

АНАЛІЗ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН І ЇХ ВПЛИВУ НА ВЛАСТИВОСТІ ЦУКРОВИХ УТФЕЛІВ

Анісімова О. М.^{1,3}, аспірантка, провідна інженерка
<https://orcid.org/0000-0002-8459-1631>

*Ткаченко С. В.^{1,2}, к.т.н, старший дослідник,
с.н.с відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів,
старший викладач кафедри харчових виробництв*
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна

²Інститут післядипломної освіти НУХТ, м. Київ, Україна

³ТОВ «НВП «Електрогазохім»

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-02>

Предмет. Текучість і в'язкість, а також мінімальне пінення сиропів, утфелів і міжкристалічних розчинів є одними з найважливіших властивостей цих суспензій і розчинів. Так піноутворення ускладнює процеси уварювання і центрифугування утфелів, а висока в'язкість суспензій напівпродуктів зумовлює до вищих витрат енергетичних ресурсів на їх перетворення, сповільнення процесу згущення і кристалізації цукрози та збільшення виходу меляси і вмісту цукру у ній. Тому застосування способів і прийомів для інтенсифікації і поліпшення технологічного процесу уварювання утфелю є актуальним завданням. Одним із шляхів вирішення такого завдання є застосування поверхнево-активних речовин, що дозволять зменшити піноутворення, в'язкість утфелю, покращити його кристалічну структуру і інтенсифікувати процес його центрифугування. **Мета.** Метою роботи було провести оцінку найбільш поширених поверхнево-активних речовин (ПАР) для технологічного процесу уварювання утфелю у цукровому виробництві. **Методи.** Аналіз і моніторингове дослідження проводилося з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці. **Результати.** Наводяться найбільш поширені поверхнево-активні речовини, що застосовуються на вітчизняних і європейських цукрових заводах за процесу кристалізації цукрози. Показано основні переваги застосування тих чи інших ПАР за уварювання утфелю і кристалізації цукрози, а також наведено їх рекомендовані витрати. Обґрунтована необхідність використання поверхнево-активних речовин, виготовлених на органічній основі задля отримання якісної і безпечної продукції, що вироблена за мінімального шкідливого впливу на навколишнє середовище. **Сфера застосування результатів.** Цукрові підприємства одержать дані щодо застосування найбільш доцільних поверхнево-активних речовин в технологічному процесі кристалізації цукрози.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, дифузійний сік, сироп, утфель, кристали, кристалізація, цукор, цукрове виробництво, суспензія, часточки, дисперсність, адсорбція.

ANALYSIS OF SURFACTANTS AND THEIR INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF SUGAR CONFECTIONS

*Olena Anisimova^{1,3}, postgraduate student,
Leading process engineer,*
<https://orcid.org/0000-0002-8459-1631>

*Serhii Tkachenko^{1,2}, PhD, Senior Researcher, Senior Research
of Department of Sugar Technology, Sugar-containing Products and Ingredients,
Senior Lecturer of the Department of Food Production*
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Institutes of Postgraduate Education of NUFT, Kyiv, Ukraine

³LLC «Research and Production Enterprise «Electrogasochem», Kyiv, Ukraine

Subject. Fluidity and viscosity, as well as minimal foaming of syrups, molasses and intercrystalline solutions, are among the most important properties of these suspensions and solutions. Thus, foaming complicates the processes of cooking and centrifugation of molasses, and the high viscosity of suspensions of semi-products leads to higher energy consumption for their transformation, slowing down the process of thickening and crystallization of sucrose and increasing the yield of molasses and the

sugar content in it. Therefore, the use of methods and techniques to intensify and improve the technological process of boiling the molasses is an urgent task. One of the ways to solve this problem is to use surfactants that will reduce foaming, viscosity of the mash, improve the crystal structure of the mash and intensify the process of its centrifugation. **Purpose.** The aim of the work was to evaluate the most common surface active substances ("surfactants") for the technological process of boiling the molasses in sugar production. **Methods.** The analysis and monitoring study was conducted using methodological approaches used in domestic and international practice. **Results.** The most common surfactants used at domestic and European sugar factories in the process of sucrose crystallization are presented. The main advantages of using certain surfactants in the process of boiling the massecuite and crystallization of sucrose are shown, and their recommended consumption is given. The necessity of using surfactants made on an organic basis to obtain high-quality and safe products produced with minimal harmful. **Scope of results.** Sugar enterprises will receive data on the use of the most appropriate surfactants in the technological process of sucrose crystallization.

Keywords: surfactant, raw juice, syrup, massecuite, crystals, crystallization, sugar, sugar production, suspension, particles, dispersion, adsorption.

Постановка проблеми. Фізико-механічні і фізико-хімічні властивості цукрових розчинів і суспензій, таких як утфелі та міжкристальні розчини, тісно пов'язані з процесом кристалізації цукрози. В'язкість або текучість (величина, зворотна в'язкість) є одними з найважливіших властивостей цих розчинів і суспензій. Висока в'язкість суспензій напівпродуктів передбачає вищу витрату енергії на їх перетворення, уповільнення перебігу процесу згущення і кристалізації утфелю та збільшення виходу меляси і вмісту цукру у ній.

Збільшення в'язкості напівпродуктів пов'язане з високим вмістом нецукрів, особливо речовин колоїдної дисперсності (РКД), що надходять в дифузійний сік з цукрових буряків. Парові бульбашки також підвищують в'язкість киплячих цукрових розчинів і суспензій [1, 2]. Утфелі з більшою дисперсністю кристалів цукру мають більшу в'язкість за однакової їх масової концентрації [3]. Крім того, ослизлі мікробіологічні речовини, такі як декстран і леван, збільшують в'язкість утфелів і сиропів [2, 4–7]. Підвищений вміст кальцієвих солей у сиропі і надмірне використання антинакипінів, також призводить до збільшення в'язкості, ускладнення процесу кристалізації цукрози та погіршення якості готової продукції [8, 9].

Для покращення і спрощення технологічного процесу уварювання утфелю широко застосовуються різні методи та прийоми, включаючи використання поверхнево-активних речовин (ПАР) [10–28]. У технологічному контексті використання ПАР призводить до зменшення піноутворення, зменшення в'язкості утфелю, покращення кристалічної структури утфелю, інтенсифікації процесу центрифугування [3, 10–28].

Задля економічної доцільності і запобігання можливому включенню ПАР у кристали цукру необхідно використовувати відповідні рекомендовані та нормовані їх кількості. Пошук і вибір ефективних ПАР для виробництва цукру залишаються досі актуальними.

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

Результати та обговорення. Використання ПАР може покращити процес перенесення речовини під час зміни агрегатного стану [11]. Особливої уваги заслуговують ті ПАР виявляють свою активність на межі поділу двох рідин, які не змішуються, або твердих поверхонь. Вони не утворюють структур ні на поверхневих шарах, ні в об'ємі розчину. ПАР полегшують процес утворення нових поверхонь, оскільки вони диспергуються в цьому середовищі. Це відбувається завдяки адсорбції, яка зменшує вільну поверхневу енергію рідини або твердого тіла [11, 12]. ПАР мають здатність змінювати молекулярну природу поверхні, коли вони адсорбуються на ній, і зменшувати гідродинамічний опір [11, 12].

Застосування ПАР у вакуумних апаратах (ВА) циркуляційного типу призводить до зменшення вільної енергії системи утфель-пар, що спричиняє зниження міцності поверхневих плівок парових бульбашок [11]. За додавання ПАР до потоку, більші за розміром парові бульбашки під дією турбулентних пульсацій дробляться на дрібніші. У результаті паровміст суміші збільшується, а відносні швидкості фаз, гідравлічний опір і пульсації статичного тиску в потоці дисперсії зменшуються [11]. Такі гідродинамічні умови в кип'ятильних трубах ВА підвищують коефіцієнт тепловіддачі, а перегрів утфелю в пристінному шарі зменшується. Процес уварювання утфелів можна значно покращити за допомогою гідродинамічної циркуляції і використання ПАР. Для цього їх можна вдувати у виді середовища пара-ПАР, безпосередньо у кип'ятильні труби ВА [11].

ПАР «Hodag CB6». Hodag CB6 – це ПАР створений хімічною корпорацією Lambent Technologies (США) [10] на основі поліоксипропіленгліколю, що отриманий з кокосової олії. Він широко використовується в процесі кристалізації цукру для емульгування нецукрів, сприяння їх видаленню, що прискорює процес кристалізації, підвищує чистоту цукру, знижує в'язкості напівпродуктів (утфелю і патоки), а також покращує відокремлення цукру в центрифугах [13, 14].

Промисловими випробуваннями на цукрових заводах штату Флорида (США) встановлено [11], що додавання 0,06% до кількості утфелю «Hodag CB6» зменшує в'язкість утфелю і поверхневий натяг міжкристалічного розчину на 18,5% і до 45% відповідно, що поліпшує циркуляцію його в апаратах.

За рахунок того, що довгі ланцюжки молекул ПАР перебувають у пристінному примезовому шарі паро-утфельного потоку, вони поліпшують умови ковзання і зменшують зусилля зсуву біля стінок труб, що в цілому покращує гідродинамічні умови у ВА [11]. На відміну від цього, гідрофобізація поверхні і зменшення в'язкості утфелю в тонкому пристінному шарі також є факторами, що пояснюють дію ПАР [11].

Разом з цим поліпшується якість звареного цукру: зменшується кольоровість, покращується гранулометричний склад, збільшується вміст сухих речовин (СР) в утфелях за збереження їх текучості і зменшується доброякісність міжкристалічного розчину [11].

Раціональна концентрація препарату «Hodag CB6», за промислових випробувань, становить 0,01% до кількості утфелю першого і другого продуктів. За цієї концентрації час уварювання утфелів першої і другої кристалізації зменшується відповідно на 16,7 і 21,0%, питома продуктивність поверхні нагріву збільшується на 10,1 і 22,1% відповідно та покращується рівномірність кристалів цукру. Крім того, зольність першого продукту зменшується на 0,006% до маси цукру [11].

Авторами [13, 14] проведено ряд експериментів, з метою з'ясувати, як неіоногенна поверхнево-активна речовина «Hodag CB6» впливає на кінетику росту кристалів цукрози залежно від зміни ступеня пересичення, концентрації домішок і температури. Було встановлено вплив на процес росту кристалів кінетичного ефекту пригнічення росту і термодинамічного ефекту стимулювання росту. Виявилось, що в діапазоні досліджуваних концентрацій ПАР переважав термодинамічний ефект стимулювання росту. Додавання ПАР зменшувало вільну поверхневу енергію, що сприяло ефекту стимулювання росту [13, 14] за рахунок збільшення концентрації ПАР. Також було встановлено, що на поверхні кристала на два порядки менше активних центрів росту, ніж на загальній поверхні молекули цукрози. Таким чином, лише частина ділянок кристалу активно бере участь у процесі росту, а більшість із них не бере участі, оскільки вони розташовані на плоскій кристалічній ділянці [13].

Отже в результаті використання ПАР «Hodag CB6» збільшується дисперсна парова фаза, зменшується гідростатичний опір і збільшується коефіцієнт тепловіддачі. Невеликі добавки ПАР інтенсифікують процес уварювання утфелів, збільшують швидкість кристалізації, покращують якість цукру та запобігають утворенню піни в апараті [11, 13, 14].

ПАР Ацетильовані моногліцериди дистильовані (АМГД). АМГД (Е471) отримується шляхом переестерифікації жирів за наявності вільного гліцерину і використовується для посилення уварювання та центрифугування утфелів [11, 12]. Основні характеристики включають температуру плавлення від 28 до 31°C, кислотне число, не більше 2 мг КОН, масова частка зв'язаної оцтової кислоти не більше 23%; і масова частка основної речовини не менше 80% [12].

Введення ПАР АМГД спричиняє ефект піногашення і зниження в'язкості, що покращує процес уварювання утфелів. Їх використання також запобігає утворенню «муки». Чистота утфелів є визначальною характеристикою для визначення кількості введення ПАР [12]. ПАР АМГД додають у кількості 0,0006% до кількості утфелю або 0,07 кг на 100 т буряків [19]. Коли використовується ПАР АМГД, тривалість уварювання утфелів II і III кристалізації зменшується на 8%, що призводить до зменшення втрат цукрози від розкладання і зниження забарвленості утфелів на 5–14%. Коефіцієнт теплопередачі ВА II кристалізації збільшується на 18 ккал/(м²·год·°C), а ВА III кристалізації на 13 ккал/(м²·год·°C). Це сприяє скороченню тривалості уварювання утфелю і зменшенню втрат цукру від розкладання [19], також вміст кристалів в утфелі збільшується на 0,6–1% [19].

Найбільш ефективний вплив АМГД на процес кристалізації утфелів проявляється за пониження технологічної якості буряків, що надходять на переробку, а також за додавання їх до утфелів II і III кристалізації. У період переробки буряку низької технологічної якості використовуючи АМГД можна скоротити тривалість уварювання утфелів останніх ступенів кристалізації на 15–20% [19].

ПАР Ефір полігліцеринової жирної кислоти «PGFE». «PGFE», також відомий як ПГ-3 [17], використовується як піногасник у цукровій промисловості, виробництві цукристих кондитерських виробів, виробництві напоїв та інших секторах харчової та хімічної промисловості [16, 17]. Це новий тип неіонного ПАР, полігидроксиефіру, що дуже добре діє і є високопродуктивним. Його створюють шляхом естерифікації полігліцерину та жирних кислот (Е475), що вироблені на основі рослинних жирів [16].

Ефір полігліцеринової жирної кислоти (ефір полігліцерину), є новим високоефективним активним агентом, він має різну ступінь полімеризації, що дозволяє отримувати різні продукти, змінюючи співвідношення речовин і жирів, що потрапили в реакцію [16].

Фізико-хімічні властивості [16]: зовні це солом'яно-жовтий порошок або гранульована тверда речовина; легко розчиняється в олії, розчиняється в органічних розчинниках, таких як етанол; можна розбавляти гарячою водою. Це неіонний ПАР із гідрофільно-ліпофільним балансом (ГЛБ) 6–9 і здатністю протистояти високим температурам і кислотам.

Основним призначенням «PGFE» [17] є зменшення піни, зниження в'язкості розчинів, прискорення кристалізації цукру, зниження накипоутворення і корозії випарних апаратів.

Переваги застосування «PGFE» включають [17]: збільшення продуктивності обладнання, зниження втрат продукту під час виробництва, підвищення якості готової продукції і зниження витрат на теплоенергію.

Технологічний регламент цукрового заводу передбачає додавання ефіру полігліцерину у кількостях від 0,06 до 0,07 кг на 100 т буряків або 0,0005% до кількості утфелю [19]. Піногасник «PGFE» [19] може зменшити тривалість уварювання утфелю II і III кристалізації на 11–12%. Це призводить до зниження втрат цукрози від розкладання і зниження забарвленості утфелю на 8–15%. Застосування ПАР зменшує в'язкість утфелю та збільшує коефіцієнт теплопередачі ВА II кристалізації на 24 ккал/(м²·год °C) і III кристалізації на 15 ккал/(м²·год·°C), що також сприяє зменшенню тривалості уварювання

утфелю і зменшенню втрат цукру від розкладання [19]. Вміст кристалів у утфелі збільшується на 1,4%, а витрати у 1,2–1,4 рази нижчі, ніж у ПАР АМГ.

ПАР «Foamsol». «Foamsol» виробляється АВ Vickers Lallemand UK Ltd. у Великобританії, і є хімічним реагентом у формі водної емульсії [18–20]. Це потужна поверхнево-активна речовина з сильними властивостями піногасника, що широко використовується у харчовій промисловості для зменшення кількості піни. Диметилполісилоксан, діюча речовина препарату, є ПАР, яка не є токсичною і стійка до нагрівання. У кислому, нейтральному і слабо-лужному середовищах її властивості не змінюються. Ефективність препарату спостерігається в діапазоні температур від +40°C до +90°C [18–20].

Кремнійорганічний препарат «Foamsol» має гнучкий полісилоксановий ланцюг, який робить його ефективним ПАР, оскільки позитивно заряджений кремній однієї ланки ланцюга розміщується проти від'ємно зарядженого кисню іншої ланки [18, 20], що призводить до утворення спіральної структури (рис. 1) [18].

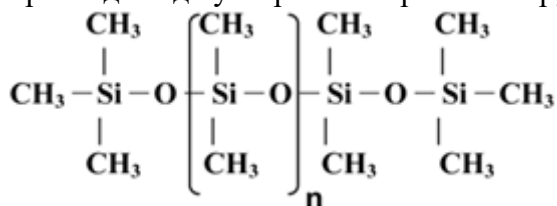


Рис. 1. Зображення структури ланцюга ПАР «Foamsol» [18]

ПАР активно адсорбується у водних розчинах на поверхні розділу фаз, що складається з кристалів твердої фази в утфелі і рідкого міжкристального розчину, утворюючи стійку силоксанову спіраль [20]. Фізико-хімічні властивості поверхневого шару системи змінюються, коли концентрація «Foamsol» збільшується. Це відбувається через

витіснення молекул розчину молекулами ПАР з однієї сторони і перерозподіл водневих зв'язків з іншої [20].

Препарат «Foamsol» створює мономолекулярний шар, що розтікається на поверхні розділу фаз. Як сильна ПАР, він перевершує більш слабкі ПАР, які є піноутворювачами. Таким чином, у ВА зменшується піноутворення, що дуже важливо на початкових стадіях уварювання утфелю [1, 2, 29]. «Foamsol» також має властивості пластифікаторів і стабілізаторів: він стабілізує дисперсну систему, яка складається з твердої фази кристалів і рідкого міжкристального розчину, і створює своєрідну подібність часточок дисперсної фази до дисперсного середовища, що призводить до зменшення в'язкості утфелю [20].

За уварювання утфелів усіх ступенів кристалізації препарат «Foamsol» додають у ВА у кількості 0,02–0,05 кг на 100 т буряків або 0,0002–0,0004% до кількості утфелів [19]. ПАР «Foamsol» зменшує тривалість уварювання утфелю II і III кристалізації на 10–15%. Це призводить до зниження втрати цукрози від розкладання і зменшення забарвленості утфелю на 15–20%. Коефіцієнти теплопередачі ВА II кристалізації збільшуються до 34 ккал/(м²·год·°C) і ВА III кристалізації збільшуються до 18 ккал/(м²·год·°C). Застосування ПАР також зменшує в'язкість утфелю [19], за цього вміст кристалів у утфелі збільшується на 2–3%, а витрата його на 1,5–3% менше порівняно з ПАР АМГД і «PGFE».

Застосування ПАР «Foamsol» у ВА зменшує зрощування кристалів цукрози в утфелі. У присутності ПАР «Foamsol» сили адгезії між поверхнею кристалів і міжкристальним розчином значно зменшуються [20]. У результаті чого міжкристальний розчин краще відділяється від кристалів, що сприяє частій зміні і оновленню шару розчину, що оточує поверхню кристалів. Таким чином процес уварювання утфелю інтенсифікується.

Отже за використання ПАР «Foamsol» можна покращити процес уварювання утфелю шляхом збільшення коефіцієнта теплопередачі і скорочення часу, необхідного для уварювання утфелю на усіх ступенях кристалізації [20]. В результаті зменшується втрата цукру від термічного розкладання, зменшується забарвленість утфелю, а також збільшується вихід цукру і покращується його якість.

Ефіри цукрози. Це ПАР на основі цукрози, що включає складні ефіри цукрози, прості ефіри цукрози та їх суміші [22]. Ефіри цукрози мають унікальні властивості ПАР і

кращі характеристики сумісності в системах напівпродуктів цукрового виробництва. ПАР на основі ефірів цукрози мають значну здатність знижувати в'язкість, знижуючи міжфазний і поверхневий натяг у системах кристалізації цукру, що призводить до збільшення кількості центрів кристалізації і швидкості зародження кристалів, одночасно знижуючи схильність кристалів до агломерації.

Полефір цукрози [22]. Полефір цукрози отримують шляхом взаємодії наступних компонентів у відповідних пропорціях: 342 грама цукрози (1 моль), 815 грама пропіленоксиду (14 моль) і два молі метилкоконату (жирний метиловий ефір кислоти, в якому лауринова кислота є основною жирною кислотою). Змішуючи цукрозу з пропіленоксидом, отриманий продукт етерифікували метилкоконатом, що призвело до утворення поліпропоксипропанолу лауроілового ефіру цукрози. При 25°C показник заломлення становить 1,363, а в'язкість становить 0,28 сП. Отримані ПАР додавали до утфелів у ВА, щоб збільшити загальний вихід цукру і зменшити час уварювання утфелів.

Складний цукровий ефір [22]. Ефір жирної кислоти і цукрози отриманий шляхом взаємодії цукрози з метилолеатом у диметилформаміді в якості розчинника. Він має особливі поверхнево-активні властивості, високу розчинність і сумісність у цукрових розчинах.

Простий ефір цукрози [22]. Алкіловий ефір цукрози одержують шляхом взаємодії алкоксильованої цукрози з алкілхлоридом з утворенням кінцевого продукту, такого як лаурилсукриловий ефір.

Водні розчини ефірів на основі цукрози показали хороші характеристики покриття і розподілу в дослідженнях промивання, проведених з використанням концентрації ПАР 200 ppm (0,02%) [22]. Розбавлені розчини ПАР також були випробувані в концентраціях 0,5–1,0% для інших мийних властивостей, включаючи ефективне видалення забруднень з вовняної і бавовняної тканини. На відміну від звичайних іонних ПАР, цукрові ПАР показали високу ефективність миття [22]. Тим не менш, вони значно перевершують ці традиційні поверхнево-активні речовини за своєю унікальною здатністю допомогти в процесі кристалізації цукру [22].

ПАР на основі ефірів цукрози можуть значно покращити технологію виробництва цукру [22]. Додавання ПАР до утфелів у ВА покращує фізичні властивості утфелю, що зменшує час уварювання і збільшує вихід кристалів цукру. ПАР можуть бути введені на будь-якій стадії загального процесу кристалоутворення, включно до стадії, коли кристали відокремлюють від міжкристального розчину. Таким чином, ПАР можна додавати під час різних процесів, таких як концентрування цукрового розчину, кристалізація, скидання або перемішування утфелю та центрифугування утфелю

Витрата цукрових ПАР залежить від складу ПАР і стадії введення агента [22]. Загалом рекомендована концентрація до кількості напівпродукту (сироп, утфель) становить приблизно від 0,01% до 1,0% і від 0,03% до 0,5%. Рекомендована концентрація для пробілювання цукру становить від 0,1% до 1% до кількості промивної води.

ПАР мають високу розчинність і сумісність з концентрованими розчинами цукру, що є значною перевагою [22]. Крім того, ефіри цукрози позитивно впливають на змочувальні властивості розчинів, зменшують піноутворення, знижують в'язкість, покращують теплообмін і зменшують утворення накипу у ВА [22]. У присутності ПАР ефірів цукрози швидкість кристалізації цукру з розчину збільшується, і утворюється більш сухий і білий цукор, також значно скорочується час, що необхідний для вирощування заданої кількості кристалів [22].

Загалом використання ПАР на основі ефірів цукрози має на меті покращити умови вилучення цукру, підвищити швидкість кристалізації цукрів, збільшити загальний вихід цукру і покращити його якість готового продукту.

ПАР «Kebosol CA». «KEBOSOL CA» – це неіоногенна ПАР, розроблена Keller & Bohacek GmbH & Co. KG у Німеччині складається з етиленоксиду та добірного жирного

спирту [23]. У проміжних стадіях цукрового виробництва він служить як піногасник, так і зволожувачом.

Технічні дані [23]: рідина світлого кольору, тістоподібна за температурою нижче 20°C; значення рН за концентрації 100 г/дм³ води становить від 4,6 до 9, а густина 1 г/см³ при 60°C. Препарат зберігається протягом не менше двох років у закритій сталевій бочці за температурою не вище 60°C.

«Kebosol SA» зменшує в'язкість утфелю ВА, що полегшує його використання, покращує перемішування, забезпечує стабільнішу кристалізацію та кращу текучість. ПАР «Kebosol SA» можна додавати безпосередньо в проміжні напівпродукти, оскільки він вже готовий до використання за кімнатної температури. Характеризується низькою витратою; достатньо 10–15 ppm (0,001-0,0015%) препарату для досягнення ідеальної в'язкості або зменшення піноутворення [24].

ПАР «Kebosol SA» можна додавати на різних етапах кристалізації утфелю у ВА або подавати разом із відтоками. Перед додаванням «Kebosol SA» можна попередньо розбавити холодною або теплою водою у співвідношенні 1:5, якщо це необхідно. Перед використанням «Kebosol SA» слід зберігати в теплому середовищі (наприклад, біля ВА), щоб зменшити його в'язкість. Для отримання 50 т утфелю достатньо 500 г «Kebosol SA», що становить 10 ppm [23].

Використання «Kebosol SA» гарантує [24]:

- Більш ефективне використання об'єму ВА. Завдяки кращому наповненню цукровим розчином суміш стає більш текучою і легшою в обробці, що також дозволяє змішувати інгредієнти більш ефективно і створювати кращі кристали. Таким чином, більше цукру буде поміщатися в ВА, що дозволяє отримувати більші партії при тому ж об'ємі ВА.

- Сприяння утворенню кристалів: нижче значення в'язкості полегшує рух твердих часточок у рідині. Це робить перемішування кращим і розподіл кристалічних центрів у цукровому розчині більш рівномірним. У результаті це сприяє швидшому та рівномірному утворенню кристалів.

- Зменшення кількості конгломератів: Занадто висока в'язкість може спричинити утворення конгломератів або агломерацію твердих часточок у густому сиропі. Це може вплинути на ефективність утворення кристалів і призвести до нерівномірного росту кристалів.

- Збільшення швидкості потоку: через меншу в'язкість густого сиропу швидкість потоку через трубопроводи і частини обладнання збільшується, що підвищує продуктивність і ефективність процесу кристалізації.

Отже у результаті використання ПАР «Kebosol SA» в'язкість цукрового розчину зменшується. Це позитивно впливає на піноутворення, текучість утфелю і утворення кристалів. «KEBOSOL SA» також сприяє економії енергоресурсів, дозволяючи проводити процеси за вищої густини, і стабілізує процес кристалізації.

ПАР «Естер С». ПАР «Естер С» (ТОВ «НВП «Електрогазохім», Україна) є препаратом, виготовленим на основі полігліцеринової жирної кислоти «PGFE», який є сумішшю ефірів полігліцерину і жирних кислот рослинного походження (E475) [25-27]. У цукровій промисловості використовується для видалення піни з цукрових розчинів, зниження в'язкості та пришвидшення процесів кристалізації. Він може бути виготовлений як у твердому (порошку), так і в рідкому стані. Твердий препарат зберігається в мішках із паперу або поліпропілену з поліетиленовим вкладишем, а рідкий препарат зберігається в полімерних каністрах і бочках для харчових продуктів у сухих чистих приміщеннях, захищених від сонячних променів і атмосферних опадів. Термін зберігання становить не менше двох років [25–27]. Технічні дані [27]: температура плавлення (для твердого), не менше 50°C; піногасні властивості, см/с піни, не менше 0,9.

ПАР «Естер С» твердий використовується як у товарному вигляді, так і у приготуванні 5–10% емульсії [25, 27], у кількості, що необхідна для здійснення технологічного циклу. Емульсію готують змішуванням піногасника з аміачною водою в об'ємному співвідношенні 1:4 при температурі 60–65°C. Для утфелів першої кристалізації витрата становить 6–8 г ПАР на 1 т утфелю, тоді як для утфелю другої і останньої кристалізації необхідно 9–12 г ПАР на 1 т утфелю.

«Естер С» рідкий можна використовувати двома способами [26, 27]: за допомогою систематичної подачі дозуючим насосом або короткочасною подачею в кількості, необхідній для усунення пінення, зниження в'язкості і інтенсифікації процесів кристалізації. Для утфелю першої кристалізації витрата складає 5–6 г на 1 т утфелю. Витрата для утфелю другої і останньої кристалізації повинні бути в межах 8–10 г на 1 т утфелю, а перед центрифугуванням – 5–10 г на 1 т утфелю.

На багатьох заводах України поверхнево-активну речовину «Естер С» у твердій, емульсійній і рідкій формах використовували для покращення процесів кристалізації [27].

Для утфелю I кристалізації за переробки технологічної, високоякісної цукровмісної сировини витрати ПАР складають 5–6 г на 1 т утфелю, а для утфелів низької якості (з чистотою менше 90%) витрати «Естер С» збільшують до 8–10 г на 1 т утфелю, його додають через пробний кран перед набором апарата сиропом [27].

Утфелі останньої кристалізації відрізняються збільшеною в'язкістю, здатністю до піноутворення і малою швидкістю кристалізації. З цієї причини використання піногасника значно впливає на процеси отримання цього типу утфелів. У разі низької якості утфелю, (чистота нижче за 76–78%), найкращі витрати ПАР становлять 10–11 г на 1 т утфелю [27]. Якщо уварювання утфелю з чистотою 78–80% не супроводжується інтенсивним піноутворенням, витрати знижуються до 6–8 г на 1 т утфелю [27].

За використання піногасника в продуктовому відділенні скорочується цикл центрифугування утфелів останнього ступеня кристалізації і покращується якість жовтого цукру [27]. ПАР вносять у останню мішалку-кристалізатор перед надходженням утфелю до розподільника у кількості від 5 до 10 г на 1 т утфелю, в залежності від якості продукту.

Використання піногасника «Естер С» в продуктовому відділенні дозволяє зменшити піноутворення на 85–90%, зменшити в'язкість продуктів, досягти більш глибокого виснаження міжкристального розчину, зменшити час уварювання утфелів проміжної і останньої кристалізації на 10–15%, збільшити чистоту останнього продукту на 4–8% і зменшити вихід меляси та вмісту цукру в ній на 10–15% [27].

У ситуаціях, коли відділення меляси від кристалів у центрифугах значно погіршується (наприклад, через надмірне зниження чистоти утфелю, переохолодження і вимушені зупинки центрифуг), піногасник додають безпосередньо перед центрифугуванням утфелів останньої кристалізації [27].

Переваги застосування ПАР «Естер С» [25–27]: це харчова ПАР, яку можна використовувати без обмежень, вона повністю біорозкладається; має високу здатність до піногашення; ефективна на всіх технологічних стадіях виробництва цукру; можна використовувати як у вигляді емульсій різних концентрацій, так і без попереднього розчинення; зменшує в'язкість цукрових розчинів; інтенсифікує процес кристалізації; і скорочує час уварювання утфелів всіх кристалізацій; накопичуючись у мелясі, вона запобігає піненню під час її зберігання, без погіршення технологічних характеристик. Окрім цього використання вітчизняного піногасника дозволяє замінити більш дорогі і не завжди ефективні піногасники закордонного виробництва.

ПАР «Естерін А 08». «Естерін А 08», що виробляє ТОВ «НВП «Електрогазохім», Україна, є препаратом, який складається з моно-, ди- та триєфірів поліетиленгліколю і ненасичених вищих жирних кислот рослинного походження [28]. У цукровій промисловості використовується для видалення піни з цукрових розчинів, зниження в'язкості і пришвидшення процесів кристалізації.

Препарат виготовляється у рідкому стані і зберігається в сухих чистих приміщеннях, захищених від сонячних променів і атмосферних опадів, на відстані 1 м від закритих джерел тепла при температурі від 0 до 45°C. Термін зберігання становить не менше двох років. Препарат зберігається в полімерних каністрах і бочках для харчових продуктів [28].

Для прискорення процесів кристалізації «Естерін А 08» додають безпосередньо у ВА для усунення пінення утфелю і зменшення його в'язкості, також вводять у останню мішалку-кристалізатор за безперервної кристалізації утфелю. Витрата ПАР становить 4–5 г на 1 т утфелю для утфелів першої кристалізації, 6–8 г на 1 т утфелю для утфелів другої і останньої кристалізації, а перед центрифугуванням – 4–6 г на 1 т утфелю.

Переваги застосування ПАР «Естерін А 08» [27, 28]: це харчова ПАР, що можна використовувати без обмежень, і яка повністю біорозкладається, має високу здатність до піногашення, ефективна на всіх технологічних стадіях виробництва цукру, не потребує додаткового приготування, знижує в'язкість цукрових розчинів, інтенсифікує процес кристалізації і скорочує час уварювання утфелів першої, другої та останньої кристалізації, а також покращує процес центрифугування і гранулометричного складу цукру.

У таблиця 1 представлені узагальнені характеристики ПАР, що найчастіше використовуються в цукровій промисловості для уварювання утфелю.

Таблиця 1

Узагальнена характеристика ПАР для уварювання утфелів

Назва	Виробник	Основна речовина	Вигляд	Рекомендована витрата
«Hodag CB6»	«Lambent Technologies» (США)	Поліоксипропілен-гліколь	Емульсія	0,01–0,06% до кількості утфелю
АМГД	Хімічна промисловість	Ацетильовані моногліцериди дистильовані (E471)	Емульсія	0,0006% до кількості утфелю
«PGFE»	Хімічна промисловість	Ефір полігліцеринової жирної кислоти (E475)	Порошок	0,0005% до кількості утфелю
«Foamsol»	AB Vickers Lallemand Ltd (Великобританія)	Диметилполісилоксан	Емульсія	0,0002–0,0004% до кількості утфелю
Ефіри цукрози	Хімічна промисловість	Складні ефіри цукрози, прості ефіри цукрози та суміші цих ефірів	Розчин	0,01–0,5% до кількості утфелю, сиропу; 0,1–1,0% до кількості промивної води для цукру
«Kebosol SA»	Keller & Bohacek GmbH & Co. KG (Німеччина)	Етиленгліколь і жирний спирт	Рідина	0,001–0,0015% до кількості утфелю, сиропу
«Естер С»	ТОВ «НВП «Електрогазохім» (Україна)	Суміш жирних кислот рослинного походження та ефірів полігліцерину (E475)	Порошок/Рідина	Порошок: 6–8 г на 1 т утф. I кр.; 9–12 г на 1 т утф. II, III кр. Рідина: 5–6 г на 1 т утф. I кр.; 8–10 г на 1 т утф. II, III кр.; 5–10 г на 1 т утф. перед центрифугуванням
«Естерін А 08»	ТОВ «НВП «Електрогазохім» (Україна)	Суміш ненасичених вищих жирних кислот рослинного походження та моно-, ди- і триефірів поліетиленгліколю	Рідина	4–5 г на 1 т утф. I кр.; 6–8 г на 1 т утф. II, III кр.; 4–6 г на 1 т утф. перед центрифугуванням

Висновки. Таким чином за допомогою використання ПАР у процесі кристалоутворення цукру і розділення утфелю досягається: зниження в'язкості цукрового розчину, що позитивно впливає на зменшення піноутворення; зменшується гідростатичний опір і збільшуються коефіцієнти теплопередачі ВА, що сприяє скороченню тривалості уварювання утфелю, зниженню його забарвленості і зменшенню втрат цукру від термічного розкладання; поліпшується текучість утфелю та процеси

утворення рівномірних кристалів в ньому; в результаті чого збільшується вихід цукру і покращується його якість

Наразі головним завданням у цукровій промисловості є використання ПАР, виготовлених на органічній основі, щоб отримати якісну і безпечну конкурентоспроможну продукцію та зменшити шкідливий вплив виробництва на навколишнє середовище. Ці ПАР мають повністю розкладатися (біорозкладатися), не залишаючись у готовій продукції і не погіршуючи навколишнє середовище.

Бібліографія

1. Asadi M. Beet-Sugar Handbook: 1 edition. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2007. 868 p.
2. 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.
3. Требін, Л. І., Мирончук В. Г., Підгорний В. М., Силко О. А. Вплив гранулометричного складу кристалів і в'язкості утфелю останнього продукту на продуктивність центрифуг та технологічні характеристики меляси. Наукові праці НУХТ. 2006. № 18. С. 83–85.
4. Saska M. Crystallization rate, heat transfer and viscosity of technical sugarcane liquors. Zuckerindustrie. 131. 2006. P. 98–104.
5. Eggleston G., Côté G., Santee C. New insights on the hard-to-boil massecuite phenomenon in raw sugar manufacture. Food Chemistry. 126 (1). 2011. P. 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.038>
6. Fowke, N.D., Hennessy M.G, Moyles I. R., Thomson S., Fareo G., Atherfold J. Hard to Boil Massecuite. Environmental Science, Agricultural and Food Sciences. 2017. P. 30–53. <https://doi.org/10.33774/miir-2021-thlbi>.
7. Скорик К. Д. Визначення чистоти нормальної меляси при оптимізації переробки цукрових буряків різної якості. «Качество сахарной свеклы урожая 2008 года. Пути обеспечения эффективной переработки свеклы и повышения качества готовой продукции»: матеріали науково-технічного семінару. Київ: АОЗТ «Кристалл», 2008. С. 48–50.
8. Grbic J., Mucibabic R.J. Sucrose crystal growth rate in pure solutions and in the presence of calcium acetate. International sugar journal. 2008. 1310. P. 116–119.
9. Хомічак Л.М., Василенко С.М., Кухар В.М. Солі кальцію та їх вплив на ефективність виробництва і якість цукру. Вісник цукровиків України. 2014. № 5 (96). С. 13–16.
10. Hodag™ CB-6 KP Defoamer. Режим доступу: <https://www.vantagegrp.com/Product/Hodag-CB-6-KP-Defoamer>.
11. Кулинченко В. Р., Гаряжа В. Т., Кулинченко Е. В., Дидушко Б. Г. Механизм действия поверхностно-активных веществ при уваривании утфеля. Научно-технический сборник. Пищевая промышленность. Киев: КТИПП, 1984. № 3(121). С. 33–35.
12. Кулинченко, В. Р. Применение ПАВ при уваривании утфелей «Удосконалення процесів і обладнання - запорука інноваційного розвитку харчової промисловості»: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 10–11 квітня 2012 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2012. С. 51–53.
13. Vasanth Kumar K., Rocha F., Kinetics and thermodynamics of sucrose crystal growth in the presence of a non-ionic surfactant. Surface Science. 604, 11–12. 2010. P. 981–987. <https://doi.org/10.1016/j.susc.2010.03.001>.
14. Vasanth Kumar K., Rocha F. On the effect of a non-ionic surfactant on the surface of sucrose crystals and on the crystal growth process by inverse gas chromatography. Journal of Chromatography A. 1216, 48. 2009. P. 8528–8534. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.09.077>.
15. Чупахіна В. П., Скорик К. Д., Галацан Л. А. Деякі особливості переробки цукросировини врожаю 2010 року. Вісник цукровиків України. № 9 (52). 2010. С. 22–25.
16. Ефір полігліцерину жирних кислот. <https://ua.eastarchemical.com/food-emulsifier/polyglycerol-fatty-acid-ester-cas-no-67784-82.html>.
17. Колчинский С. В., Станіславський Л.П. Інтенсифікація процесів цукрового виробництва при використанні піногасника «ПГ-3» та затравочної суспензії «ССС-Р». Цукор України. 2002. № 3. С. 20–21.
18. Technical Information – Foamsol (FDC511). https://www.agronetbrewing.com/wp-content/uploads/2019/06/Foamsol_informacion_antiespumante.pdf
19. Савич А. Н., Штангеева Н. І., Клименко Л. С., Дубовець О. В. Інтенсифікація процесу отримання утфелю II та III кристалізації з використанням поверхнево-активної речовини «Фоамсол». Цукор України. 2007. № 4 (53). С. 27–28.
20. Спосіб інтенсифікації уварювання утфелів: патент на корисну модель 25945 Україна: МПК C13D 1/10; №u200704734; заявл. 24.04.2007; опуб. 27.08.2007. Бюл. №13.

21. Fuentes O., Sestak J., Schaefer J. Industrial evaluation of surfactant effects on vacuum pans and its correlation with crystal formation and purity. *Journal of Sugar Beet Research*. 32 (4). 2017 P. 151–158.
22. Sucrose based surfactants as aids in sugar refining and sugar crystallization processes: Patent number US3476598A: C13B30/02; (IPC1-7): C13F1/02; C13B30/021 (EP,US); Application 10.05.1966; Publication 04.11.1969.
23. KEBOSOL CA. <https://www.kebo.de/en/products/additives/viscosity-reducers/kebosol-ca/>
24. Crystallization – Keller & Bohacek GmbH & Co. KG. Каталог. https://www.kebo.de/fileadmin/en_version/downloads/kebo-kristallisation_231004_en.pdf.
25. Естер С твердий речовина поверхнево-активна для руйнування піни. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-s-tverdiy/>.
26. Естер С рідкий речовина поверхнево-активна для руйнування піни. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-s-zhidkiy/>.
27. Дорошенко В. А., Анісімова О. М., Мехтієва О. К., Скорик К. Д. Досвід впровадження вітчизняного піногасника в цукровій промисловості. *Цукор України*. 2006. 1–2. С. 24–27.
28. Речовина поверхнево-активна Естерін А 08. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/esterin-a-08/>.
29. Cavalcante C. S., Albuquerque F. M. Chapter 14. The Sugar Production Process, Editor(s): Fernando Santos, Aluizio Borém, Celso Caldas, Sugarcane. Academic Press. 2015. P. 285–310. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802239-9.00014-1>.

References

1. Asadi, M. Beet-Sugar (2007). Handbook: 1 edition. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA. 868 p.
2. 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.
3. Trebin, L. I., Myronchuk, V. H., Pidhornyi, V. M., Sylko, O. A. (2006). Vplyv hranulometrychnoho skladu krystaliv i viazkosti utfeliu ostannoho produktu na produktyvnist tsentryfuh ta tekhnolohichni kharakterystyky meliasy [Influence of crystal size distribution and viscosity of the massecuite final product on centrifuge performance and technological characteristics of molasses]. *Naukovi pratsi NUKhT [Scientific works of NUFT]*. № 18. P. 83–85. [in Ukrainian].
4. Saska, M. (2006). Crystallization rate, heat transfer and viscosity of technical sugarcane liquors. *Zuckerindustrie*. 131. P. 98–104.
5. Eggleston G., Côté G., Santee C. (2011). New insights on the hard-to-boil massecuite phenomenon in raw sugar manufacture. *Food Chemistry*. 126 (1). P. 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.038>.
6. Fowke, N. D., Hennessy M. G., Moyles, I. R., Thomson, S., Fareo, G., Atherfold, J. (2017). Hard to Boil Massecuite. *Environmental Science, Agricultural and Food Sciences*. P. 30–53. <https://doi.org/10.33774/miir-2021-thlhl>.
7. Skoryk, K. D. (2006). Vyznachennia chystoty normalnoi meliasy pry optymizatsii pererobky tsukrovkykh buriakiv riznoi yakosti [Determination of purity of normal molasses in optimization of sugar beet processing of different quality]. *Kachestvo sakharnoi svekli urozhaya 2008 goda. Puti obespecheniya effektivnoi pererabotki svekli i povisheniya kachestva gotovoi produktsii* [«Quality of sugar beet harvested in 2008. Ways to ensure efficient sugar beet processing and improve the quality of finished products»]: materialy naukovy-tekhnichnoho seminaru [materials of the scientific and technical seminar]. Kyiv: JSC "Kristall". P. 48–50. [in Ukrainian].
8. Grbic, J., Mucibabic, R. J. (2008). Sucrose crystal growth rate in pure solutions and in the presence of calcium acetate. *International sugar journal*. 1310. P. 116–119.
9. Khomichak L.M., Vasylenko S.M., Kukhar V.M. (2014). Soli kaltsiiu ta yikh vplyv na efektyvnist vyrobnytstva i yakist tsukru [Calcium salts and their impact on production efficiency and sugar quality]. *Visnyk tsukrovkyv Ukrainy [Bulletin of Sugar Producers of Ukraine]*. № 5 (96). P. 13–16. [in Ukrainian]
10. Hodag™ CB-6 KP Defoamer. <https://www.vantagegrp.com/Product/Hodag-CB-6-KP-Defoamer>
11. Kulynchenko V. R., Hariazha V.T., Kulynchenko E.V., Dydushko B.H. (1984). Mekhanizm deistviya poverkhnostno-aktivnykh veshchestv pri uvarivanii utfelya [Mechanism of action of surfactants during ullage boiling]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik. Pishchevaya promishlennost [Scientific and technical collection. Food industry]*. Kyiv: KTIFP. № 3 (121). P. 33–35. [in Ukrainian].
12. Kulynchenko, V. R. (2012). Primenenie PAV pri uvarivanii utfelei [Use of surfactants in ullage boiling] *Udoskonalennia protsesiv i obladnannia – zaporuka innovatsiinoho rozvytku kharchovoi promyslovosti»: materialy mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii* [“Improvement of processes and equipment is the key to innovative development of the food industry”: materials of the international scientific and practical conference], April 10–11, 2012. Kyiv: NUFT. P. 51–53. [in Ukrainian].

13. Vasanth Kumar, K., Rocha, F. (2010). Kinetics and thermodynamics of sucrose crystal growth in the presence of a non-ionic surfactant. *Surface Science*. 604, 11–12. P. 981–987. <https://doi.org/10.1016/j.susc.2010.03.001>
14. Vasanth Kumar K., Rocha F. (2009). On the effect of a non-ionic surfactant on the surface of sucrose crystals and on the crystal growth process by inverse gas chromatography. *Journal of Chromatography A*. 1216, 48. P. 8528–8534. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.09.077>
15. Chupakhina, V. P., Skoryk, K. D., Halatsan, L. A. (2010). Deiaki osoblyvosti pererobky tsukrosyrovyny vrozhaiu 2010 roku [Some peculiarities of processing raw sugar from the 2010 harvest]. *Visnyk tsukrovykiv Ukrainy [Bulletin of Sugar Producers of Ukraine]*. №9 (52). P. 22–25. [in Ukrainian]
16. Efir polihlitserynu zhyrnykh kyslot [Polyglycerol fatty acid ester]. <https://ua.eastarchemical.com/food-emulsifier/polyglycerol-fatty-acid-ester-cas-no-67784-82.html>
17. Kolchynskyi, Ye. V., Stanislavskyi, L. P. (2002). Intensyfikatsiia protsesiv tsukrovoho vyrobnytstva pry vykorystanni pinohasnyka «PH-3» ta zatravочноi suspenzii «SSS-R» [Intensification of sugar production processes with the use of "PG-3" defoamer and "SSS-R" seeding slurry]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. № 3. P. 20–21. [in Ukrainian]
18. Technical Information – Foamsol (FDC511). https://www.agronetbrewing.com/wp-content/uploads/2019/06/Foamsol_information_antiespumante.pdf
19. Savych, A. N., Shtanheieva, N. I., Klymenko, L. S., Dubovets, O. V. (2007). Intensyfikatsiia protsesu otrymannia utfeliu II ta III krystalizatsii z vykorystanniam poverkhnevo-aktyvnoi rehovyny «Foamsol» [Intensification of the process of obtaining crystallization II and III of the massecuite using the surfactant "Foamsol"]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. № 4 (53). P. 27–28. [in Ukrainian]
20. Sposib intensyfikatsii uvariuvannia utfeliv [A method for intensifying the boiling of massecuites] (2007): patent na korysnu model 25945 Ukraina [utility model patent number 25945 Ukraine]: MPC C13D 1/10; №u200704734; application 24.04.2007; publication 27.08.2007. *Bulletin* №13. [in Ukrainian]
21. Fuentes, O., Sestak, J., Schaefer, J. (2017). Industrial evaluation of surfactant effects on vacuum pans and its correlation with crystal formation and purity. *Journal of Sugar Beet Research*. 32 (4). P. 151–158.
22. Sucrose based surfactants as aids in sugar refining and sugar crystallization processes (1969): Patent number US3476598A: C13B30/02; (IPC1-7): C13F1/02; C13B30/021 (EP,US); Application 10.05.1966; Publication 04.11.1969.
23. KEBOSOL CA. <https://www.kebo.de/en/products/additives/viscosity-reducers/kebosol-ca/>
24. Crystallization – Keller & Bohacek GmbH & Co. KG. https://www.kebo.de/fileadmin/en_version/downloads/kebo-kristallisation_231004_en.pdf
25. Ester C tverdyi rehovyna poverkhnevo-aktyvna dlia ruinuвання piny [Ester C solid surfactant for foam breaker]. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-s-tverdiy/>
26. Ester S ridkyi rehovyna poverkhnevo-aktyvna dlia ruinuвання piny [Ester C liquid surfactant for foam destruction]. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-s-zhidkiy/>
27. Doroshenko, V. A., Anisimova, O. M., Mekhtieva, O. K., Skoryk, K. D. (2006). Dosvid vprovadzhennia vitchyznianoho pinohasnyka v tsukrovii promyslovosti [Experience of introducing a domestic defoamer in the sugar industry]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. 1–2. P. 24–27.
28. Rehovyna poverkhnevo-aktyvna Esterin A 08 [Surface-active substance Esterin A 08]. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/esterin-a-08/>
29. Cavalcante, C. S., Albuquerque, F. M. (2015). Chapter 14. The Sugar Production Process, Editor(s): Fernando Santos, Aluizio Borém, Celso Caldas, Sugarcane. Academic Press. P. 285–310. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802239-9.00014-1>