



Научная статья

4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.1.055

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.004

EDN: VLNGRH

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ УТФЕЛЯ I КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ СИЛОВОМ ПОЛЕ

Анатолий Анатольевич Славянский¹, Вера Анатольевна Грибкова²,
Дарья Петровна Митрошина³, Наталья Валерьевна Николаева⁴

^{1, 2, 3, 4} Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

¹ mgutu-sahar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

² vera_gribkova@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

³ d_mitr96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

⁴ nata_nik@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4349-1287>

Аннотация. В структуре АПК Российской Федерации сахарная промышленность занимает важное место. Ее продукцию (белый сахар) относят к социально значимым углеводам, и она является составной частью ежедневного рациона питания населения России. К наиболее эффективным и значимым в обеспечении выхода, качества и безопасности белого сахара относят завершающие технологические операции сахарного производства. В большей степени это касается вопросов образования и наращивания кристаллов сахара при уваривании утфелей I ступени кристаллизации (суспензия из кристаллов сахара и межкристалльного раствора), а также проблем их выделения из межкристалльного раствора в центробежном силовом поле. Отделение сахарозы в виде кристаллов из утфельных масс I ступени кристаллизации осуществляют в автоматизированных фильтрующих центрифугах периодического действия. В соответствии с результатами проведенных экспериментов разработан эффективный способ разделения утфеля I кристаллизации в режиме «гибкой» временной программы цикла его центрифугирования и устройство для его реализации. В основу системы управления процессом центрифугирования по «гибкой» временной программе положен принцип определения момента отделения межкристалльного раствора по величине его ударного воздействия на чувствительный элемент соответствующего устройства. При этом в режиме «гибкого» центрифугирования разработанный способ предусматривает комбинированное промывание кристаллов сахара сначала насыщенным сахаросодержащим раствором (второй оттеки), а затем горячей водой с добавлением в нее перекиси водорода. Реализация способа повышает выход сахара из центрифуг на 2,2 % к массе утфеля, уменьшает время цикла разделения утфеля примерно на 10–20 % и обеспечивает более высокие качественные показатели готовой продукции.

Ключевые слова: белый сахар, утфель I кристаллизации, чувствительный элемент, пневмосиловой преобразователь, «гибкое» центрифугирование, поровое пространство слоя сахара, капилляр, закожущее пространство центрифуги, перекись водорода.

Для цитирования: Повышение эффективности разделения утфеля I кристаллизации в центробежном силовом поле / А. А. Славянский [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 32–38. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.004. EDN: <https://elibrary.ru/VLNGRH>.

Original article

INCREASING EFFICIENCY OF MASSFEED SEPARATION AND CRYSTALLIZATION IN A CENTRIFUGAL FORCE FIELD

Anatoliy A. Slavyanskiy¹, Vera A. Gribkova², Daria P. Mitroshina³,
Natalia V. Nikolaeva⁴

^{1, 2, 3, 4} Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Moscow, Russia

¹ mgutu-sahar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

² vera_gribkova@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

³ d_mitr96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

⁴ nata_nik@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4349-1287>

Abstract. The sugar industry occupies an important place in the structure of the agro-industrial complex of the Russian Federation. Its products (white sugar) are classified as socially significant carbohydrates and are an integral part of the daily diet of the population of Russia. The final technological operations of sugar production are considered the most effective and significant in ensuring the yield, quality and safety of white sugar. To a greater extent, this con-

© Славянский А. А., Грибкова В. А., Митрошина Д. П., Николаева Н. В., 2026

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ УТФЕЛЯ I КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ СИЛОВОМ ПОЛЕ

cerns the issues of formation and growth of sugar crystals during boiling of the massecuite of the first crystallization stage (suspension of sugar crystals and intercrystalline solution), as well as problems of their separation from the intercrystalline solution in a centrifugal force field. Separation of sucrose in the form of crystals from the massecuite masses of the first crystallization stage is carried out in automated filtering centrifuges of periodic action. In accordance with the results of the experiments, an effective method for separating the massecuite of the first crystallization in the mode of a "flexible" time program of its centrifugation cycle and a device for its implementation have been developed. The control system for the centrifugation process according to the "flexible" time program is based on the principle of determining the moment of separation of the intercrystal solution by the magnitude of its impact on the sensitive element of the corresponding device. In this case, in the "flexible" centrifugation mode, the developed method provides for combined washing of sugar crystals first with a saturated sugar-containing solution (second runoff), and then with hot water with the addition of hydrogen peroxide. The implementation of the method increases the sugar yield from centrifuges by 2,2 % of the massecuite weight, reduces the massecuite separation cycle time by approximately 10-20 % and ensures higher quality indicators of the finished product.

Keywords: white sugar, massecuite of the first crystallization, sensitive element, pneumatic power transducer, "flexible" centrifugation, pore space of the sugar layer, capillary, behind-the-shell space of the centrifuge, hydrogen peroxide.

For citation: Slavyanskiy, A. A., Gribkova, V. A., Mitroshina, D. P. & Nikolaeva, N. V. (2026). Increasing the efficiency of massfeed separation and crystallization in a centrifugal force field. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 32-38. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.02.004. EDN: <https://elibrary.ru/VLNGRH>.

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая промышленность России в последние годы претерпела существенные технические и технологические масштабные изменения как в плане совершенствования ее определяющих процессов, так и повышения производственной мощности самих предприятий отрасли [1, 2, 9]. В современных сложных рыночных условиях непрерывное развитие техники и технологий при переработке сырья растительного происхождения, в том числе и длительного хранения, а также готовой продукции, обуславливает появление разнообразных, требующих скорейшего и компетентного решения научно-технических задач [3, 4, 7]. В настоящее время в России заметно вырос интерес к проблеме здорового питания как к одному из важнейших факторов повышения уровня жизни населения. Современная концепция управления качеством и безопасностью пищевой продукции базируется на том, что их контроль должен осуществляться именно в ходе производственного процесса, а не по его завершению. Исходя из этого, производственному контролю как хорошо выстроенной и отлаженной системе внутри предприятия отводится определяющая роль в обеспечении качества и безопасности пищевой продукции [5, 8, 13].

Продовольственная независимость России по сахару уже в 2021 г достигла 100 %, превысив ее пороговое значение в 90 % [1]. В настоящее время свеклосахарные заводы России вырабатывают белый сахар, который подразделяют на четыре категории в зависимости от требований к их качеству: Экстра, ТС1, ТС2 и ТС3 [6, 16].

Следует отметить, что сахар относится к немногочисленной группе пищевых продуктов, при производстве которых достигается высокая степень чистоты [28]. О качестве белого сахара судят по совокупности ряда органолептических, физико-химических, микробиологических, гигиенических требований с учетом показателей его безопасности. Считается, что ключевыми процессами сахарных заводов отрасли, непосредственно влияющих на выход, безопасность, органолептические и физико-химические свойства товарного белого сахара, являются такие процессы, как уваривание и центрифугирование утфеля I кристаллизации [14, 24, 25]. Именно в ходе этих процессов белый сахар приобретает кристаллическую форму, ставшую уже давно привычной, в том числе и для населения России.

Процесс центрифугирования представляет собой один из эффективных методов механического разделения суспензий на твердую и жидкую фазы и находит широкое применение в пищевой промышленности, а также в ряде смежных отраслей [12, 30]. Утфель, образующийся в процессе кристаллизации сахарозы под разрежением, относится к данному типу дисперсных систем и представляет собой двухфазную суспензию, состоящую из кристаллов сахара (твердая фаза) и межкристального раствора (жидкая фаза). Максимальная массовая доля твердых частиц (кристаллов) в утфеле I кристаллизации варьируется в количестве от 50 до 56 % [26]. На рисунке 1 показана структура его слоя на фильтрующей поверхности ротора центрифуги.

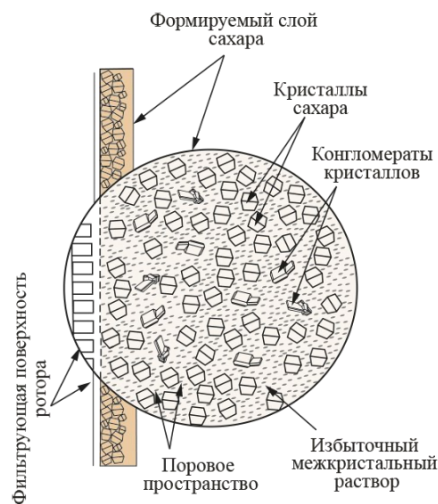


Рисунок 1 – Схема распределения утфеля на фильтрующей поверхности ротора центрифуги в момент ее загрузки

Figure 1 – Scheme of massecuite distribution on the filter surface of the centrifuge rotor at the moment of its loading

При этом в состав утфеля кроме кристаллов сахарозы могут входить кристаллообразования из двух и более кристаллов (конгломераты) [10, 27]. Они появляются в результате срастания двух и более кристаллов сахара при неблагоприятных условиях формирования их затравочных центров или в

процессе их роста в увариваемом утфеле. Наличие конгломератов ухудшает фильтрацию межкристального раствора при разделении утфеля в центробежном силовом поле и промывание кристаллов сахарозы при удалении из слоя сахара остатков его оттеков. Кроме этого, их наличие способствует снижению качественных показателей готовой продукции, отрицательно воздействует на однородность и чистоту кристаллов сахара и др.

Работа центрифуг на утфеле I кристаллизации осуществляется циклично. Использование с этой целью центрифуг непрерывного действия не обеспечивает качество белого сахара в соответствии с требованиями ГОСТ 33222-2015. Каждый отдельный цикл, например центрифуг марки ФПН 1251Т-01, включает в себя следующие операции [14, 15, 17]: пуск центрифуги в ход и загрузка утфеля; отделение межкристального раствора (первого оттека); промывание кристаллов сахара с отделением второго оттека; подсушка кристаллов сахара в центробежном силовом поле; торможение центрифуги; выгрузка сахара из центрифуги для завершающего высушивания до требуемой влажности [11, 22].

В ходе проведенных исследований особое внимание было обращено не только на организацию процесса и основные операции цикла центрифугирования утфеля I кристаллизации, но и на особенности его подготовки к разделению в центробежном силовом поле. В частности, это касается механизма разделения первого и второго оттеков из утфелей первого продукта, например, различающихся своим гранулометрическим составом. Помимо этого, немаловажным оказалась подготовка и отработка технологических условий для разделения оттеков в центробежном силовом поле. На основе проведенных в этом направлении исследований уточнены условия повышения эффективности центрифугирования утфеля I кристаллизации. При этом особое внимание было обращено на его возможность разделения в режиме «гибкой» центрифугирования [15].

МЕТОДЫ

Объектом исследования является как способ, так и устройство для организации работы центрифуги по «гибкой» временной программе цикла разделения утфеля, а методом исследования – контроль и управление процессом разделения утфеля на основе непрерывного измерения ударной силы отделяемых оттеков.

Устройство для регулирования работы центрифуг по «гибкой» временной программе устанавливается в верхней части кожуха центрифуги (рисунок 2). Оно включает в себя: чувствительный элемент 6, воспринимающий механическое воздействие отделяемого оттека; пневмосилового преобразователя 5, трансформирующий его в стандартный выходной сигнал и обеспечивающий его подачу через электроконтактный манометр 8 на блок их управления в автоматическом режиме.

Работа пневмосилового преобразователя 5 регулируется подводом сжатого воздуха через фильтр-редуктор 4.

Расход сжатого воздуха для питания пневмосилового преобразователя составляет не более 3 л/мин при давлении питания 0,14 МПа подаваемого от коллектора сжатого воздуха центрифуг. Механическое воздействие, фиксируемое чувствительным элементом 6, пропорционально только скорости центробежного фильтрования, так как остальные параметры данного процесса остаются постоянными при разделении утфеля. Поэтому независимо от технологических

свойств утфеля по величине измеряемого усилия его оттеков чувствительным элементом можно оперативно контролировать момент их отделения и управлять основными операциями цикла работы центрифуг [23].

Конструкция чувствительного элемента устройства «гибкого» центрифугирования показана на рисунке 2, а. Он имеет вид плоской пластины 11, закрепленной на вертикальном валу 10 в игольчатых опорах 12 по его вертикали. В верхней части вала 10 предусмотрен рычаг 9, для передачи ударного воздействия отделяемого оттека с пластины чувствительного элемента 11 на пневмосилового преобразователя 5. Данное устройство закрепляют в верхней части центрифуги между ротором и кожухом (закожущее пространство). Такая установка устройства исключает возможное его повреждение в случае отклонения вращающегося ротора от своей вертикальной оси.

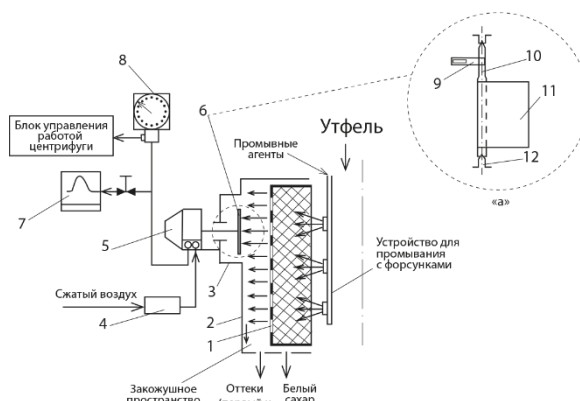


Рисунок 2 – Устройство для работы центрифуг по «гибкой» временной программе их цикла: 1 – перфорированная поверхность барабана ротора; 2 – кожух центрифуги; 3 – защитный корпус чувствительного элемента устройства; 4 – фильтр-редуктор сжатого воздуха; 5 – пневмосилового преобразователя; 6 – чувствительный элемент; 7 – регистрирующий прибор; 8 – электроконтактный манометр

Figure 2 – Device for Operating Centrifuges under a "Flexible" Time Program: 1 – Perforated surface of the rotor drum; 2 – Centrifuge housing; 3 – Mounting body for the sensor element; 4 – Compressed air filter-reducer; 5 – Pneumatic power converter; 6 – Sensor element; 7 – Recording instrument; 8 – Electro-contact pressure gauge

Корпус самого устройства 3 (рисунок 2) с установкой в нем чувствительного элемента 6 монтируют на верхней внешней стороне кожуха центрифуги 2. С этой целью в кожухе центрифуги вырезают квадратное отверстие по размерам пластины чувствительного элемента 6. Для снижения скоростного давления воздушной среды на чувствительный элемент с обеих его сторон могут быть закреплены пластины, препятствующие попаданию на его поверхность межкристального раствора с внутренней поверхности кожуха, что повышает его чувствительность. Поэтому их установка может повысить достоверность и стабильность результатов работы центрифуг.

Чувствительный элемент может иметь любой вид, но оптимальной считается форма прямоугольника. Величину ударной силы отделяемого межкристального раствора в виде первого оттека на чувствительный элемент устройства для «гибкого» центрифугирования измеряют непрерывно. По завершении отделения первого оттека срабатывает исполнитель-

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ УТФЕЛЯ I КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ СИЛОВОМ ПОЛЕ

ный механизм блока управления для подачи промывных агентов (сахаросодержащий раствор, горячая вода). Отделяемый при этом оттек называют вторым, и он так же, как и первый, воздействует на чувствительный элемент устройства и им же фиксируется. По окончании отделения второго оттека блок управления центрифугой дает команду на проведение дальнейших операций цикла разделения утфеля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведенных исследований разработана технология разделения утфеля I кристаллизации в режиме его «гибкого» центрифугирования. Основной акцент при этом был обращен на условия отделения первого и второго оттеков. При этом был уточнен интервал их механического воздействия на чувствительный элемент устройства «гибкого» центрифугирования для утфелей различного технологического состава [29]. Кроме того, в этом же режиме была отработана технология комбинированного промывания кристаллов сахара: сначала сахаросодержащим раствором, а затем горячей водой. Предварительно был подобран сахаросодержащий раствор (второй оттек) для промывания кристаллов сахара и его технологические параметры для использования. Помимо

этого, были уточнены требования к температуре промывных агентов. Причем особое внимание было обращено на возможность комбинированного промывания кристаллов сахара в режиме «гибкого» центрифугирования. Опыты подтвердили целесообразность двухэтапного промывания кристаллов сахара: сначала сахаросодержащим раствором, близким к состоянию насыщения, а на втором – горячей водой с вводом в нее перекиси водорода [12].

Кроме того, были уточнены условия снижения вязкости, разделяемого в центрифугах утфеля. При этом оценена возможность улучшения подготовки и разделения утфеля в силовом центробежном поле для условий его «гибкого» центрифугирования.

В итоге все это позволило разработать новый способ разделения утфеля I кристаллизации в фильтрующих центрифугах периодического действия с получением патента на изобретение [18]. Основные операции для реализации процесса центрифугирования утфеля I кристаллизации по разработанному способу приведены на рисунке 3, из которого видна последовательность их реализации в соответствии с разработанным способом. Причем уточнены основные его технологические параметры и требования к ним с учетом их перераспределения в продуктивном отделении сахарного завода.

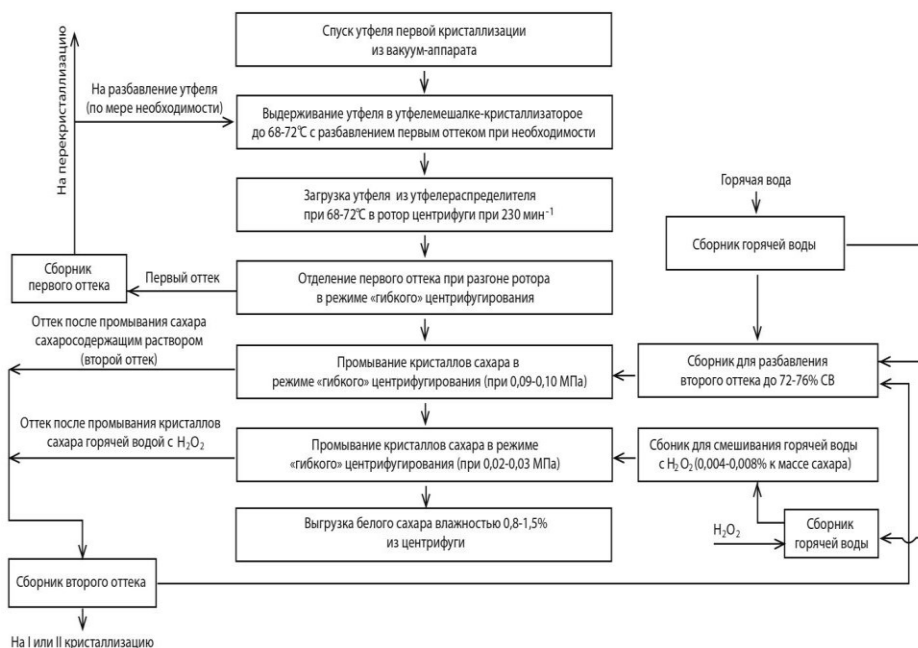


Рисунок 3 – Технологические операции разработанного способа разделения утфеля I кристаллизации

Figure 3 – Technological Operations of the Developed Method for Separating Massecuite of the First Crystallization

В соответствии с разработанной технологией, по завершении загрузки ротора утфелем его разгон начинали с 230 мин⁻¹ и далее до 500 и 980 мин⁻¹ (1000 мин⁻¹). При этом под действием центробежных сил сначала отделяли межкристалльный раствор в виде первого оттека, а затем его остатки удаляли с использованием промывных агентов и отделением жидкой фазы в виде второго оттека.

В ходе этих исследований основное внимание обращали на подготовку утфеля к центрифугированию. С этой целью в нем определяли содержание сухих веществ (СВ_{утфл}, %) и его чистоту (Ч_{утфл}, %).

По предлагаемому способу температуру утфеля I кристаллизации после спуска из вакуум-аппарата выдерживали в утфелемешалке до 68–72 °С и после чего направляли в утфелераспределитель, устанавливаемый над центрифугами.

Эксперименты по центрифугированию проводили с использованием центрифуги марки ФПН 125 Т1, которую загружали утфелем в количестве 750 кг при частоте вращения ее ротора 230 мин⁻¹. После чего начинали разгон ротора с утфелем с 230 до 980 (1000) мин⁻¹. Так как центрифуга снабжена устройством для контроля разделения утфеля в режиме «гибкого» центрифугирования, то в момент освобождения слоя осадка кристаллов сахара от основной массы оттеков их контролировали по величине механического воздействия на данный чувствительный элемент. Так, момент освобождения кристаллов сахара от основной массы первого оттека фиксировали по его давлению на чувствительный элемент, равный 0,095 МПа. Остатки первого оттека удаляли из слоя кристаллов сахара, промывая их разбавленным до

74 % СВ вторым оттеком первой кристаллизации температурой 85 °С. Эту операцию реализовывали с использованием форсунки под давлением 0,04 МПа из расчета в количестве 2,0 (1,5–2,5) % к массе утфеля.

Эксперименты по уточнению требований к горячей воде для промывания кристаллов позволили уточнить диапазон ее температур и расход. Лучшие результаты промывания кристаллов сахара были получены при температуре воды 85 °С и среднем ее расходе 1,5 % к массе утфеля.

С целью повышения эффективности освобождения кристаллов сахара от пленки оттеков в промывную воду добавляли перекись водорода из расчета 0,004–0,008 % (в среднем 0,006 %) к массе сахара. Использование перекиси водорода и добавление в промывную воду обусловлено ее существенным воздействием на цветность сахара [20]. Принцип такого воздействия перекисных окислителей основан на образовании при этом атомарного кислорода. Он способствует окислению редуцирующих веществ, окрашенных комплексов фенолов с катионами железа, ускоряет переход меланоидинов и нерастворимых соединений, дезаминирование высокомолекулярных и веществ коллоидной дисперсии с окислением продуктов, и их деструкции до органических кислот. Существует предположение, что при окислении красящих веществ пероксид водорода расщепляет их ненасыщенные участки, а также дикетонные группы в полифенолы. Они являются наиболее важными предшественниками цветности, и постепенно удаляют их, преобразуя в легкоудаляемые кислоты. Перекись распадается на кислород и воду и поэтому не оказывает отрицательного воздействия на организм человека.

В процессе разделения утфеля I кристаллизации, отбираемые первый и второй оттеки направляли в соответствующие сборники (рисунок 3). Часть второго оттека использовали в качестве промывного сахаросодержащего раствора. С этой целью его в отдельном сборнике разбавляли горячей водой до содержания в нем 72–76 % (в среднем 74 %) СВ. По завершении вышеуказанных операций кристаллы сахара подсушивали при торможении ротора в центробежном поле до влажности 0,8 % к их массе, выгружали из центрифуги и направляли на сушку.

Параллельно были проведены подобные эксперименты с известным способом. Опыты проводили с использованием тех же центрифуг, что и для реализации разработанного способа (ФПН-125 1Т) и условиями их загрузки утфелем в том же количестве. По известному способу кристаллы промывали только горячей водой температурой 85 °С через форсунки под давлением 0,4 МПа. Расход воды устанавливали пробным центрифугированием, что в среднем составляло 3,35 % к массе утфеля. По завершении промывания кристаллы сахара подсушивали при торможении ротора до влажности 0,8 % к его массе, затем их выгружали из ротора центрифуги и направляли на сушку.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставление результатов исследований разработанного и известного способов [19] проводили, сравнивая технологические показатели утфеля по его чистоте ($Ч_{\text{уtf}} \text{ I, \%}$), сухим веществам ($СВ_{\text{уtf}} \text{ I, \%}$), выходу сахара из центрифуги ($K, \% \text{ к массе утфеля}$) и времени центрифугирования ($T_{\text{ц.с}}$). Кроме того, были сопоставлены некоторые физико-химические показатели качества белого сахара по цветности ($C_{\text{сах}}$,

ед.опт.пл.), наличию в нем редуцирующих веществ ($PВ, \%$); содержанию золы ($Зол, \%$), а также получаемый сахар оценивали по его гранулометрическому составу: средний размер кристаллов ($Ср, \text{ мм}$) и коэффициент неоднородности ($K_{\text{н. \%}}$).

Усредненные данные сопоставления по разработанному [18] и известному (прототипу [19]) способам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление результатов исследований по известному (прототипу) и разработанному (по патенту)

Table 1 – Comparison of Research Results between the Known Method (Prototype) and the Developed Method (Patented)

Наименование показателя	Известный способ	Разработанный способ
Время, мин	3,4	2,7
Чистота утфеля, %	90,85	90,82
Содержание сухих веществ утфеля, %	92,59	92,61
Выход кристаллов сахара из центрифуги, % к массе утфеля	45,1	47,3
Физико-химические показатели качества белого сахара: Цветность, ед. опт. пл.	104,0	97,0
Зола, %	0,045	0,02
Редуцирующие вещества, %	0,055	0,03
Гранулометрический состав: Ср, мм $K_{\text{н. \%}}$	0,67 28,1	0,72 25,6

Из таблицы видно, что разработанный способ по сравнению с известным позволяет повысить выход сахара из центрифуги на 2,2 % к массе утфеля. При этом на 20,6 % сократилась длительность цикла центрифугирования и улучшились физико-химические показатели качества белого сахара. Снижение расхода промывной воды (почти в два раза) тесно связано с уменьшением количества оттеков и продуктов их перекристаллизаций. Это, в свою очередь, позволяет работать с более низкими потерями сахарозы в продукто-вом отделении. По приблизительным подсчетам, потери сахара в кристаллизационном отделении могут быть уменьшены на 0,03–0,035 % к массе свеклы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработан новый способ разделения утфеля I кристаллизации по «гибкой» временной программе цикла центрифугирования с промыванием кристаллов комбинированно в два этапа: сначала насыщенным сахаросодержащим раствором (второй оттек), а затем горячей водой с предварительным добавлением в нее H_2O_2 .

Анализ полученных результатов показал, что разработанный способ позволяет повысить эффективность процесса центрифугирования утфеля I кристаллизации: увеличить выход сахара на 2,2 % по массе утфеля, сократить цикл центрифугирования на 20,6 %, улучшить физико-химические показатели качества готовой продукции за счет снижения цветности сахара, содержания редуцирующих веществ и зольности.

Применение комбинированного промывания са-

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ УТФЕЛЯ I КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ СИЛОВОМ ПОЛЕ

хара обеспечило не только повышение его выхода из центрифуг, но и положительно отразилось на его органолептических и технологических показателях. При этом расход промывной воды сократился почти в два раза, что обеспечило более низкие потери сахарозы в продуктивном отделении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р "Об утверждении "Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года" // Собрание законодательства РФ. 2016. № 28. Ст. 4758.
2. Банникова Н.В., Воробьева Н.В., Костюченко Т.Н. Перспективы развития экспорта сахара и сахарной продукции // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 11. С. 120–137. doi: 10.32417/1997-4868-2023-23-11-120-137.
3. Борцова Е.Л., Лаврова Л.Ю., Калугина И.Ю. Изучение зависимости между системой ценности потребителя и качеством пищевой продукции // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18. № 19. С. 2841–2848.
4. Влияние сахара на структурно-механические свойства хлебобулочных изделий из муки пшеничной первого сорта / Н.С. Лаптенко [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии (Беларусь). 2022. № 3. С. 62–68.
5. Горбашко Е.А. Управление качеством. Москва : Изд-во Юрайт, 2016. 463 с.
6. ГОСТ 33222-2015. Сахар белый. Технические условия. введ. 01-07-2016. Москва, 2015. 16 с.
7. Дешева И.Ю., Славянский А.А., Тарасова Е.А. Современные тенденции стандартизации в области сахарной промышленности // Сахар. 2016. № 5. С. 33–36.
8. Егорова М.И. Сахар: эволюция требований потребителей // Сахар. 2014. № 7. С. 16–17.
9. Егорова М.И., Казакова С.И. Анализ технологического потока сахарного производства как инструмент обеспечения безопасности и качества белого сахара // Стратегия развития свеклосахарного комплекса России : материалы международной научно-практической конференции. Курск : ГНУ РНИИСП. Курск, 2007. С. 64–67.
10. Егорова М.И., Милых А.А., Райник В.В. Совершенствование метода определения гранулометрического состава сахара // Кондитерские изделия XXI века : материалы девятой международной конференции. Москва : Пищепромиздат, 2013. С. 176–178.
11. Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства: утв. зам. министра пищевой промышленности СССР 11.05.85 г. Москва, 1985. 372 с.
12. Славянский А.А., Сапронов А.Р. Пути повышения качества и выхода сахара-песка // Международный сельскохозяйственный журнал. 1988. № 6. С. 75–80.
13. Панфилов В.А. Диалектическое обеспечение развития технологий АПК // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. № 1. С. 87–98.
14. Славянский А.А. Специальная технология сахарного производства. 2-е издание, исправленное. Санкт-Петербург : Изд-во "Лань", 2020. 216 с.
15. Славянский А.А. Центрифугирование и его влияние на выход и качество сахара (монография). Москва : Издательский комплекс МГУПП, 2007. 180 с.
16. Развитие национальной инфраструктуры качества в области сахарной промышленности / Е.А. Тарасова [и др.] // Сахар. 2021. № 5. С. 20–23. doi: 10.24412/2413-5518-2021-5-20-23.
17. Совершенствование технологии центрифугирования утфеля I кристаллизации в фильтрующих центрифугах периодического действия / А.А. Славянский [и др.] // Сахар. 2024. № 1. С. 48–56. doi: 10.24412/2413-5518-2024-1-48-56.
18. Способ разделения утфеля первой кристаллизации: пат. 2264472 Рос. Федерация № 2004107116 ; заявл. 11.03.2004; опубл. 20.11.2005, Бюл. № 32. 7 с.
19. Оптимизация работы автоматизированных центрифуг на утфеле I кристаллизации / В.Г. Андреев [и др.] // Сахарная промышленность. 1988. № 8. С. 30–33.
20. Химия и технология пероксида водорода : учеб. пособие / Л.И. Мухоморова [и др.]. Чебоксары : Изд-во Чувашского университета, 2020. 104 с.
21. Семенов Е.В., Славянский А.А., Алексеев А.А. Комбинированное промывание кристаллов сахара-песка в центрифугах: обоснование эффективности // Сахар. 2006. № 4. С. 50–53.
22. Грибкова В.А., Семенов Е.В., Славянский А.А. Инновационные разработки в области переработки растительного сырья (в сахарном и крахмалопаточном производствах) : монография. Москва : РУСАЙНС, 2024. 176 с.
23. Семенов Е.В., Славянский А.А. Процесс центрифугирования утфелей в технологии сахара // Теоретические основы пищевых технологий : в 2 книгах / Ответственный редактор В.А. Панфилов. Том Книга 1. Москва : Изд-во КолосС, 2009. С. 497–509.
24. Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. Технология сахара : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 260203 «Технология сахаристых продуктов» направления подготовки дипломированного специалиста 260200 «Производство продуктов питания из растительного сырья». Санкт-Петербург : Профессия, 2013. 294 с.
25. Славянский А.А. Технологическое оборудование сахарных заводов: классификация, техническая характеристика, расчеты, компоновка : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 260203. Москва : МГУПП, 2006. 120 с.
26. Физико-химические процессы сахарного производства / И.С. Гулый [и др.]. Москва : Агропромиздат, 1987. 264 с.
27. Кристаллы сахарозы как основа сахаросодержащих продуктов / Н.В. Николаева [и др.] // Сахар. 2021. № 8. С. 34–38. doi: 10.24412/2413-5518-2021-8-34-38.
28. Развитие национальной инфраструктуры качества в области сахарной промышленности / Е.А. Тарасова [и др.] // Сахар. 2021. № 5. С. 20–23. doi: 10.24412/2413-5518-2021-5-20-23.
29. Промывание кристаллов сахара-песка в роторе центрифуги / Е.В. Семенов [и др.] // Сахар. 2004. № 5. С. 36–38.
30. Славянский А.А., Семенов Е.В., Сергеева Е.А. Особенности разделения утфеля I кристаллизации в силовом центробежном поле // Сахар. 2013. № 12. С. 44–46.

Информация об авторах

А. А. Славянский – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инновационных технологий продуктов из растительного сырья Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ГКУ).

В. А. Грибкова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инновационных технологий продуктов из растительного сырья Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ГКУ).

Д. П. Митрошина – кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных технологий продуктов из растительного сырья Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ГКУ).

Н. В. Николаева – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инновационных технологий продуктов из растительного сырья Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ГКУ).

REFERENCES

1. Government of the Russian Federation. (2016). Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030. Order No. 1364-r from 29 June 2016. Sbornik zakonodatel'stva RF, (28), art. 4758. (In Russ.).
2. Bannikova, N.V., Vorobyova, N.V. & Kostyuchenko, T.N. (2023). Prospects for the Development of Exports of Sugar and Sugar Products. Agrarian Bulletin of the Urals. 23 (11), 120-137. (In Russ.). doi: 10.32417/1997-4868-2023-23-

11-120-137.

3. Bortsova, E.L., Lavrova, L.Yu. & Kalugina, I.Yu. (2017). Study of the relationship between the consumer value system and the quality of food products. Russian entrepreneurship. 18 (19), 2841-2848. (In Russ.).

4. Laptinok, N.S., Dudareva, A.N., Sevastey, L.I. & Goroshnyakova, S.D. (2022). Influence of sugar on structural and mechanical properties of bakery products made from first grade wheat flour. Food industry: science and technology (Belarus), (3), 62-68. (In Russ.).

5. Gorbashko, E.A. (2016). Quality Management. Moscow : Yurait Publishing House. (In Russ.).

6. White sugar. Technical specifications. (2015). GOST 33222-2015 from 01.07.2016. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

7. Deshevaya, I.Yu., Slavyanskiy, A.A. & Tarasova, E.A. (2016). Modern trends in standardization in the sugar industry. Sakhar, (5), 33-36. (In Russ.).

8. Egorova, M.I. (2014). Sugar: evolution of consumer demands. Sakhar, (7), 16-17. (In Russ.).

9. Egorova, M.I. & Kazakova, S.I. Analysis of the technological flow of sugar production as a tool for ensuring the safety and quality of white sugar. Proceedings of the International scientific and practical conference «Strategy for the development of the beet sugar complex of Russia». Kursk : GNU RNIISP. (In Russ.).

10. Egorova, M.I., Milykh, A.A. & Rainik, V.V. Improving the method for determining the granulometric composition of sugar. Proceedings of the ninth international conference «Confectionery products of the XXI century». Moscow : Pishchepromizdat. (In Russ.).

11. Instructions for the technological process of beet sugar production: approved by the Deputy Minister of the Food Industry of the USSR on May 11, 1985. Moscow.

12. Slavyanskiy, A.A. & Saponov, A.R. (1988). Ways to improve the quality and yield of granulated sugar. International Agricultural Journal, (6), 75-80. (In Russ.).

13. Panfilov, V.A. (2021). Dialectical support for the development of agro-industrial complex technologies. Bulletin of the Kerch State Marine Technological University, (1), 87-98.

14. Slavyanskiy, A.A. (2020). Special technology of sugar production. St. Petersburg : Lan Publishing House. (In Russ.).

15. Slavyanskiy, A.A. (2007). Centrifugation and its influence on sugar yield and quality (monograph). Moscow : Publishing complex of MGUPP. (In Russ.).

16. Tarasova, E.A., Guryeva, K.B., Slavyanskiy, A.A., Lebedeva, N.N. & Mitroshina, D.P. (2021). Development of national quality infrastructure in the sugar industry. Sugar, (5), 20-23. (In Russ.). doi: 10.24412/2413-5518-2021-5-20-23.

17. Slavyanskiy, A.A., Gribkova, V.A. & Nikolaeva, N.V. (2024). Improving the technology of centrifugation of massecuite I crystallization in filter centrifuges of periodic action. Sugar, (1), 48-56. (In Russ.). doi: 10.24412/2413-5518-2024-1-48-56.

18. Slavyanskiy, A.A., Il'ina, V.V. & Shterman, V.S. (2005). Method of separation of fill mass (massecuite) of first crystallization. Pat. 2264472. Russian Federation, published on 20.11.2005. Bull. No. 32. (In Russ.).

19. Andreev, V.G., Slavyanskiy, A.A. & Saponov, A.R. (1988). Optimization of the operation of automated centrifuges on crystallization massecuite. Sugar industry, (8), 30-33.

20. Mukhortova, L.I., Efimov, Yu.T., Glushkov, I.V. & Konstantinova, T.G. (2020). Chemistry and technology of

hydrogen peroxide: Textbook. Cheboksary : Chuvash University Publishing House.

21. Semenov, E.V., Slavyanskiy, A.A. & Alekseev, A.A. (2006). Combined washing of granulated sugar crystals in centrifuges: substantiation of efficiency. Sakhar, (4), 50-53. (In Russ.).

22. Gribkova, V.A., Semenov, E.V. & Slavyanskiy, A.A. (2024). Innovative developments in the field of processing plant raw materials (in sugar and starch production): monograph. Moscow: RUSAINS. (In Russ.).

23. Semenov, E.V. & Slavyanskiy, A.A. (2009). The process of centrifugation of massecuite in sugar technology. Moscow : KolosS Publishing House, 2009. (In Russ.).

24. Saponov, A.R., Saponova, L.A. & Ermolaev, S.V. (2013). Sugar technology: a textbook for students of higher educational institutions studying in the specialty 260203 "Technology of sugar products" of the direction of training a certified specialist 260200 "Production of food products from plant raw materials". St. Petersburg: Profession. (In Russ.).

25. Slavyanskiy, A.A. (2006). Technological equipment of sugar factories: classification, technical characteristics, calculations, layout: a teaching aid for students of higher educational institutions studying in specialty 260203. Moscow : MGUPP. (In Russ.).

26. Guly, I.S., Lysyansky, V.M. & Reva, L.P. (1984). Physicochemical processes of sugar production. Moscow : Agropromizdat. (In Russ.).

27. Nikolaeva, N.V., Mitroshina, D.P., Slavyanskiy, A.A., Gribkova, V.A. & Lebedeva, N.N. (2021). Sucrose crystals as the basis of sugar-containing products. Sugar, (8), 34-38. (In Russ.). doi: 10.24412/2413-5518-2021-8-34-38.

28. Tarasova, E.A., Guryeva, K.B., Slavyanskiy, A.A., Lebedeva, N.N. & Mitroshina, D.P. (2021). Development of national quality infrastructure in the sugar industry. Sugar, (5), 20-23. (In Russ.). doi: 10.24412/2413-5518-2021-5-20-23.

29. Semenov, E.V., Slavyanskiy, A.A., Ilyina, V.V. & Alekseev, A.A. (2004). Washing granulated sugar crystals in a centrifuge rotor. Sugar, (5), 36-38. (In Russ.).

30. Slavyanskiy, A.A., Semenov, E.V. & Sergeeva, E.A. (2013). Features of separation of massecuite I crystallization in a force centrifugal field. Sakhar, (12), 44-46. (In Russ.).

Information about the authors

A.A. Slavyanskiy - Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Innovative Technologies of Products from Plant Raw Materials at the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU).

V.A. Gribkova - Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovative Technologies of Products from Plant Raw Materials at the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU).

D.P. Mitroshina - Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Innovative Technologies of Products from Plant Raw Materials at the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU).

N.V. Nikolaeva - Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovative Technologies of Products from Plant Raw Materials of the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.