кристалізації охолодженням є розбіжність між темпом охолодження та темпом кристалізації, що провокує вторинне кристалоутворення. Значне підвищення в'язкості при охолодженні утфелю погіршує подальші умови кристалізації сахарози і вимагає розбавлення (розкачування) утфелю водою або цукровим розчином [3]. Температура води, що надходить на розкачку, складає 25–27 °С, а це створює локальні зони переохолодження утфелю, в яких пересичення міжкристального розчину значно зростає і відбувається, в протигагу розчиненню кристалів, вторинне кристалоутворення. Застосування водних розкачок призводить до розчинення певної кількості кристалічного цукру. Дрібні кристали під час центрифугування в значній кількості переходять в мелясу, оскільки вільно проходять через сито центрифуги. Саме це є основною причиною підвищених втрат сахарози в мелясі.

Разом з тим, при додаванні до утфелю води порушується ізогідричність процесу в бік збільшення масової частки води в міжкристальному розчині, що призводить до збільшення виходу меляси і вмісту сахарози в ній, внаслідок високого мелясоутворюючого коефіцієнту води,  $\xi=2,5-2,7$ .

Робота станції кристалізації утфелю останнього продукту за режимом, що використовується на підприємстві забезпечує ефект кристалізації охолодженням в межах 4,5-4,7 одиниць, що явно недостатньо в порівнянні з оптимальними умовами ведення процесу, коли ефект кристалізації становить близько 7,0–8,0 одиниць. Низький ефект кристалізації за режимом прийнятим на підприємстві, в першу чергу, обумовлений саме використанням розкачування утфелю водою [4].

Застосування розкачок утфелю водою чи цукровим розчином провокує збільшення товщини прилеглого до кристалів шару розчину, тим самим зменшуючи інтенсивність кристалізації сахарози.

Для умов виробництва при вмісті кристалів 20-40% та товщині шару цукрового розчину до 0,2 мм, оптимальними є кристали з лінійним розміром від 0,1 до 0,7 мм. За цих умов кристалізація відбувається швидше. При збільшенні розмірів кристалів, їх сумарна поверхня зменшується, а товщина плівки навколо кристалу збільшується, при цьому швидкість кристалізації значно уповільнюється. Встановлено, що в'язкість утфелю пропорційна в'язкості міжкристального розчину і швидко збільшується зі збільшенням вмісту кристалів в утфелі [3].

**Результати та обговорення.** У відповідності до поставленої мети досліджень, нами проведено аналіз роботи дільниці політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього продукту оснащеної комбінацією вертикальних і горизонтальних кристалізаторів у виробничих умовах. Наші промислові дослідження дільниці кристалізації утфелю останнього продукту, виявили ряд вагомих факторів, удосконалення яких забезпечує суттєву інтенсифікацію процесу і покращення технологічних характеристик утфелю останнього ступеня кристалізації.

В умовах виробництва у мішалці-кристалізаторі утфель розкачується водою, його температура в місці надходження води складає 55°C. За таких умов поряд зі зменшенням, за рахунок розчинення, дрібних кристалів цукру, спостерігається незначне зменшення коефіцієнту динамічної в'язкості міжкристального розчину від 1,8 Па·с до 1,3 Па·с.

При цьому коефіцієнт пересичення зменшується, розчин стає метастабільним, а після рівномірного розподілу розчинника між всією утфельною масою за рахунок його змішування з утфелем, процес нарощування кристалів дещо інтенсифікується. При цьому нові кристали не з'являються. За таких умов відбувається процес рекристалізації, тобто розчинення дрібних кристалів та перенесення молекул розчиненої сахарози на поверхню існуючих кристалів цукру.

Разом з тим, при додаванні до утфелю води порушується ізогідричність процесу в бік збільшення масової частки води в міжкристальному розчині, що призводить до збільшення виходу меляси і вмісту сахарози в ній.

Альтернативою розкачок утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах може бути їх зміна на теплові розкачки, тобто використання проміжного нагрівання утфелю. Тому напрямком наших досліджень є визначення доцільності використання проміжного нагрівання утфелю взамін розкачок водою чи мелясою в процесі політермічної кристалізації сахарози, шляхом охолодження утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах.

Методикою проведення досліджень передбачалось порівняння результатів, отриманих за умов проміжного нагрівання утфелю і за умов розкачки його водою та мелясою.

Результати досліджень, які приведено в таблиці, свідчать про те, що за рівних початкових умов експерименту, найкращі результати отримано у випадку застосування проміжного підігріву утфелю у порівнянні з розкачками водою чи мелясою [5].

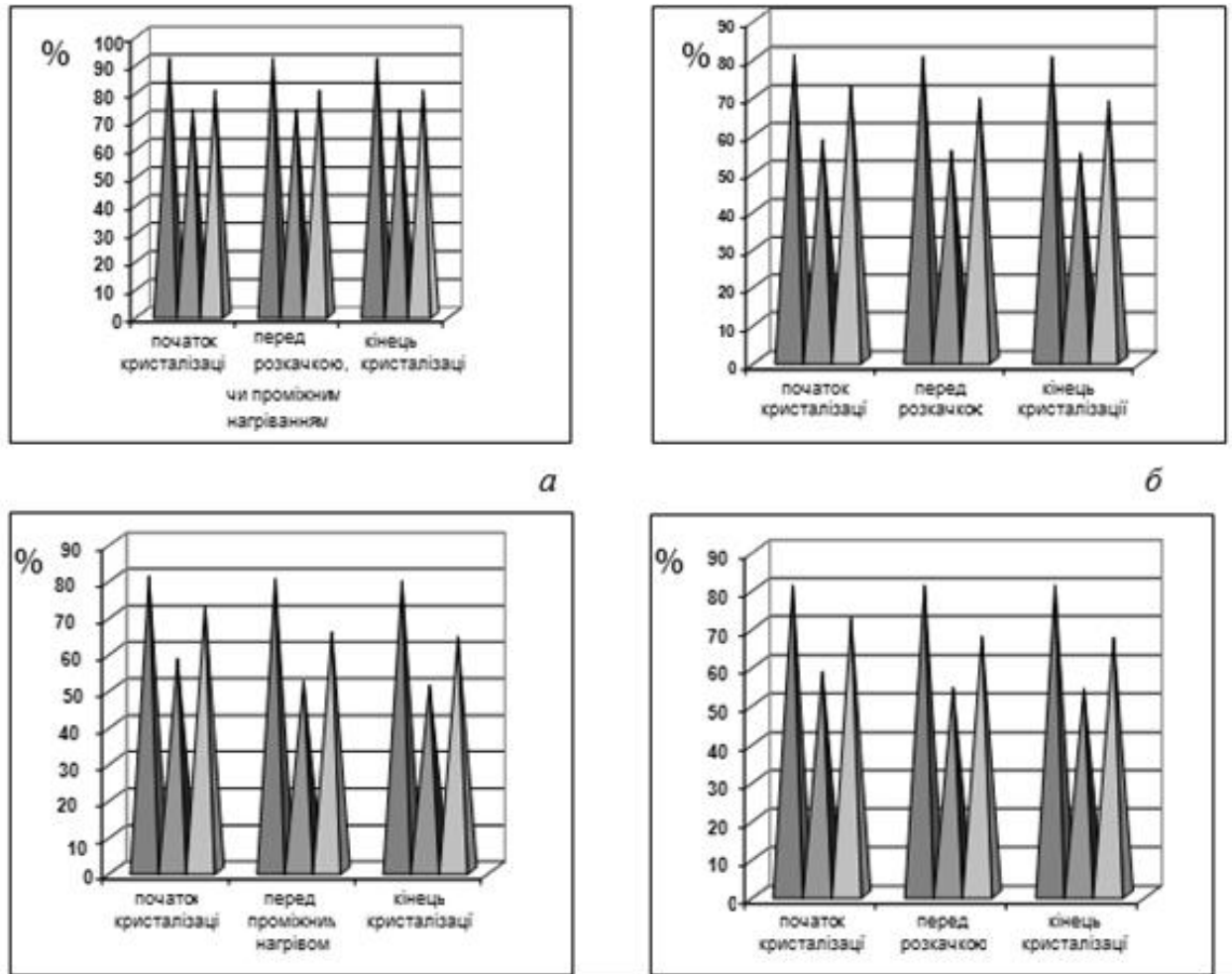
Таблиця 1

**Результати лабораторних досліджень міжкристального розчину та утфелю останнього ступеня кристалізації**

Характеристика продукту	Розмірність	Після вакуум-апарата	Перед обробкою	В кінці кристалізації
1	2	3	4	5
<b>Утфель</b>				
СР	%	91,10	-	-
Ц	те саме	72,79	-	-
Чистота	-//-	79,90	-	-
<b>Міжкристальний розчин</b>				
<b>З розкачкою водою</b>				
СР	%	80,40	79,80	79,80
Ц	%	58,00	55,05	54,41
Чистота	%	72,14	68,98	68,18
<b>З розкачкою мелясою</b>				
СР	%	80,40	80,40	80,40
Ц	%	58,00	53,96	53,80
Чистота	%	72,14	67,12	66,90
<b>З проміжним нагріванням</b>				
СР	%	80,40	79,60	79,20
Ц	%	58,00	51,82	50,60
Чистота	%	72,14	65,10	63,89

Порівняльні графіки характеристик (чистоти, вмісту сахарози та вмісту сухих речовин) міжкристального розчину, отриманого в ході лабораторних досліджень представлено на рис. 1.

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.1. 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;  
 ■ - вміст сахарози у міжкристальному розчині, %;  
 ■ - вміст сухих речовин у міжкристальному розчині, %;  
 □ - чистота міжкристального розчину, %;

З метою інтенсифікації процесу політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього продукту та підвищення ефекту кристалізації нами запропоновано спосіб кристалізації цукрового утфелю останнього ступеню кристалізації, що передбачає уварювання та кристалізацію утфелю у вакуум-апараті до 93-94% сухих речовин, його подальшу кристалізацію охолодженням в перемішувачах-кристалізаторах і кінцевий нагрів на 5-7°C перед центрифугуванням, який відрізняється тим, що в процесі політермічної кристалізації утфелю при температурі 50-55°C здійснюється його проміжне нагрівання на 7-10°C, після чого продовжується охолодження до 40-42°C.

Наші дослідження показали, що найбільш раціональним темпом охолодження утфелю до температури 50-55°C є швидкість охолодження 0,95-1,0°C/год.

Проміжне нагрівання слід проводити на 7-10°C, якомога швидше, близько 1°C/хв, після чого слід продовжувати охолодження з темпом 0,8-0,95°C/год. Якщо швидкість охолодження буде вищою це може спричинити інтенсивне повторне зародкоутворення, тобто, висипання «муки».



Для дотримання даного технологічного режиму слід оснащувати станції основної та додаткової кристалізації засобами автоматичного контролю і регулювання процесу, щоб корисна різниця температури між утфелем і холодоносієм знаходилась в межах 10-12°C.

Це дозволить викристалізувати більше сахарози і отримати цукор з кращим гранулометричним складом за рахунок того, що в процесі кристалізації чітко узгоджується швидкість кристалізації зі швидкістю охолодження, що призводить до мінімуму вторинне кристалоутворення.

Запропонований спосіб політермічної кристалізації сахарози реалізується шляхом оснащення машино-апаратної схеми станції додаткової кристалізації утфелю останнього ступеня кристалізації спеціальними нагрівачами для проміжного нагрівання утфелю у відповідності до особливостей компоновки таких схем на конкретному підприємстві.

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

### **Висновки**

Базуючись на аналізі науково-технічної інформації з кристалізації сахарози охолодженням та на результатах проведених досліджень, доведено, 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.

Проміжне нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах є альтернативою розкачки утфелю, дозволяє зменшити втрати сахарози в мелясі.

### **Бібліографія**

1. ДСТУ 3696-98 (ГОСТ 30561-98) Меляса бурякова. Технічні умови: чинний з 1999-01-01. – Київ, 1998. 54 с.
2. Технологічний процес виробництва цукру з цукрових буряків. Правила усталеної практики 15.83.–37–106.2007 – К.: Цукор України. – К.: 2007. – 420 с.
3. Кулиниченко В.Р., Мирончук В.Г. Промышленная кристаллизация сахаристых веществ: Монография / В.Р. Кулиниченко, В.Г. Мирончук. – К.: НУПТ, 2012. – 426 с.
4. Мирончук В.Г. Ефективність проміжного підігріву утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах / Мирончук В.Г., Ещенко О.А. Картава М.М. // Ukrainian Food Journal. – №2. – Київ, 2012. – с. 73-77.
5. 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.

### **References**

1. DSTU 3696-98 (GOST 30561-98). Melyasa buryakova. Tekhnichni umovy – Beet molasses. Specifications. In force: 1999-01-01, Kyiv, 54 (in Ukrainian).
2. Tekhnolohichni protses vyrobnytstva tsukru z tsukrovykh buryakiv. Pravyla ustalenoji praktyky 15.83.–37–106.2007. K: Tsukor Ukrainy – Technological process of producing sugar from sugar beets. Rules of the established practice 15.83.–37–106.2007. Kyiv: Sugar of Ukraine, 420 (in Ukrainian).
3. Kulinichenko, V. and V. Mironchuk. 2012. Promyshlennaya kristallizatsiya sakharistykh veshchestv: Monografiya. K: NUPT – Industrial crystallization of sugar substances: Monograph. Kyiv, National University of Food Technology, 426 (in Russian).

4. Myronchuk, V., O. Eshchenko and M. Kartava. 2012. Efektyvnist promizhnoho nahrivu ostannioho produktu u peremishuvachakh-krystalizatorakh – Efficiency of intermediate heating of the last product in the mixer-crystallizers. Ukrainian Food Journal, 1, 73-77 (in Ukrainian).

5. Myronchuk, V., O. Eshchenko and M. Kartava. 2012. Intensifikatsiya protsessa kristalizatsiyi okhlazhdeniem utfelya poslednego produkta. Mizhvuzivskyi zbirnyk «Naukovi notatky» – Intensification of the crystallization process by cooling the sugar massecuite of the last product. Intercollegiate collection "Scientific Notes", 39, 111-117 (in Russian).