

УДК 664:001.4

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВИБІР НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ТИПІВ КРИСТАЛОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ УВАРЮВАННЯ УТФЕЛІВ

Ткаченко С. В.¹, к.т.н.,

с.н.с. відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів

<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>Шейко Т. В.¹, к.т.н., учений секретар,<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>Анісімова О. М.², провідний інженер-технолог<https://orcid.org/0000-0002-8459-1631>Кузнєцова І. В.¹, д.с.-г.н., с.н.с., г.н.с. відділу технології цукру,

цукровмісних продуктів та інгредієнтів

<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>¹Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна²ТОВ Науково-виробниче підприємство «Електрогазохім», м. Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-15>

Предмет дослідження. Основним процесом у цукровому виробництві визнана кристалізація цукрози. На сьогодні актуальним став пошук методів інтенсифікації цього процесу шляхом скорочення тривалості уварювання, зниження витрат теплової енергії, зменшення втрат сахарози від термічного розкладання і отримання якісного цукру-піску з відповідним гранулометричним складом та збільшення його виходу. Одним із шляхів вирішення завдання є застосування якісного затравного матеріалу, здатного утворювати регульовану кількість кристалів необхідного розміру в концентрованих цукрових розчинах. Це дозволить за дотримання технологічного режиму в продуктовому відділенні зменшити кількість потоки за промивання кристалів цукру у центрифугах, що сприятиме зменшенню витрат палива та збільшити вихід цукру. **Мета.** Провести аналітичну оцінку ефективності дії найбільш поширених затравних матеріалів (кристалоутворювачів) цукрового виробництва на процес кристалізації цукрози. **Методи.** Аналіз і моніторингове дослідження проводилося з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці. **Результати.** Розглянуто вплив різних факторів на рівномірність кристалів цукру, проаналізовані причини утворення конгломератів кристалів при уварюванні утфелів. Наводяться типи найбільш поширених кристалоутворювачів, що застосовуються у цукровому виробництві. **Сфера застосування результатів.** Цукрові підприємства України одержать дані щодо застосування найбільш ефективних кристалоутворювачів в технологічному процесі цукрового виробництва

Ключові слова: затравні матеріали, кристалоутворювачі, сироп, кристали, кристалізація, цукор

CLASSIFICATION AND SELECTION OF THE MOST COMMON TYPES OF CRYSTALLIZERS FOR PREPARING MAGMA

Serhii Tkachenko¹, Ph.D., Engineering, Senior Researcher of Department
of Sugar Technology, Sugar-Containing Products and Ingredients<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>Tamila Sheiko¹, Ph.D., Engineering, Learned Secretary<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>Olena Anisimova², Leading Process Engineer,<https://orcid.org/0000-0002-8459-1631>Inha Kuznietsova¹, D-r of Sc., Engineering, Senior Researcher,

Chief Research of Department of Sugar Technology, Sugar-Containing Products and Ingredients

<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine²LLC Research and Production Enterprise «Electrogasochem», Kyiv, Ukraine<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-15>

Subject of research. The main process in sugar production is the crystallization of sucrose. Today, the search for methods of intensification of this process by reducing the duration of boiling, reducing heat energy consumption, reducing sucrose losses from thermal decomposition and obtaining high-quality granulated sugar with the appropriate granulometric composition and increasing its yield is relevant. One of the ways to solve the problem is the use of high-quality seed material capable of forming a regulated number of crystals of the required size in concentrated sugar solutions. This will make it possible to reduce the amount of molasses for washing sugar crystals in centrifuges, while observing the technological regime in the food department, which will help reduce fuel consumption and increase sugar output. **Purpose.** Conduct an analytical assessment of the effectiveness of the most common seed materials (crystal formers) of sugar production on the process of sucrose crystallization. **Methods.** The analysis and monitoring research was carried out using methodological approaches that are used in domestic and international practice. **Results.** The influence of various factors on the uniformity of sugar crystals was considered, and the reasons for the formation of crystal conglomerates during the boiling of utfels were analyzed. The types of the most common crystal formers used in sugar production are given. **Scope of research results.** Evaluating the effectiveness of crystal formers makes it possible to objectively evaluate the effectiveness of different crystal formers on the quality characteristics of the obtained sugar crystals. Sugar enterprises will receive data on the use of the most effective crystal formers in the technological process of sugar production.

Key words: seed materials, crystal formers, syrup, crystals, crystallization, sugar

Постановка проблеми. Якість та ефективність сучасних затравних матеріалів характеризується однорідністю, розміром мікрокристалів і складом стабілізаційної системи. Саме використання якісних матеріалів для утворення кристалічної основи дозволяє ефективно регулювати процес кристалоутворення у пересиченому цукровому розчині й отримувати цукор із заданим розміром кристалів та високим відсотком їх однорідності. Тривалий час для заведення центрів кристалізації за уварювання утфелів у цукровій промисловості використовували і продовжують використовувати цукрову пудру. Але використання саме цукрової пудри має ряд недоліків, серед основних – нерівномірність лінійних розмірів кристалів; злипання кристалів цукру, що викликає утворення значної кількості друз, погіршення якості цукру за рахунок підвищення забарвленості й зольності; ускладнення процесу центрифугування та погіршення гранулометричного складу цукру. Тому необхідне дослідження та об'єктивна оцінка ефективності застосування кристалоутворювачів в технологічному процесі кристалізації цукрози. На сьогодні більшість цукрових заводів використовують різноманітні способи заведення центрів кристалізації, зокрема введенням цукрової пудри, порошків, суспензій та пластичних або твердопластичних кристалоутворювачів. Підбір і застосування найбільш ефективного кристалоутворювача в умовах цукрового заводу дасть змогу підвищити якісні показники і збільшити вихід готової продукції та зменшити витрати палива.

Матеріали і методи. Аналіз і моніторингове дослідження проводилося з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці.

Результати. Підвищена нерівномірність кристалів в утфелі призводить до збільшення витрати води для запобігання вторинному кристалоутворенню при уварюванні. Крім того, це загрожує збільшенням кількості відтоків. Центрифугування утфелю з нерівномірними кристалами вимагає додаткових витрат електроенергії, ускладнюються також процеси сушіння цукру та його зберігання, підвищується запиленість в сушильному відділенні. Дрібні кристали, що проходять через сита центрифуг для утфелю останньої кристалізації збільшують вміст цукру в меласі. Наступний важливий момент уварювання утфелю – запобігання процесам конгломерації кристалів сахарози. Підвищений вміст конгломератів у цукрі-піску створює багато проблем у роботі кристалізаційних відділень: конгломерати легко ламаються, утворюючи велику кількість цукрової пудри; містять значно більше золи порівняно з цукром без них;

кольоровість з'єднань кристалів і дрібних кристалів завжди вище, ніж у однорідних кристалів цукру-піску.

У практиці зустрічаються два основні типи конгломератів: здвоєні кристали та зіркоподібні (рис. 1) [1, 2].

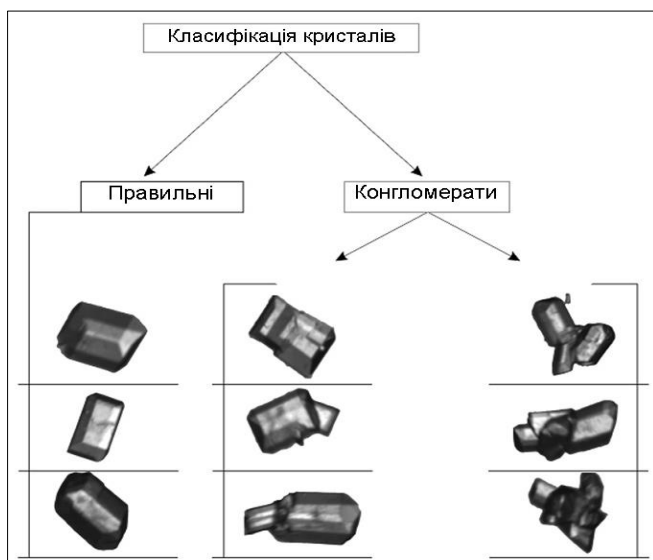


Рис. 1. Схема класифікації кристалів сахарози

Більша кількість золи міститься в захоплених крапельках маточного розчину та у внутрішніх кутах з'єднаних разом кристалів. Шведські дослідники встановили, що ха середньої зольності цукру 0,015% у конгломератах вміст золи становить від 0,027 до 0,111% [3]. Доведено також, що існує взаємозв'язок між вмістом золи і води в цукрі. Тобто висока зольність означає і вищу вологість цукру із значним вмістом конгломератів. Кольоровість конгломератів кристалів і дрібних кристалів завжди вища, ніж у однорідних кристалів цукру-піску (табл. 1) [3].

Таблиця 1

Кольоровість цукру із цукрового буряку [3]

Розмір фракцій, мкм	Залишок на ситі, г	Кольоровість, од. ICUMSA
> 850	1,7	24,5
600...850	34,1	20,5
500.600	17,4	20,7
425.500	15,3	21,4
250.425	25,3	23,5
212.250	3,5	26,5
150.212	2,3	29,8
< 150	0,6	50,1
Середній розмір кристалів М.А. = 519 мкм	100	22,0

Порівняно з кристалізацією цукру в утфелях низької чистоти конгломерація відіграє більш суттєву роль при уварюванні утфелей білого цукру і цукру рафінаду. Конгломерація відбувається не тільки завдяки випадковим зіткненням двох кристалів цукру або змін поверхневого натягу розчину, а й за притягнення кристалів один до одного осмотичними силами, які найзначніше проявляються в чистих розчинах (з незначним вмістом нецукрів).

Своєчасне заведення кристалів і припинення їх утворення мають важливе значення для процесу уварювання та якості готового утфелю. Чим більше центрів кристалізації утворюється в момент заведення, тим меншим будуть розміри кристалів цукру, і навпаки, чим менше введено центрів кристалізації, тим крупніші кристали в готовому утфелі. Центри кристалізації створюють доведенням цукрового розчину до лабільного стану ($K_p=1,25...1,3$), вводять затравний матеріал (цукрову пудру), відбувається виникнення нових центрів кристалізації. Розчин переводять у другу стадію, для цього знижують коефіцієнт перенасичення до метастабільності ($K_p=1,1...1,2$), де відбувається виключно

нарощування кристалів без утворення нових центрів кристалізації, щоб утфель був високої якості з однорідними кристалами. За цього не можна надто зменшувати коефіцієнт перенасичення, оскільки низькою буде швидкість кристалізації, збільшиться тривалість процесу, знизиться продуктивність вакуум-апаратів.

Для забезпечення рівномірного гранулометричного складу цукру-піску і зменшення вмісту конгломератів необхідний якісний затравний матеріал і зведення до мінімуму утворення вторинних центрів кристалізації протягом усього циклу уварювання утфелів [1-19]. Діаграма взаємозалежностей за кристалізації наведена на рис. 2 [1, 19].

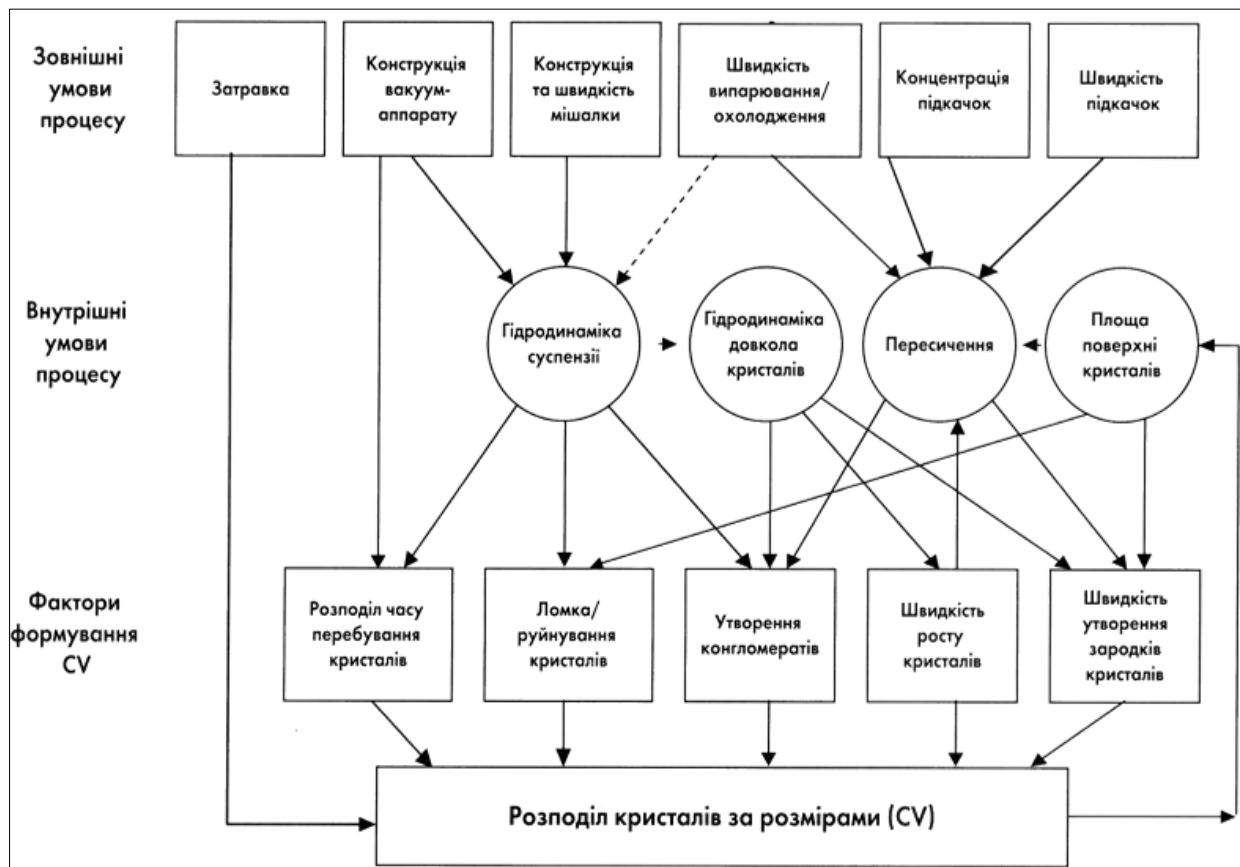


Рис. 2. Вплив окремих чинників на гранулометричний склад цукру під час уварювання утфелів [1]

Як затравний матеріал використовують подрібнену цукрову пудру, суспензії і пасти [3-13]. Багато заводів використовують суспензії, які готують самостійно шляхом розмелювання цукру в лабораторному кульовому млині в рідкому середовищі, що не розчиняє цукор. За дисперсне середовище найчастіше використовують спирт, при цьому розмір мікрокристалів цукру становить 5...50 мкм у 1 мл, що призводить до швидкого розшарування. Неоднорідність подрібнених кристалів призводить до нерівномірного зародженню центрів кристалізації, що вкрай небажано.

Використання цукрової пудри як затравки. Для надійного і швидкого утворення центрів кристалізації цукрози в пересичений розчин стали вводити цукрову пудру. Затравка у вигляді цукрової пудри є найпростішим способом. Цукрову пудру отримують шляхом подрібнення вже готових кристалів цукру на дрібні частинки (уламки), при цьому вони мають різну неправильну форму (рис. 3 а) [5]. Потрапляння цих частинок у пересичений розчин насамперед відбувається добудовування кристалів цукру до первісної форми декаедра, і чим менше уламок кристала, тим більший час витрачається на добудовування і тим пізніше починається подальше зростання кристала. На рисунку 3 (б, в) показано, як добудовується кристал сахарози при різних розмірах

уламків, введених в пересичений розчин. Затінена частина кристала – це введена частинка цукру, світла – нарощувана частина. У разі використання цукрової пудри як центрів кристалізації виходить різний гранулометричний склад кристалів цукру не тільки через різного розміру частинок цукру, а й через те, що при введенні пудру в вакуум-апарат, як правило, утворюються ще й нові центри кристалізації [5, 14]. Усе це подовжує час кристалізації, ускладнює процес уварювання утфелю, їх центрифугування і збільшує невраховані втрати цукру за рахунок перекристалізації.

Використання маточного утфелю як затравки. Останнім часом на заводах як затравку кристалів за уварювання утфелю І продукту використовують маточний утфель, який попередньо уварюється з сиропу з клеровкою. Для утворення в ньому центрів кристалізації зазвичай використовується затравна паста. В цьому випадку добудова кристалів цукру і їх нарощування до розмірів від 200 до 350 мкм відбувається в окремому вакуум-апараті. Отриманий маточний утфель відрізняється високою рівномірністю кристалів і не містить конгломератів. За уварювання утфелю І вводиться розрахункова кількість маточного утфелю з необхідним вмістом кристалів. Цей прийом дозволяє знизити час уварювання утфелю, що позначається і на якості цукру, і на його гранулометричному складі [7]. За уварюванні маточного утфелю відбувається тільки нарощування кристалів цукру до заданого розміру. У цьому утфелі можна регулювати кількість кристалів цукру і, відповідно, простіше розрахувати їх необхідну кількість, що подається з маточного утфелю на уварювання утфелю І. Холодний «крісталізатор» можна використовувати і для заведення кристалів на наступні утфелі. За такого способу заведення кристалів ефективність роботи кристалізаційного відділення істотно підвищується за рахунок скорочення часу кристалізації, витрати пари на уварювання утфелю і збільшення виходу цукру [5].

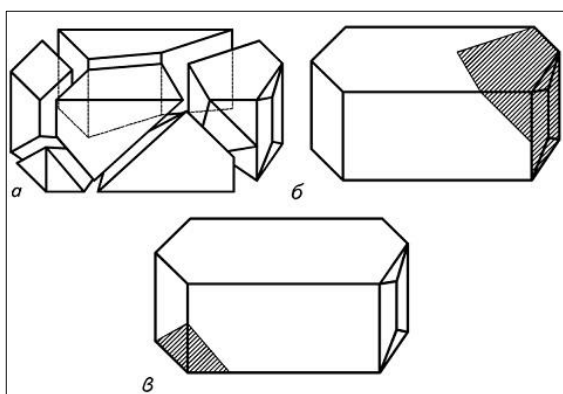


Рис. 3. Схема добудовування кристалу цукру з зруйнованого кристалу:
а – роздроблений кристал цукру;
б – добудова з великої частинки кристала цукру;
в – добудова з маленької частини кристала цукру

Як затравну основу за приготування маточного утфелю використовують цукрову пудру, подрібнену у вологому стані в ізопропанолі. Для збереження стану суспензії її необхідно ретельно перемішувати. Розміри мікрокристалів такої суспензії мають широкий фракційний склад – від 10 до 50 мкм, що призводить до утворення неоднорідних центрів кристалізації.

Після охолодження отриманого продукту розмір кристалів знаходиться в межах приблизно 0,1...0,13 мм. Такий маточний утфель може використовуватися для отримання дрібнокристалічного утфелю або спрямований на подальшу обробку для досягнення розмірів затравних

кристалів 0,3 мм. Маточний утфель для першої кристалізації повинен відповідати особливим вимогам, тому метод його підготовки досить складний і вимагає установки додаткового обладнання. Впровадження даної схеми отримання утфелів на вітчизняні цукрові заводи досить дороге.

Використання кристалізаційної пасти та суспензії як затравки. Для забезпечення найсприятливіших умов кристалоутворення в цукровій промисловості надають перевагу використанню як затравний матеріал для процесу кристалізації спеціальним затравним пастам та суспензіям [4, 10]. Як спеціальні затравні матеріали використовують: пасту «Магмас» у твердо-пластичному та м'яко-пластичному вигляді [10], суспензію ССС-Р [4,

7], багато-композиційну рідкотекучу затравну суспензію «Кристал» [4], затравні матеріали приготовлені цукровими заводами та ін.

Такі затравні матеріали готуються на основі цукрової пудри, тобто з тих же уламків кристалів цукру. Правда, для приготування пасти та суспензії намагаються отримувати більш рівномірні уламки, застосовуючи млини, що максимально подрібнюють кристали цукру [4, 7, 9-12, 15].

Затравна паста «Магмас». Досвід у застосуванні спеціальних затравних паст при кристалізації цукру накопичений в Українському науково-дослідному інституті цукрової промисловості, фахівцями якого розроблена затравна паста «Магмас» [10]. Затравна паста «Магмас» – трьохкомпонентна однорідна система, виготовлена на основі дрібно-дисперсного цукру, етилового спирту і поверхнево-активної речовини.

Затравна паста «Магмас» випускається у вигляді сформованої дозованої твердо-пластичної палички масою 30 г. довжиною 120 мм і діаметром 25 мм, з розміром кристалічних центрів 1 – мікрон і у вигляді м'яко-пластичної сметано-подібної маси з розміром кристалічних центрів $1 = 8$ мікрон і $1 = 12$ мікрон.

Одне з істотних переваг цієї пасти – наявність в її складі поверхнево-активної речовини, що володіє стабілізуючим і пластифікуючими властивостями. Завдяки стабілізуючій властивості поверхнево-активна речовина поліпшує умови зародження кристалів, зменшує в'язкість продукту в вакуум-апараті, збільшує швидкість кристалізації, запобігає вторинному кристалоутворенню.

Затравна суспензія «ССС-Р». Розробник ПП «Спеціальні Технології Інноваційна Діяльність», декламує її як каталізатор-ініціатор фізико-хімічних процесів за кристалізації цукру. Затравними центрами кристалізації виступають мікрокристали цукру, близькі за формою та розмірами, 95% яких мають величину 8 ± 2 мкм [7].

Суспензія виготовляється шляхом змішування кристалів товарного цукру з рідиною, що їх не розчиняє до прикладу етиловим спиртом в певному співвідношенні, подрібнення кристалів цукру в пристрої для подрібнення, а також нових істотних ознак процес подрібнення і змішування здійснюють одночасно, втомлюючим методом, в режимі коливань подрібнюючого пристрою згідно із законом, близьким до гармонічного. Початковими компонентами є товарний цукор і зневоднений етиловий спирт. Суміш завантажують у робочий орган пристрою для подрібнення, який не обертається, а закріплений на пружинах Робочий орган на пружинах здійснює плоскопаралельні коливання еліптичної форми в площині, перпендикулярній вісі барабана згідно із розрахованим законом, близьким до гармонічного. Подрібнення кристалів товарного цукру здійснюють фракціями подрібнюючих тіл, при співвідношенні мас від 1,51 до 31. Вибрані розміри тіл, їх співвідношення, а також режими коливань дозволяють за рахунок численних слабких впливів здійснювати втомлююче руйнування, на відміну від силового ударного, характерного для будь-яких видів млинів. Завдяки слабкому впливу обраної частоти, амплітуди і направленості, суміш (кристали цукру-спирт) набуває абсолютно нової якості вона швидко гомогенізується й одночасно подрібнюється. Таким чином в одному апараті здійснюють повне виготовлення суспензії [7].

Багатокомпозиційна рідкоплинна затравна суспензія «Кристал». Спеціалістами ТОВ «Продтехін» створена багатокомпозиційна рідкотекуча затравна суспензія «Кристал», виготовляється у вигляді рідкого матеріалу із високим ступенем текучості. Дрібнодисперсні кристалики цукру мають розмір 2-4 мікрона. Як рідку основу використано поверхнево-активні речовини, густина яких відповідає густині кристалів цукру. Внаслідок цього дрібнодисперсні кристалики цукру знаходяться у завислому стані і протягом тривалого часу практично не відбувається їх осадження. Це забезпечує довготривале зберігання затравної суспензії із збереженням всіх вихідних фізико-хімічних характеристик [4].

Використання багатокомпозиційної рідкотекучої затравної суспензії «Кристал» дозволяє забезпечити: зручність введення затравки у режимі автоматизованого вару, зниження до мінімуму часу кристалоутворення та часу уварювання утфелю, отримати цукор із більш-менш рівномірними і крупними кристалами, поліпшення центрифугуючих властивостей утфелю, зменшення витрат води на промивання цукру [4].

Препарат для заведення кристалів «Kebo Slurry». Препарат для заведення кристалів, що не містить ізопропанол «Kebo Slurry» застосовують для заведення кристалів у вакуум-апаратах. Це суміш поліетиленгліколю та дуже дрібних, рівномірно розмелених часточок сахарози середньою зернистістю 11 ± 1 мкм, препарат не гігроскопічний [11].

Дисперсія частинок у рідині, враховуючи її поляризацію, настільки однорідна, що практично не утворюються агломерати. Спеціальний метод виробництва препарату забезпечує навіть під час подрібнення неможливість зростання часток [11].

Дозування «Kebo Slurry» відбувається безпосередньо із спеціальної упаковки, без додаткової витрати гліцерину. Витрата препарату залежить від заданої кінцевої величини кристалів, а також від продуктової схеми заводу [11].

Затравні матеріали, що самостійно виготовляють цукрові заводи. Спосіб, реалізований на принципі дії англійського млина Talo Slurry Mill [7]. Суть способу полягає в наступному Заздалегідь готують певну кількість цукру, однорідних за розміром кристалів, шляхом просіювання на решетах На одне завантаження беруть 1,62 кг цукру і змішують з 3,60 л зневодненого етилового спирту (співвідношення цукор-спирт приблизно 1:2) і завантажують у кульовий млин. Приготування затравки здійснюють протягом 6 годин, причому, за 5 хв до кінця роботи млина додають 250 мл дистильованої води, чим гарантують розчинення «борошна» у готовій суспензії. Гарантується наступний дисперсний склад суспензії 1-5 мкм – 39%; 5-10 мкм – 57% більше за 10 мкм – 4%.

Витрати суспензії на кожні 10 м^3 ємності вакуум-апарата 45-65 мл, термін зберігання суспензії – 3 доби. Об'єм барабана млина – 5 л, вага куль – 2,25 кг.

Недоліком способу є те, що подрібнення кристалів товарного цукру у млинах будь-якої конструкції супроводжується нерівномірністю дисперсного складу затравки, яка містить велику кількість рівновеликих уламків кристалів розміром, менших за 5 мкм та більших за 20 мкм, що знижує її технологічні властивості, а частки кристалів потрібних розмірів мають здебільш дендритну, відмінну від ізометричної, форму, через силові ударні впливи куль на кристал цукру у продовж усього процесу подрібнення суспензію, за відомою технологією, готують протягом досить тривалого часу (6 годин), а термін зберігання вельми обмежений – до трьох діб.

Спеціальні затравні матеріали, із безперечно позитивними властивостями перед цукровою пудрою, мають певні недоліки. Затравні матеріали виготовлені на цукрових заводах мають недостатню якість, як і в суспензії ССС-Р [4, 7], наповнювачем використовують спирт, що потребує, внаслідок швидкого осадження дрібнодисперсних кристалів цукру, ретельного перемішування безпосередньо перед використанням. Це створює незручності у режимі автоматичного введення її у вакуум-апарат. З іншого боку, консистенція пасти «Магмас» [10], особливо у твердо-пластичному стані, не забезпечує її миттєвого розподілу по всьому об'єму сиропу у вакуум-апараті, що подовжує тривалість кристалоутворення, як наслідок, утворюються менш рівномірні за розміром кристали [4].

Оскільки затравні пасти та суспензії також готуються на основі цукрової пудри, тобто з тих же уламків кристалів цукру і в цьому випадку спочатку відбувається добудовування введених уламків до кристала, і тільки потім починається його зростання. Гранулометричний склад при цьому більш рівномірний, проте час уварювання утфелю практично не змінюється. Для цукрового виробництва дуже важливо провести процес кристалізації протягом оптимального часу і отримати рівномірний, середнього розміру кристал цукру, який в подальшому легко піддається обробці і не знижує вихід кінцевого продукту.

Кристалотворювач «Естер К01». За створення кристалотворювача «Естер К 01» НВП «Електрогазохім» були враховані всі вищеперелічені моменти, які ускладнюють процес кристалізації і не можуть забезпечити високий відсоток однорідності кристалів готової продукції. Кристалотворювач для цукрової промисловості марки «Естер К 01» [12,13], є суспензією однорідних кристалів цукру розміром близько 10-12 мкм, отриманих за спеціальною технологією осаджування з перенасиченого розчину та стабілізованих спеціально підбраною харчовою поверхнево активною речовиною. Така технологія виключає подрібнення кристалів і тим самим скорочує тривалість кристалотворення за рахунок відсутності процесу добудовування кристалів затравки. Це дозволяє зберегти цілісність форми кристалів та забезпечує однорідність їх розмірів [3, 13, 16-18].

Витрата кристалотворювача (суспензії) становить 1,0...1,5 мл на 10 т утфелю 1-ї кристалізації. У сиропи з низькою чистотою затравки вводять приблизно в 2 рази більше, оскільки швидкість кристалізації сахарози в таких сиропях нижча, і якщо площа поверхні кристалізації буде недостатньою, то при згущенні утфелю сахароза не встигає викристалізовуватися. У свою чергу це призводить до підвищення пересичення розчину і випадання дрібнодисперсних частинок. При уварюванні утфелів 2-ї і 3-ї кристалізації витрати становлять 2...2,5 мл на 10 т утфелю. Перед застосуванням кристалотворювача (суспензію) збовтують, поки всі тверді частинки, що осіли на дно посудини, рівномірно розподіляться по всьому об'єму.

Застосування кристалотворювача дозволяє отримати цукор-пісок однорідний за величиною кристалів і значно знизити вміст конгломератів в цукрі-піску, підвищити ефективність роботи кристалізаційних відділень і якість готової продукції, а також збільшити вихід готової продукції.

Висновки. Таким чином, проведено класифікацію та систематизацію найбільш поширених типів кристалотворювачів, що застосовують у цукровому виробництві. Встановлено, що для заведення центрів кристалізації за уварювання утфелів у цукровій промисловості класично використовують цукрову пудру. Проте використання саме цукрової пудри має ряд недоліків, серед основних – нерівномірність лінійних розмірів кристалів; злипання кристалів цукру, що викликає утворення значної кількості друз, погіршення якості цукру за рахунок підвищення забарвленості та зольності; ускладнення процесу центрифугування та погіршення гранулометричного складу цукру.

Нині цукровим підприємствам необхідно переорієнтовуватися на нові типи кристалотворювачів у тому числі таких, що виробляються за спеціальною технологією вирощування кристалів затравного матеріалу. Це дозволяє зберегти цілісність форми кристалів та забезпечує однорідність їх розмірів. Перевагами застосування таких кристалотворювачів буде: отримання цукру з рівномірними кристалами; скорочення тривалості уварювання утфелів порівняно з цукровою пудрою; значне зменшення або виключення сокових і водних підкачок; утворення меншої кількості друз; зниження забарвленості і зольності цукру; збільшення виходу цукру; економія витрат енергетичних ресурсів.

Бібліографія

1. Скорик К. Д. Деякі аспекти роботи кристалізаційних відділень. Цукор України. 2006. № 1-2. С. 41-43.
2. Ferreira A., Faria N., Rocha F., Teixeira J. A. Using an online image analysis technique to characterize sucrose crystal morphology during a crystallization run. Ind. Eng. Chem. Res. 2011. 50. P. 6990-7002. <https://doi.org/10.1021/ie2001499>.
3. Анисимова О. М. Применение кристаллообразователя «Эстер К 01» с целью получения равномерного гранулометрического состава сахара. Food Technologies & Equipmene. 2010. № 1-2. С. 15-17.
4. Мирончук В. Г. Теорія і практика масового зародження кристалів цукрози. Вісник СУНУ ім. Володимира Даля. 2005. № 11 (93). С. 126-128.

5. Zinab J. M., Alamolhoda A. A., Moghaddam F. M., Nayeri S. Application of Rosin-Rammler model for analysis of CSD in sugar crystallization. *Crystal Research And Technology*. 2015. 50 (11). P. 873-878. <https://doi.org/10.1002/crat.201500062>.

6. Rózsa L. Sugar crystallisation: Look for the devil in the details. Part 1. *International Sugar Journal*. 2008. 110(1315). P. 403-413.

7. Сіденко С. М., Сотниченко М. І., Овчинніков П. П., Станіславський Л. П. Патент № 55611А Україна, МПК (2006) C13F3/00 Спосіб виготовлення затравки для кристалізації цукру у вигляді затравочної суспензії. заявник и патентовласник приватне підприємство «Спеціальні технології. Інноваційна діяльність» №2001128808; заявл. 19.12.2001; опуб. 15.04.2003. Бюл. №4. 4 с.

8. Van der Poel, P. W., Schiweck, H., Schwartz, T. *Sugar Technology (Beet and Cane Sugar Manufacture)*, 1 edition. Berlin, Germany: Published with support of the Beet Sugar Development Foundation Denver, USA, 1998. 1120 p.

9. Штангеев В. О., Сущенко А. К., Кравчук А. Ф. Твердопластична затравочна паста. Цукор України. 1993. № 3. С. 24-26.

10. Затравлювальна паста «Магмас» URL: <https://magmas.com.ua/pasta.php>.

11. Seed Suspension for the Sugar Crystallization KEBO SLURRY. <https://cukrotex.com.pl/other-chemicals>.

12. Tkachenko S., Sheiko T., Anisimova O., Kuznietsova I., Khomichak L. (2021). Evaluation of the effectiveness of the influence of crystallizing agent on sugar quality. The international conference "Strategy for the Development of Sugars and Natural Sweeteners". December 15-16. 2021. Kyiv. P. 83-97.

13. Кристалізатор ЕСТЕР К 01. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-k-01/>.

14. Srisanga, S., Flood, A. E., Galbraith et. al. Crystal Growth Rate Dispersion versus Size-Dependent Crystal Growth: Appropriate Modeling for Crystallization Processes. *Crystal Growth & Design*. 2015. 15(5). P. 2330-2336. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.5b00126>.

15. Rózsa, L., Rozsa, J., Kilpinen, S. Crystal growth and crystallization control tactics in industrial sugar crystallizers Part 1. Crystal growth. *International Sugar Journal*. 2016. 118(1414). P. 746-755.

16. Tkachenko S., Sheiko T., Petrenko V., Anisimova O., Kuznietsova I., Khomichak L., Obodovych O. Influence of crystallizing agent on sugar quality. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2020. 19(4). P. 457-465. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0867>.

17. DQS Certificate FSSC 22000. Certification scheme for food safety systems. Frankfurt am Main: DQS CFS GmbH. Germany, 2017. 1 p.

18. Анисимова Е. М. Улучшаем качество сахара. Вестник сахаропроизводителей Украины. Информационный бюллетень. 2011. №4 (59). 35-36.

19. Bennar, Marek, Betoret, E., Bojnanska, Tatiana, Brño, D., Hambalkova, Julia, Richter, Antonin. Optimal Particle Size Distribution of White Sugar. *Listy Cukrovarnické a Řepářské*. 2012. 128. P. 385-389.

References

1. Skoryk, K. D. (2006). Deiakі aspekty roboty krystalizatsiinykh viddilen [Some aspects of the work of crystallization departments]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. 1-2. 41-43. [in Ukrainian].

2. Ferreira A., Faria N., Rocha F., Teixeira J. A. (2011). Using an online image analysis technique to characterize sucrose crystal morphology during a crystallization run. *Ind. Eng. Chem. Res.* 50. P. 6990-7002. <https://doi.org/10.1021/ie2001499>.

3. Anisimova, E. M. (2010). Primenenie kristalloobrazovatelya «Ester K 01» s celyu polucheniya ravnomernogo granulometricheskogo sostava sahara [The use of the crystal former "Ester K 01" in order to obtain a uniform granulometric composition of sugar]. *Food Technologies & Equipmene*. 1-2. 15-17. [in russian].

4. Myronchuk, V. H. (2005). Teoriia i praktyka masovoho zarodzhennia krystaliv tsukrozy [Theory and practice of mass nucleation of sucrose crystals]. *Visnyk SUNU im. Volodymyra Dalia [Bulletin of SUNU named after Volodymyr Dahl]*. 11 (93). 126-128. [in Ukrainian].

5. Zinab, J. M., Alamolhoda, A. A., Moghaddam, F. M., Nayeri, S. (2015) Application of Rosin-Rammler model for analysis of CSD in sugar crystallization. *Crystal Research And Technology*. 50 (11). 873-878. <https://doi.org/10.1002/crat.201500062>.

6. Rózsa, L. (2008). Sugar crystallisation: Look for the devil in the details. Part 1. *International Sugar Journal*. 110 (1315). P. 403-413.
7. Sidenko, S. M., Sotnychenko, M. I., Ovchynnikov, P. P., Stanislavskyi, L. P. № 55611A Ukraina, MPK (2006). C13F3/00. Sposib vyhotovlennia zatravky dlia krystalizatsii tsukru u vyhliadi zatravochnoi suspenszii. [The method of making a seed for crystallization of sugar in the form of a seed suspension]. Applicant and Patent Attorney Private enterprise "Special technologies. Innovative activity" № 2001128808; stated. 19.12.2001; Bjul. 15.04.2003. 4 p. [in Ukrainian].
8. Van der Poel, P. W., Schiweck, H., Schwartz, T. (1998). *Sugar Technology (Beet and Cane Sugar Manufacture)*, 1 edition. Berlin, Germany: Published with support of the Beet Sugar Development Foundation Denver, USA. 1120 p.
9. Shtanheev, V. O., Sushchenko, A. K., Kravchuk, A. F. (1993). Tverdoplastychna zatravochna pasta [Hard plastic seed paste]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. 3. 24-26. [in Ukrainian].
10. Zatravliuvalna pasta "Mahmas" [Etching paste "MAGMAS"] <https://magmas.com.ua/pasta.php>.
11. Seed Suspension for the Sugar Crystallization Kebo Slurry. URL: <https://cukrotex.com.pl/other-chemicals>.
12. Tkachenko, S., Sheiko, T., Anisimova, O., Kuznietsova, I., Khomichak, L. (2021). Evaluation of the effectiveness of the influence of crystallizing agent on sugar quality. The international conference "Strategy for the Development of Sugars and Natural Sweeteners". P. 83-97. December 15-16. 2021. Kyiv. Ukraine.
13. Krystaloutvoriuvach ESTER K 01 [Crystal former ESTER K 01]. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-k-01/>.
14. Srisanga, S., Flood, A. E., Galbraith, S. C., Rugmai, S., Soontaranon, S., Ulrich J. (2015). Crystal Growth Rate Dispersion versus Size-Dependent Crystal Growth: Appropriate Modeling for Crystallization Processes. *Crystal Growth and Design*. 15 (5). P. 2330-2336. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.5b00126>.
15. Rózsa, L., Rozsa, J., Kilpinen, S. (2016). Crystal growth and crystallization control tactics in industrial sugar crystallizers Part 1. Crystal growth. *International Sugar Journal*. 118 (1414), 746-755.
16. Tkachenko S., Sheiko T., Petrenko V., Anisimova O., Kuznietsova I., Khomichak L., Obodovych O. (2020). Influence of crystallizing agent on sugar quality. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 19(4). p. 457-465. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0867>.
17. DQS Certificate FSSC 22000. Certification scheme for food safety systems. Frankfurt am Main: DQS CFS GmbH. Germany, 2017. 1 p.
18. Anisimova, E. M. (2011) Uluchshaem kachestvo sakhara [We improve the quality of sugar]. *Vestnik saharoproizvoditelej Ukrainy. Informacionnyj byulleten [Herald of sugar producers of Ukraine. Information bulletin]*. 4(59). P. 35-36. [in russian].
19. Bennar, Marek, Betoret, E., Bojnanska, Tatiana, Brño, D., Hambalkova, Julia, Richter, Antonin. (2012). Optimal Particle Size Distribution of White Sugar. *Listy Cukrovarnické a Řepářské*. 128. P. 385-389.