





Совершенствование кристаллизации утфелей в сахарном производстве





Надежда Г. Кульнева	¹	ngkulneva@ya.ru	 0000-0003-3802-9071
Владимир А. Федорук	²	yzas2006@ya.ru	 0000-0002-7410-0165
Наталья А. Матвиенко	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Екатерина М. Пономарева	¹	katusha1234570@gmail.com	 0000-0003-3142-7587

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
² ООО «БМА Руссланд», ул. Комиссаржевской, 10, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены концепции работы вакуум-аппаратов непрерывного действия: вертикального VKT (VKT – Verdampfungs-Kristallisations-Turm) и горизонтального каскада вакуум-аппаратов VKH (VKH – horizontal vacuum pan) компании БМА (Германия). Показаны преимущества и особенности вертикального вакуум-аппарата непрерывного действия VKT, а также возможности по увеличению эффективности работы продуктового отделения сахарных заводов. Благодаря специальной конструкции кристаллизационных камер, низкому уровню утфеля над греющей камерой и применению механических мешалок в каждой камере аппарат VKT может без затруднений работать с очень малой разностью температур между греющим паром и утфелем, а также с абсолютным давлением греющего пара значительно ниже 1 бар. При оптимальном использовании вакуум-аппаратов VKT могут быть реализованы самые различные энергосберегающие схемы, например, испарение с двойным эффектом в кристаллизационном отделении. Часть вторичного пара кристаллизации используется для обогрева одного из аппаратов VKT, что позволяет экономить идущий на эти цели греющий пар выпарной установки. При увеличении производительности сахарного завода возможно быстрое оснащение аппарата VKT дополнительной камерой. Аппарат работает непрерывно в течение всего сезона, в особенности с продуктами чистотой утфеля более 94 %. Очистка камер производится без остановки всего аппарата. Уваривание утфелей всех ступеней кристаллизации в аппаратах VKT обеспечивает равномерный режим работы продуктового отделения, позволяет добиться увеличения выхода сахара и способствует сокращению расхода пара на заводе.

Ключевые слова: вакуум-аппарат, кристаллизация, утфель, сахар, сахарное производство

Improving the massecuite crystallization in sugar production

Nadezhda G. Kulneva	¹	ngkulneva@ya.ru	 0000-0003-3802-9071
Vladimir A. Fedoruk	²	yzas2006@ya.ru	 0000-0002-7410-0165
Natalya A. Matvienko	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Ekaterina M. Ponomareva	¹	katusha1234570@gmail.com	 0000-0003-3142-7587

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
² LLC BMA russland, Komissarzhevskaya St., 10, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article discusses the concepts of continuous vacuum apparatus operation: vertical VKT (VKT – Verdampfungs-Kristallisations-Turm) and horizontal cascade of VKH vacuum apparatus (VKH – horizontal vacuum pan) from BMA (Germany). The advantages and features of the vertical continuous vacuum apparatus VKT are shown, as well as the possibilities for increasing the efficiency of the product department of sugar factories. Thanks to the special design of the crystallization chambers, the low massecuite level above the heating chamber and the use of mechanical stirrers in each chamber, the VKT apparatus can operate without difficulty with a very small temperature difference between heating steam and massecuite, as well as with an absolute heating steam pressure well below 1 bar. With optimal use of VKT vacuum apparatus, a variety of energy-saving schemes can be implemented, for example, double-effect evaporation in the crystallization section. Part of the secondary crystallization steam is used to heat one of the VKT units, which saves the heating steam of the evaporator unit used for this purpose. With an increase in the productivity of the sugar factory, it is possible to quickly equip the VKT apparatus with an additional chamber. The device works continuously throughout the season, especially with products with massecuite purity of more than 94%. The chambers are cleaned without stopping the entire apparatus. The boiling of massecuite of all stages of crystallization in VKT devices ensures a uniform operating mode of the food compartment, allows to achieve an increase in sugar yield and helps to reduce steam consumption at the plant.

Keywords: vacuum apparatus, crystallization, massecuite, sugar, sugar production

Введение

Известно, что цикличность процесса промышленного получения сахарных утфелей в вакуум-аппаратах периодического действия (ВАПД) нарушает непрерывность технологического потока современного сахарного завода, вызывает пиковые расходы греющего пара,

ограничивает внедрение комплексной автоматизации одного из основных процессов – промышленной кристаллизации сахарозы, тормозит совершенствование технологических процессов центрифугирования утфелей и сушки сахара, снижает эффективность всего производства в целом.

Для цитирования

Кульнева Н.Г., Федорук В.А., Матвиенко Н.А., Пономарева Е.М. Совершенствование кристаллизации утфелей в сахарном производстве // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 86–93. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-86-93

For citation

Kulneva N.G., Fedoruk V.A., Matvienko N.A., Ponomareva E.M. Improving the massecuite crystallization in sugar production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 86–93. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-86-93

Процесс кристаллизации в ВАПД сопровождается градиентами температур и неоднородности физических свойств утфелей (пересыщения, вязкости, плотности), перегревом в пристенном слое кипяtilьных труб и протекает с 5–10-кратным замедлением циркуляции в течение цикла уваривания.

Наиболее интенсивно данный процесс протекает в кипящем утфеле, однако в периодическом варианте аппаратной реализации в многофазной системе «раствор– кристаллы–пар» при наличии температурных, скоростных и концентрационных полей он трудно регулируется. Это определяет необходимость перехода к технологии непрерывного уваривания в вакуум-аппаратах непрерывного действия, которая является кардинальным шагом в направлении экономии энергоносителей [1].

В сахарной промышленности достаточно долго эксплуатируются вакуум-аппараты двух типов непрерывного действия: горизонтальный (англ. CVP – continuous vacuum pan) [2] и вертикальный (англ. VKT – vertical continuous vacuum pan) [3].

В настоящее время более 90 единиц вертикальных вакуум-аппаратов непрерывного действия (VKT) производства компании БМА (Германия) находятся в эксплуатации в свекло-сахарной, сахарорафинадной и тростниково-сахарной промышленности. Краткая история важнейших этапов развития [1]:

- 1983 г. – первая установка VKT;
- 1985 г. – первый белый сахар, полученный в VKT;
- 1994 г. – первый VKT для сахарорафинада;
- 1995 г. – первый VKT для тростникового сахара (II продукт);
- 2015 г. – первый запуск VKT (II продукт) на свеклосахарном заводе в России.

Обсуждение

Аппарат VKT успешно используется для уваривания утфелей всех ступеней кристаллизации. Например, в 2014 году VKT был установлен для уваривания утфеля первой ступени рафинадной кристаллизации с чистотой более 98 % (сахарорафинадный завод Etihad, Ирак). В соответствии с назначением аппарата подбирается его конструктивное исполнение и техническое оснащение.

Аппараты VKT располагаются вне производственного помещения на простом фундаменте небольшого размера на отметке +0,000 м, что делает более низкими капитальные и эксплуатационные затраты.

Производительность VKT для свеклосахарных заводов представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Производительность 4-камерных аппаратов VKT, в тоннах утфеля в час

Table 1.

Productivity of 4 chamber devices VKT, tons of massecuite per hour

Продукт Product	Диаметр аппарата VKT, мм VKT apparatus diameter, mm					
	3600	4000	4400	4800	5200	5600
утфель I продукта massecuite product I	<61	<77	<95	<115	<136	<160
утфель II продукта massecuite product II	<42	<53	<65	<79	<94	<110
утфель III продукта massecuite product III	<21	<26	<32	<39	<46	<55

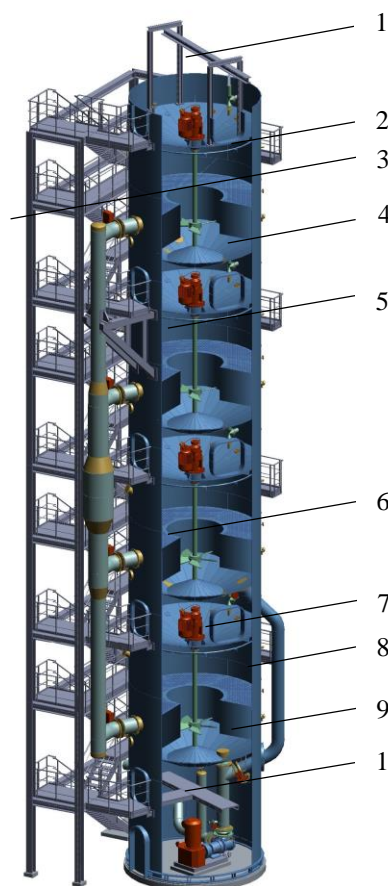


Рисунок 1. Концепция аппарата VKT: 1 – каркас для подъемного оборудования и демонтажа привода циркулятора; 2 – кристаллизационная камера; 3 – башенная лестничная клетка с площадками обслуживания; 4 – промежуточная царга; 5 – циркулятор; 6 – двухконусное сливное днище; 7 – греющая камера; 8 – переливной трубопровод утфеля; 9 – вертикальная царга с опорным кольцом; 10 – насос утфеля

Figure 1. VKT apparatus concept: 1 – frame for lifting equipment and dismantling of the circulator drive; 2 – crystallization chamber; 3 – tower staircase with service platforms; 4 – intermediate side-bar; 5 – circulator; 6 – double-cone drain bottom; 7 – heating chamber; 8 – massecuite overflow pipeline; 9 – vertical drawer side with a support ring; 10 – massecuite pump

Аппарат VKT состоит из четырех расположенных друг над другом одинаковых кристаллизационных камер 2.

Каждая камера аппарата (рисунок 1) представляет собой вакуум-аппарат периодического действия, снабженный механическим циркулятором 5. Тип и мощность привода циркуляторов соответствует вязкости утфеля. То, что циркулятор введен в аппарат сверху, а также легкий доступ к его приводу в промежуточных царгах 4 обеспечивают его беспрепятственное техобслуживание.

Каждая камера имеет двухконусное сливное днище 6 обтекаемой формы. Такая форма днища наряду с применением циркулятора исключает наличие застойных зон под нижней трубной решеткой греющей камеры, в которых утфель охлаждается и может происходить повторное кристаллообразование.

Греющие камеры 7 выполнены как трубчатые камеры. Участки впуска и выпуска сварных кипяtilьных труб имеют хорошие аэродинамические характеристики и выполнены заподлицо с трубными решетками.

Вторичный пар отводится из камер через встроенные в камеры капелловушки, в которых задерживаются унесенные паром капли подкачки или утфеля.

Аппарат VKT оснащен башенной лестничной клеткой с площадками обслуживания 3, с которых обеспечивается доступ ко всем кристаллизационным камерам, клапанам и измерительным приборам.

Конструкция VKT позволяет выполнить модернизацию за счет установки пятой камеры для увеличения его производительности, что более экономически эффективно чем установка дополнительного вакуум-аппарата периодического действия. При этом монтаж на верх аппарата еще одной кристаллизационной камеры не представляет проблем, так как фундамент VKT и его статическая прочность изначально рассчитываются на возможное расширение.

Для получения утфеля постоянно высокого качества, а также для обеспечения оптимального и бесперебойного режима работы в аппарате VKT (в том числе и с точки зрения достижения длительных периодов работы между очистками) были предусмотрены особые конструктивные и технологические меры:

- устройство для увлажнения подкачкой внутренней стенки надутфельного пространства в кристаллизационных камерах (кроме VKT III продукта) и трубопроводов для утфеля.

Наносимый таким образом слой подкачки предотвращает прилипание утфеля к стенкам и образование отложений в надутфельном пространстве, а также зарастание трубопроводов для утфеля в ходе эксплуатации;

- оснащение устройств для измерения содержания сухих веществ, уровнемера, пробоотборных кранов, регулирующих заслонок утфеля и других встроенных узлов собственными (частично автоматизированными) устройствами для промывки. Промывание производится периодически с автоматическим управлением от системы управления процессом. Оно предотвращает образование отложений в упомянутой арматуре и обеспечивает надежность измерений. Другие встроенные устройства промывки имеют ручное управление и включаются только при необходимости;

- снабжение аппаратов изоляцией для снижения тепловых потерь и уменьшения образования отложений на соприкасающихся с утфелем стенках;

- обогрев определенных участков аппарата. Обогрев сливного днища, а также цилиндрического участка между нижним краем греющей камеры и сливным днищем служит для снижения тепловых потерь утфеля вблизи стенок, которые могут привести к усиленному засахариванию этих участков.

Если на сахарном заводе существующая станция I, II или III продукта оснащена современными вакуум-аппаратами, то для непрерывной работы также может быть использован горизонтальный каскад (VKN) (рисунок 2). Для этого все используемые вакуум-аппараты должны быть аналогичны по конструкции и быть оснащены циркулятором.

Действие обеих систем – VKT и VKN – аналогично. Кристаллическая основа высокого качества поступает только в первую кристаллизационную камеру. Подкачка непрерывно подается во все камеры, перемешивание между камерами исключается. Утфель течет от первой камеры к последней по соединяющим камеры трубопроводам под действием силы тяжести. Затем утфель откачивается из последней камеры насосом с частотным регулированием и подается в утфелемешалку.

Благодаря непрерывному влагониспарению во всех камерах кристаллы кристаллической основы наращиваются при обессахаривании раствора от одной камеры к другой. При этом содержание сухих веществ, а следовательно, и содержание кристаллов в утфеле увеличивается и достигает своего максимума в последней камере.

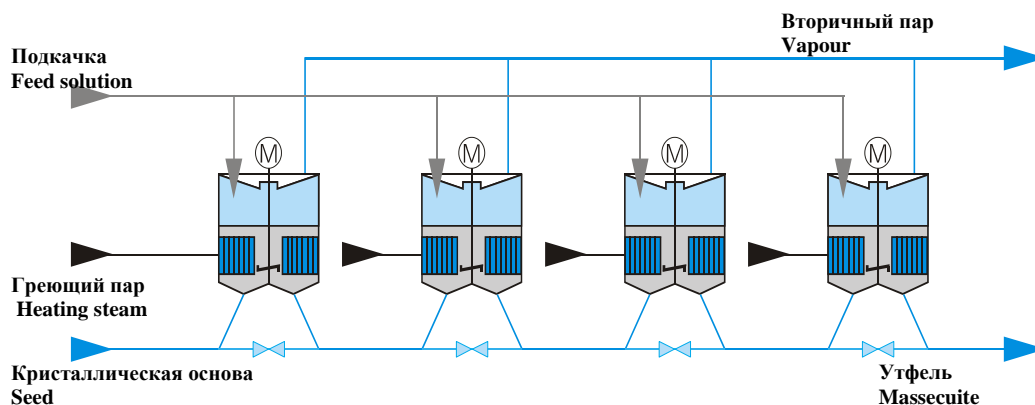


Рисунок 2. Горизонтальный каскад вакуум-аппаратов (VKH)

Figure 2. Horizontal vacuum pan system (VKH)

Ошибка! Закладка не определена.

Эффективность процесса кристаллизации определяется выходом сахара из центрифуг, который зависит от содержания кристаллов в утфеле и их однородности.

Механическая циркуляция утфеля в аппарате VKT обеспечивает высокое содержание кристаллов, которое может достигать 55 % утфеля I продукта, что позволяет получить выход сахара из центрифуг около 50 % к массе утфеля. Без механического перемешивания таких показателей практически не удастся достичь.

Гранулометрический состав кристаллов утфеля, полученного в вакуум-аппарате непрерывного действия, имеет несколько большую степень неравномерности по сравнению с вакуум-аппаратами периодического действия. Поэтому для получения утфеля с малым содержанием конгломератов и мелких фракций кристаллов важно иметь кристаллическую основу с определенным размером и высокой однородностью кристаллов.

Система управления аппарата VKT гораздо проще, чем вакуум-аппарата периодического действия, так как в данном случае производится только автоматическая стабилизация параметров вместо следящего регулирования (рисунок 3).

Режим работы каждой камеры VKT регулируется индивидуально, что обеспечивает надежную работу в непрерывном режиме. Кроме того, независимые друг от друга камеры позволяют использовать вторичные пары различных потенциалов (3 и 4 корпус выпарной станции) для обогрева греющей камеры.

Основные параметры, которые подлежат контролю:

- давление греющего пара;
- давление вторичного пара;
- содержание сухих веществ в утфеле;
- расход продуктов на подкачку;
- соотношение кристаллическая основа/подкачка;

- уровень утфеля (только для утфеля I продукта).

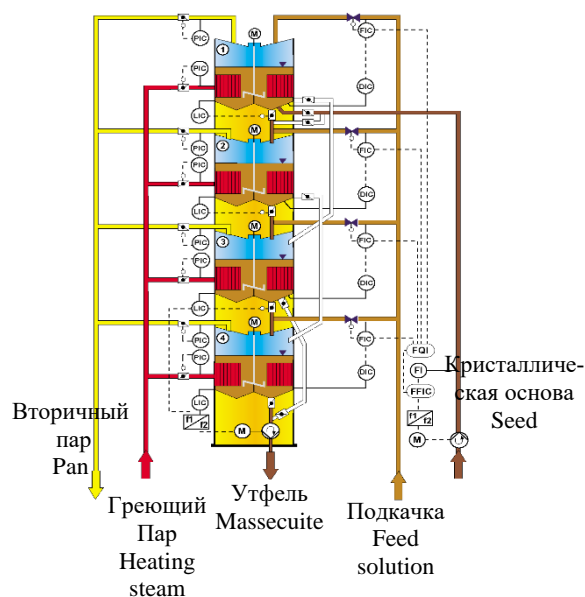


Рисунок 3. Схема управления аппаратом VKT утфеля I продукта

Figure3. VKT control diagram

Ошибка! Закладка не определена.

Давление греющего и вторичного пара контролируется в каждой камере, обеспечивая оптимальную эксплуатацию и отключение камеры для очистки. Путем корректировки давления греющего пара для всех камер может быть быстро скорректирована пропускная способность VKT к изменяющимся производственным условиям завода.

Для правильного функционирования аппарата VKT важно, чтобы давление вторичного пара всегда поддерживалось на одном и том же уровне, независимо от количества испаренной в камере воды. Давление вторичного пара регулируется имеющейся в каждой камере регулирующей заслонкой с требуемой точностью в ± 1 мбар. Для утфеля III продукта давление может регулироваться одной регулирующей заслонкой для двух камер или только одной регулирующей заслонкой для всех камер.

Содержание сухих веществ утфеля во всех четырех камерах регулируется сигналом прибора, измеряющего содержание сухих веществ в утфеле (для утфеля I, II продукта) или температуру утфеля (для утфеля III продукта). Аналоговые сигналы этих приборов определяют задаваемое значение для регулирования количества подкачки посредством электромагнитного расходомера и регулирующей арматуры.

Подача подкачки и кристаллической основы находятся в постоянной пропорции друг к другу для обеспечения равномерного роста кристаллов. Количество кристаллической основы рассчитывается через коэффициент от суммарного количества подкачки.

Уровень утфеля поддерживается постоянным (примерно 400 мм над греющей камерой) с помощью клапанов управления в перепускных трубопроводах и в последней камере при помощи изменения производительности насоса утфеля. Аппараты VKT, предлагаемые для использования на втором и третьем продукте при переработке сахарной свеклы, оснащены наружной системой перелива, так как для этих продуктов наблюдается меньше отложений кристаллов на стенках. Благодаря этому в 1–3 камерах VKT не требуется

регулировать уровни. Это упрощает и удешевляет систему автоматизации вакуум-аппаратов.

Помимо основных контролируемых параметров, также для аппарата VKT рекомендуется измерять количество конденсата для каждой камеры, так как этот показатель помогает оценить влагоиспарение, определить надлежащий момент для очистки камер и локализовать причины ошибок при неполадках. То же касается и измерения количества промывающей среды, так как по ошибке забытый открытый клапан для промывки может привести к значительному разжижению утфеля и к перебоям в производственном процессе завода.

В непрерывно работающих системах кристаллизации невозможно полностью избежать инкрустации – особенно в случае утфеля с высокой чистотой. Вертикальный (а также горизонтальный) каскадный дизайн VKT позволяет проводить очистку камер без необходимости прерывать процесс кристаллизации. С этой целью осуществляется обход одной из камер аппарата, которая выводится на очистку, и VKT продолжает работать в трехкамерном режиме. При этом производительность аппарата остается номинальной за счет увеличения давления греющего пара. Типичный процесс очистки для VKT показан на рисунке 4.

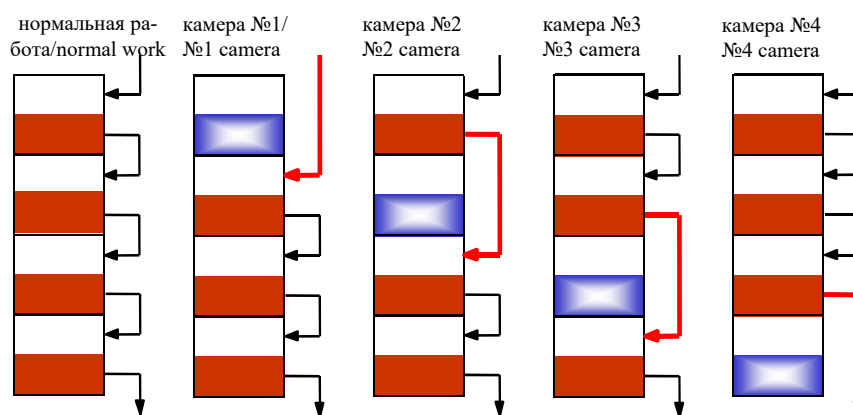


Рисунок 4. Схематичное изображение процесса очистки аппарата VKT

Figure4. Diagram the VKT apparatus cleaning process

Рабочий цикл аппарата VKT, то есть до необходимости в очистке четырех камер, составляет от 15 до 20 дней для утфеля I продукта, от 20 до 30 дней для утфеля II продукта и от 45 до 60 дней для утфеля III продукта.

Благодаря специальной конструкции кристаллизационных камер, низкому уровню утфеля над греющей камерой и применению механических мешалок в каждой камере аппарат VKT может без затруднений работать с очень малой разностью температур между греющим

паром и утфелем, а также с абсолютным давлением греющего пара значительно ниже 1 бар. Поэтому при оптимальном использовании VKT могут быть реализованы самые различные энергосберегающие схемы. Одна из таких возможных схем – испарение с двойным эффектом в кристаллизационном отделении [4–10]. Принцип испарения с двойным эффектом заключается в том, что часть вторичного пара кристаллизации используется для обогрева одного из аппаратов VKT (например, для утфеля I продукта), что

позволяет сэкономить идущий на эти цели греющий пар выпарной установки. Благодаря оптимальной адаптации процесса конденсирования остается достаточно тепла для подогрева диффузионного сока, для чего обычно используется часть вторичного пара кристаллизации.

Преимущества VKT:

— при увеличении производительности сахарного завода быстрое оснащение VKT дополнительной камерой;

— аппарат работает непрерывно в течение всего сезона, в особенности с продуктами чистотой утфеля более 94 % (очистка камер производится без остановки всего аппарата: исключают из работы одну камеру для очистки, остальные – в работе);

— для очистки камер не требуются большие емкости для промывочных растворов;

— для установки аппарата VKT требуется около 23 т металлоконструкций – для изготовления вертикальной лестницы, что в 5–7 раз ниже, чем для установки CVP;

— равномерное потребление пара с многокорпусной выпарной установки (МВУ), греющий пар IV корпуса МВУ давлением не менее 0,71 бар абс.; возможность использования пара после компрессии 0,24 бар абс. [11–20].

На Знаменском сахарном заводе в рамках проекта реконструкции с 6000 до 8000 тонн сахарной свеклы в сутки была установлена новая станция уваривания утфеля II продукта в вертикальном вакуум-аппарате непрерывного действия VKT (рисунок 5) с производительностью 8000 тонн свеклы в сутки.

Технологическая схема станции уваривания утфеля II продукта предусматривает использование аффинационного утфеля в качестве кристаллической основы для VKT. С этой целью в центрифугах непрерывного действия проводится аффинация желтого сахара III продукта первым оттеком утфеля I продукта. Полученный аффинационный утфель накапливается в аффинационной мешалке, и затем насосом подается в первую камеру аппарата VKT. Благодаря этому не требуются дополнительные вакуум-аппараты для производства маточного утфеля II продукта. Кроме того, такая технологическая схема создает предпосылки для снижения потребления пара в продуктовом отделении завода.

Подтверждением эффективности работы аппарата VKT являются высокие технологические показатели, достигнутые на Знаменском сахарном заводе (таблица 2).

Таблица 2.

Параметры работы аппарата VKT II продукта на Знаменском сахарном заводе в течение производственного сезона 2015 года

Table 2.

Parameters VKT apparatus for massecuite II at the Znamensky sugar plant in the 2015 production season

Давление греющего пара, бар абс. Heating steam pressure, bar abs.	0,55–0,61 (вторичный пар IV корпуса выпарной установки secondary steam of the IV shell of the evaporator plant)
Давление вторичного пара, бар абс. Secondary steam pressure bar abs.	0,20
Содержание сухих веществ в утфеле Dry matter content in massecuite, %	92,0 – 92,5
Содержание кристаллов в утфеле The content of crystals in massecuite, %	47,0–47,2
Средний размер кристаллов, мм Average crystals size, mm	0,45–0,50
Соотношение масс кристаллической основы и утфеля, т/т The ratio of the masses of the crystalline base and massecuite, t/t	0,25–0,30
Эффект кристаллизации на станции II продукта	12,5–13,5 %

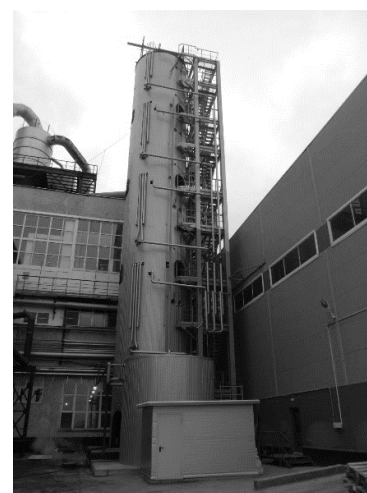


Рисунок 5. Аппарат VKT II продукта на Знаменском сахарном заводе

Figure 5. Apparatus VKT II product at Znamensky sugar plant

Заключение

Уваривание утфелей всех ступеней кристаллизации в аппаратах VKT обеспечивает равномерный режим работы продуктового отделения, позволяет добиться увеличения выхода сахара и способствует сокращению расхода пара на заводе.

Литература


- 1 Петров С.М., Подгорнова Н.М., Тужилкин В.И., Филатов С.Л. Преимущества непрерывного уваривания утфеля // Сахар. 2017. № 4. С. 30–37.
- 2 Шаруда И.В. Вакуум-аппарат непрерывного действия: история развития // Сахар. 2014. № 1. С. 48–55.
- 3 Moor B.S.C., Rosettenstein S., du Plessis N. Key considerations for high-performance continuous vacuum pans // International Sugar Journal. 2020.
- 4 Broadfoot R., Rackemann D., Moller D. Why the emerging strong interest in vertical continuous pans? // Proceedings of the 40th Australian Society of Sugar Cane Technologists Conference. Australian Society of Sugar Cane Technologists, 2018. P. 512-525.
- 5 Fernandes E.S., Alves C., Pagnocca F.C., Contiero J. et al. Sugar and ethanol production process from sugarcane // Sugarcane: Production Systems, Uses and Economic Importance. 2017. P. 193-216.
- 6 Mukesh K., Amit S. Evaporating cooling system: a review // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2018. V. 6. № 6. P. 1178-1187. doi: 10.22214/ijraset.2018.6172
- 7 Vejerano E.P., Marr L.C. Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets // Journal of The Royal Society Interface. 2018. V. 15. №. 139. P. 20170939. doi: 10.1098/rsif.2017.0939
- 8 Qazi M.J., Lieferrink R.W., Schlegel S.J., Backus E.H. et al. Influence of surfactants on sodium chloride crystallization in confinement // Langmuir. 2017. V. 33. №. 17. P. 4260-4268. doi: 10.1021/acs.langmuir.7b00244
- 9 Wang Q., Zhang W., Zhang Z., Liu S. et al. Crystallization Control of Ternary-Cation Perovskite Absorber in Triple-Mesoscopic Layer for Efficient Solar Cells // Advanced Energy Materials. 2020. V. 10. №. 5. P. 1903092. doi: 10.1002/aenm.201903092
- 10 Gregson F.K.A., Robinson J.F., Miles R.E.H., Royall C.P. et al. Drying kinetics of salt solution droplets: Water evaporation rates and crystallization // The Journal of Physical Chemistry B. 2018. V. 123. №. 1. P. 266-276. doi: 10.1021/acs.jpcc.8b09584
- 11 Fang C., Boe K., Angelidaki I. Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure // Water research. 2011. V. 45. №. 11. P. 3473-3480. doi: 10.1016/j.watres.2011.04.008
- 12 Anderson N.G. Using continuous processes to increase production // Organic Process Research & Development. 2012. V. 16. №. 5. P. 852-869. doi: 10.1021/op200347k
- 13 Eggleston G., Côté G., Santee C. New insights on the hard-to-boil massecuite phenomenon in raw sugar manufacture // Food Chemistry. 2011. V. 126. №. 1. P. 21-30. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.10.038
- 14 Pogoriliy T. The distribution of temperatures in the sucrose solution–sugar crystal–sucrose solution–massecuite cells depending on the boiling sugar massecuite time // Ukrainian Journal of Food Science. 2015. V. 3. №. 1. P. 139-148.
- 15 Rozsa L. On-line monitoring and control of supersaturation and other massecuite parameters in vacuum pans: A control engineering approach // International sugar Journal. 2011. V. 113. №. 1356. P. 853.
- 16 Pogoriliy T. Temperatures distribution in the larger sugar crystal–larger crystal sucrose solution–less crystal sugar sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite cells system depending on the boiling sugar massecuite time // Ukrainian food journal. 2015. №. 4. P. 648-661.
- 17 Khan H.R., Ramzan Z. An experience with four (04) massecuite boiling system // Pakistan Sugar Journal. 2020. V. 35. №. 3.
- 18 Gonzales P.E.M., de Souza Peloso M.A., Olivo J.E., Andrade C.M.G. Fed-Batch Sucrose Crystallization Model for the B Massecuite Vacuum Pan, Solution by Deterministic and Heuristic Methods // Processes. 2020. V. 8. №. 9. P. 1145. doi: 10.3390/pr8091145
- 19 Sadjadi F.S., Honarvar M., Kalbasi-Ashtari A., Motaghian P. Bleaching effects of massecuite on some properties of crystallized sugar beet and milk chocolate bars produced // Journal of food science and technology. 2018. V. 55. №. 4. P. 1224-1233. doi: 10.1007/s13197-017-3007-8
- 20 Umo A.M., Alabi S.B. Predictive Model for Post-Seeding Super-Saturation of Sugar Massecuite in a Fed-Batch Evaporative Crystalliser // International Journal of Food Engineering. 2016. V. 2. №. 2. P. 119-123.


References


- 1 Petrov S.M., Podgornova N.M., Tuzhilkin V.I., Filatov S.L. Advantages of continuous boiling of massecuite. Sugar. 2017. no. 4. pp. 30–37. (in Russian).
- 2 Sharuda I.V. Continuous vacuum apparatus: history of development. Sugar. 2014. no. 1. pp. 48–55. (in Russian).
- 3 Moor B.S.C., Rosettenstein S., du Plessis N. Key considerations for high-performance continuous vacuum pans. International Sugar Journal. 2020.
- 4 Broadfoot R., Rackemann D., Moller D. Why the emerging strong interest in vertical continuous pans? Proceedings of the 40th Australian Society of Sugar Cane Technologists Conference. Australian Society of Sugar Cane Technologists, 2018. pp. 512-525.
- 5 Fernandes E.S., Alves C., Pagnocca F.C., Contiero J. et al. Sugar and ethanol production process from sugarcane. Sugarcane: Production Systems, Uses and Economic Importance. 2017. pp. 193-216.
- 6 Mukesh K., Amit S. Evaporating cooling system: a review. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2018. vol. 6. no. 6. pp. 1178-1187. doi: 10.22214/ijraset.2018.6172
- 7 Vejerano E.P., Marr L.C. Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets. Journal of The Royal Society Interface. 2018. vol. 15. no. 139. pp. 20170939. doi: 10.1098/rsif.2017.0939
- 8 Qazi M.J., Lieferrink R.W., Schlegel S.J., Backus E.H. et al. Influence of surfactants on sodium chloride crystallization in confinement. Langmuir. 2017. vol. 33. no. 17. pp. 4260-4268. doi: 10.1021/acs.langmuir.7b00244
- 9 Wang Q., Zhang W., Zhang Z., Liu S. et al. Crystallization Control of Ternary-Cation Perovskite Absorber in Triple-Mesoscopic Layer for Efficient Solar Cells. Advanced Energy Materials. 2020. vol. 10. no. 5. pp. 1903092. doi: 10.1002/aenm.201903092
- 10 Gregson F.K.A., Robinson J.F., Miles R.E.H., Royall C.P. et al. Drying kinetics of salt solution droplets: Water evaporation rates and crystallization. The Journal of Physical Chemistry B. 2018. vol. 123. no. 1. pp. 266-276. doi: 10.1021/acs.jpcc.8b09584


- 11 Fang C., Boe K., Angelidaki I. Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. Water research. 2011. vol. 45. no. 11. pp. 3473-3480. doi: 10.1016/j.watres.2011.04.008
- 12 Anderson N.G. Using continuous processes to increase production. Organic Process Research & Development. 2012. vol. 16. no. 5. pp. 852-869. doi: 10.1021/op200347k
- 13 Eggleston G., Côté G., Santee C. New insights on the hard-to-boil massecuite phenomenon in raw sugar manufacture. Food Chemistry. 2011. vol. 126. no. 1. pp. 21-30. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.10.038
- 14 Pogoriliy T. The distribution of temperatures in the sucrose solution–sugar crystal–massecuite cells depending on the boiling sugar massecuite time. Ukrainian Journal of Food Science. 2015. vol. 3. no. 1. pp. 139-148.
- 15 Rozsa L. On-line monitoring and control of supersaturation and other massecuite parameters in vacuum pans: A control engineering approach. International sugar Journal. 2011. vol. 113. no. 1356. pp. 853.
- 16 Pogoriliy T. Temperatures distribution in the larger sugar crystal–larger crystal sucrose solution–less crystal sugar sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite cells system depending on the boiling sugar massecuite time. Ukrainian food journal. 2015. no. 4. pp. 648-661.
- 17 Khan H.R., Ramzan Z. An experience with four (04) massecuite boiling system. Pakistan Sugar Journal. 2020. vol. 35. no. 3.
- 18 Gonzales P.E.M., de Souza Peloso M.A., Olivo J.E., Andrade C.M.G. Fed-Batch Sucrose Crystallization Model for the B Massecuite Vacuum Pan, Solution by Deterministic and Heuristic Methods. Processes. 2020. vol. 8. no. 9. pp. 1145. doi: 10.3390/pr8091145
- 19 Sadjadi F.S., Honarvar M., Kalbasi-Ashtari A., Motaghian P. Bleaching effects of massecuite on some properties of crystallized sugar beet and milk chocolate bars produced // Journal of food science and technology. 2018. V. 55. №. 4. P. 1224-1233. doi: 10.1007/s13197-017-3007-8
- 20 Umo A.M., Alabi S.B. Predictive Model for Post-Seeding Super-Saturation of Sugar Massecuite in a Fed-Batch Evaporative Crystalliser // International Journal of Food Engineering. 2016. V. 2. №. 2. P. 119-123.

Сведения об авторах

Надежда Г. Кульнева д.т.н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ngkulneva@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3802-9071>

Владимир А. Федорук к.т.н., доцент, ООО "БМА Руссланд", Общество с ограниченной ответственностью "БМА Руссланд", ул. Комиссаржевской, 10, г. Воронеж, 394036, Россия, yzas2006@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7410-0165>

Наталья А. Матвиенко к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Екатерина М. Пономарева студент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katusha1234570@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0003-3142-7587>


Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат


Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nadezhda G. Kulneva Dr. Sci. (Engin.), professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, ngkulneva@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3802-9071>

Vladimir A. Fedoruk Cand. Sci. (Engin.), associate professor, LLC "BMA Russland", Limited liability company "BMA Russland", Komissarzhevskaya St., 10, Voronezh, 394036, Russia, yzas2006@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7410-0165>

Natalya A. Matvienko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>

Ekaterina M. Ponomareva student, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, katusha1234570@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0003-3142-7587>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2021	После редакции 15/02/2021	Принята в печать 01/03/2021
Received 25/01/2021	Accepted in revised 15/02/2021	Accepted 01/03/2021