

На правах рукописи



МИТРОШИНА ДАРЬЯ ПЕТРОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ САХАРОЗЫ С УЛУЧШЕНИЕМ ЕЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Специальность 4.3.3. – Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва
2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Научный руководитель: **Славянский Анатолий Анатольевич**
доктор технических наук, профессор, Лауреат общенациональной премии «Профессор года» в номинации «Технические науки», заслуженный изобретатель РСФСР

Официальные оппоненты: **Кульнева Надежда Григорьевна**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
профессор кафедры технологии бродильных и сахаристых производств
Решетова Раиса Степановна
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», профессор
кафедры пищевой инженерии

Ведущая организация: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»

Защита состоится «14» декабря 2023 г. в 11⁰⁰ ч. на заседании диссертационного совета 24.2.335.01 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» по адресу: 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 73, ауд. 309.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» (<http://www.mgutm.ru>). Автореферат размещен в сети Интернет на сайтах ВАК Минобрнауки РФ по адресу: (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» (<http://www.mgutm.ru>).

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, д.т.н., доц.



Казарцев Д.А.

Общая характеристика работы

Актуальность. В настоящее время в России заметно усилился интерес к проблеме здорового питания как к одному из важнейших факторов повышения уровня жизни населения. Это согласуется с Доктриной продовольственной безопасности до 2030 г, определившей основные направления развития пищевой индустрии и требования к безопасности и качеству выпускаемой продукции. Из данного государственного документа следует, что стратегической задачей государства является производство социальнозначимых продуктов питания, к которым также относится кристаллический белый сахар. Это обусловлено также тем, что ассортимент сахаросодержащей продукции отечественных сахарных предприятий весьма ограничен. Поэтому разработка новых видов сахаросодержащих продуктов, особенно сегодня, весьма актуальна. В связи с этим повышение эффективности производства сахара, как и улучшение его технологических свойств является весьма актуальной задачей, стоящей перед сахарной отраслью.

Степень разработанности темы. В направлении развития процессов сахарного производства, в частности, в области совершенствования процесса кристаллизации сахарозы значительный вклад внесли П.М.Силин, И.Н.Каганов, А.Р.Сапронов, Е.В.Семенов, А.А.Славянский, В.И. Тужилкин, В.О.Штангеев, Р.С. Решетова и др. Теоретические и практические аспекты улучшения технологических свойств сахарозы рассмотрены в трудах С.М. Петрова, Н.М. Подгорновой, Н.Д. Лукина, Н.Г. Кульневой, Л.И. Беляевой, Ю.И. Сидоренко, С.В. Штермана и др.

Цель исследования – совершенствование технологии кристаллизации сахарозы из пересыщенных производственных растворов с улучшением ее технологических свойств.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие **задачи**:

1. Критически проанализировать качественные показатели белого сахара отечественных свеклосахарных предприятий и уточнить степень их соответствия нормативным требованиям (ГОСТ 33222-2015);
2. Усовершенствовать физико-математическую модель формирования центров кристаллизации сахарозы с учетом влияния теплоты кристаллообразования на процесс уваривания утфеля I кристаллизации;
3. Научно обосновать технологические условия фракционирования центров кристаллизации для повышения их однородности с применением сепарационных технологий;
4. Разработать и запатентовать инновационные разработки в области кристаллизации сахарозы при уваривании утфеля и отделения из него кристаллов сахара в центробежном силовом поле;
5. Разработать комплексную технологию на базе основных операций процесса уваривания и центрифугирования утфеля I кристаллизации для повышения выхода и качества белого сахара при переработке сырья различной сахаристости;

6. Обосновать условия улучшения технологических свойств белого сахара;
7. Исследовать технологические свойства гранулированного сахаросодержащего продукта.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Результаты анализа степени соответствия качественных показателей, вырабатываемого отечественными заводами кристаллического белого сахара требованиям ГОСТ 33222-2015;

2. Физико-математическая модель кристаллизации сахарозы из пересыщенных производственных растворов при уваривании утфеля I продукта в вакуум-аппарате с уточнением требований к формированию центров ее кристаллизации;

3. Результаты оценки влияния теплоты кристаллообразования на кинетику роста кристаллов сахарозы из пересыщенных промышленных растворов;

4. Фракционирование затравочных кристаллов с использованием сепарирования для повышения их однородности;

5. Комплексная технология получения кристаллического белого сахара, обеспечивающая повышение качества и выхода сахара при переработке сырья различной сахаристости;

6. Технология производства гранулированного сахаросодержащего продукта, обогащенного натуральными ингредиентами растительного происхождения;

7. Результаты исследования технологических свойств гранулированного сахаросодержащего продукта.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертационная работа соответствует пунктам 6, 20, 22 паспорта специальностей ВАК РФ (технические науки) 4.3.3. – «Пищевые системы». Технология сахара и сахаристых продуктов, чая, табака и субтропических культур; Процессы и аппараты пищевых производств; Физико-химические основы, механизмы, закономерности процессов пищевых производств.

Научная новизна состоит в развитии известных теоретических и практических представлений о формировании однородных центров кристаллизации сахарозы и кинетике их роста в пересыщенных промышленных растворах, анализе основных факторов, влияющих на этот процесс, и на их основе раскрытие и обоснование технологических условий, обеспечивающих повышение эффективности технологии уваривания и центрифугирования утфеля I кристаллизации.

Усовершенствована физико-математическая модель процесса формирования центров кристаллизации сахарозы из пересыщенных производственных растворов;

Охарактеризовано влияние внутренней теплоты пересыщенных производственных растворов на кинетику роста кристаллов в процессе кристаллообразования;

С позиций повышения однородности распределения по крупности центров кристаллизации исследован процесс фракционирования затравочного материала путём центробежного сепарирования;

Научно обоснована эффективность основных технологических операций уваривания и центрифугирования утфеля I кристаллизации в продуктовом отделении сахарного завода для условий переработки сырья различной сахаристости;

Сформулированы и обоснованы технологические условия создания гранулированных сахарсодержащих продуктов;

Исследованы технологические свойства гранулированного сахарсодержащего продукта.

Практическая значимость и реализация результатов работы:

1. Проведена оценка качества, вырабатываемого отечественными сахарными заводами белого сахара с позиций его пищевой и сырьевой значимости. Уточнены технологические условия, обеспечивающие повышение выхода и качества сахара;

2. На основе результатов сепарирования маточного утфеля разработана методика и способ классифицирования затравочных центров кристаллизации с повышением их однородности;

3. Проведены испытания способов уваривания и центрифугирования утфеля I кристаллизации в производственных условиях;

4. Сформулирован и обоснован комплексный подход к технологии получения утфеля I кристаллизации на основе использования инновационных разработок в области его уваривания и центрифугирования;

5. Разработана технология обогащения и производства новых видов гранулированных сахарсодержащих продуктов.

Апробация результатов работы. Основные результаты обсуждались на научно-технических конференциях: XIII Всероссийский форум молодых ученых и студентов «Дни студенческой науки» 05–09 апреля 2021 года; Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова 06–08 июня 2022 года.

Публикации. По теме диссертационной работы имеется 20 публикаций, в том числе 8 статей в журналах, рекомендуемых ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 2 статьи в журналах, входящих в международные базы цитирования WoS/Scopus, 9 патентов РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, 5 глав, выводы и рекомендации промышленности, список литературы и приложения. Она изложена на 167 страницах, иллюстрирована 31 рисунком и 24 таблицами. В список литературы входит 200 источников, из которых 163 отечественных и 37 иностранных.

Содержание работы

Во введении показана актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цель и задачи исследования.

В главе 1 выполнен обзор литературных источников, посвященных качеству сахара, степени влияния на него технологических условий процесса кристаллизации и центрифугирования утфеля. Уточнены факторы, влияющие на формирование центров кристаллов сахарозы из пересыщенных сахаросодержащих растворов и на кинетику их роста в промышленных условиях. Проанализированы пути получения новых видов сахаросодержащих продуктов с целью расширения ассортимента продукции отечественных сахарных предприятий и улучшения ее технологических свойств.

В главе 2 приведена структурная схема проведения диссертационного исследования, обоснованы и описаны методики экспериментов по оценке качества кристаллического белого сахара. При этом использованы как стандартные, так и специальные методы оценки качества образцов сахара 13 отечественных заводов (в основном категории ТС2).

Эксперименты позволили выявить некоторое несоответствие качественных показателей отдельных образцов требованиям ГОСТ 33222-2015. Установлен широкий диапазон по массовой доле сахарозы (99,68–99,89%), редуцирующих веществ (0,01–0,05%), золы (0,008–0,037%), влаги (0,01–0,11%), цветности (40,0–106,0 ед.опт.пл. ICUMSA) (табл.1).

На основе проведенных исследований обоснована необходимость разработки комплексной технологии производства белого сахара, а также технологии получения сахаросодержащих продуктов с улучшенными технологическими свойствами, что вытекает из схемы исследования (рис. 1).

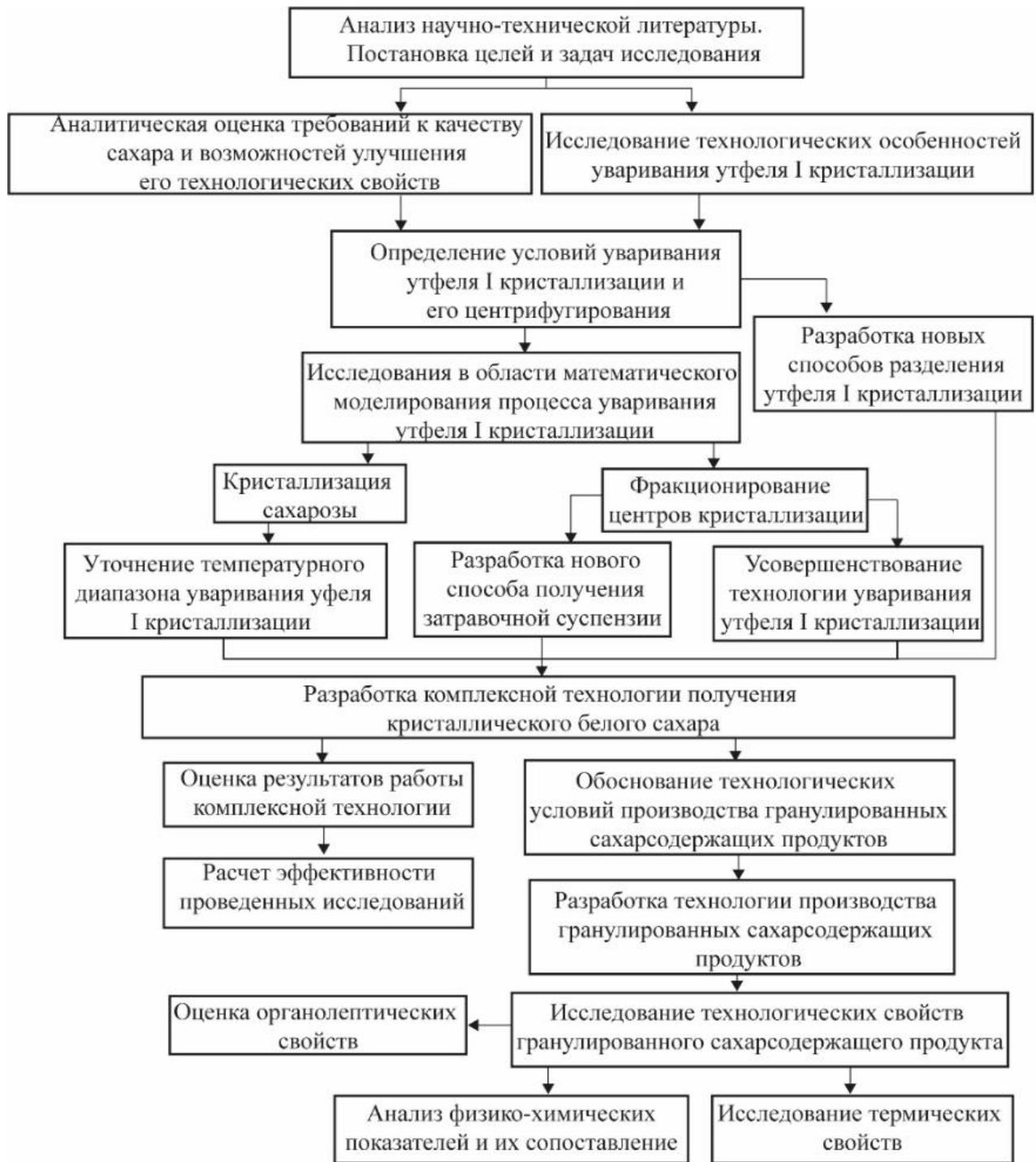


Рисунок 1. Схема проведения исследований по диссертационной работе

Таблица 1. Физико-химические показатели качества белого сахара

№ п/п	Сахарные заводы	Показатели качества				
		Массовая доля сахарозы по прямой поляризации	Массовая доля редуцирующих веществ (в пересчете на сухое вещество)	Массовая доля золы (в пересчете на сухое вещество)	Цветность	Массовая доля влаги
Норма по ГОСТ 33222-2015						
1	Белый сахар (категория ТС2)	не менее 99,70%	не более 0,04%	не более 0,036%	не более 104,0 ед. опт. пл. ICUMSA	не более 0,10%
Сахарные заводы						
1	ООО «Краснояржский сахарник»	99,71	0,01	0,037	106,0	0,06
2	ООО «Залегощенский сахарник»	99,75	0,01	0,008	66,0	0,05
3	ОАО «Лискисахар»	99,68	0,05	0,016	65,0	0,03
4	ОАО Сахарный завод «Ленинградский»	99,76	0,01	0,010	101,0	0,01
5	АО «Кшенский сахарный комбинат»	99,77	0,01	0,009	89,0	0,02
6	ОАО «Лебедянский сахарный завод»	99,87	0,01	0,009	70,0	0,08
7	ООО Олымский сахарный завод	99,79	0,01	0,010	63,0	0,02
8	ООО «Теткинский сахарный завод»	99,78	0,03	0,009	99,0	0,11
9	ООО «Павловский сахарный завод»	99,79	0,01	0,012	68,0	0,03
11	ООО «Сотницынский сахарный завод»	99,89	0,01	0,012	45,0	0,02
12	ООО «Ливны Сахар»	99,75	0,01	0,012	40,0	0,07
13	ОАО «Чишминский сахарный завод»	99,73	0,02	0,015	69,0	0,03

В главе 3 расширены представления о механизме зародышеобразования сахарозы, уточнена кинетика роста кристаллов в пересыщенном растворе, а также технологические условия уваривания утфеля I кристаллизации.

Охарактеризовано влияние теплоты кристаллообразования на процесс уваривания утфеля I кристаллизации (рис.2).

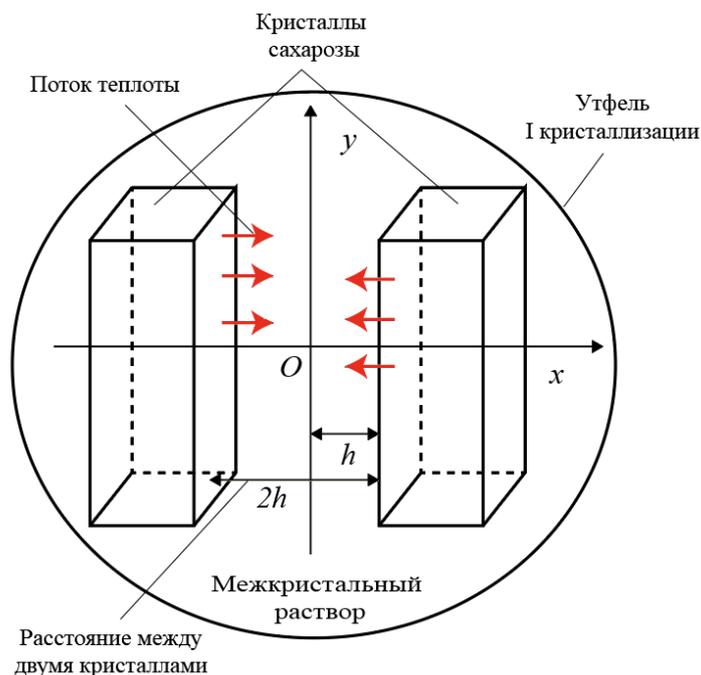


Рисунок 2. Схема к расчету тепло-массообменного процесса в вакуум-аппарате

С целью уточнения распределения теплоты между двумя кристаллами было использовано одномерное уравнение нестационарной теплопроводности Фурье

$$\partial T / \partial \tau = a \partial^2 T / \partial x^2, \quad (1)$$

где T – температура, °C; τ – время, с; a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

Температура в растворе между двумя кристаллами определялась по формуле

$$T(x, \tau) = (1 - \sum_{n=0}^{\infty} A_n \exp(-\frac{\mu_n^2 a \tau}{h^2})) \times \Delta T, \quad (2)$$

где $\Delta T = T_{\text{среды}} - T_0$

На основе результатов моделирования получена возможность количественно оценить влияние теплоты кристаллообразования на рост кристаллов в вакуум-аппарате при принятых условиях и различных

значениях приращения температуры: $\Delta c = 0,15$; $h = 125 \times 10^{-6}$ м: 1 – $\delta T = 0^\circ\text{C}$; 2 – $\delta T = 10^\circ\text{C}$; $h = 250 \times 10^{-6}$ м: 3 – $\delta T = 0^\circ\text{C}$, 4 – $\delta T = 10^\circ\text{C}$ (рис. 3).

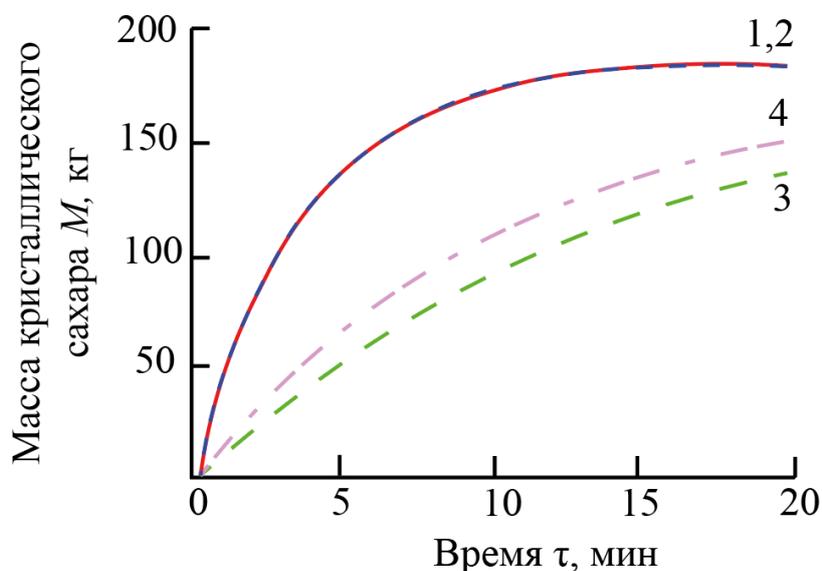


Рисунок 3. Зависимость изменения массы M сахарозы от времени кристаллизации τ в вакуум-аппарате

Из рис.3 видно, что изменение массы M сахарозы без учета явления теплоты кристаллообразования (кривая 1), а также в условиях, когда эффект принимается во внимание (кривая 2) при размере частиц $\delta=250 \times 10^{-6}$ м, практически не различаются. Однако по частицам размером $\delta=500 \times 10^{-6}$ м, было отмечено увеличение выхода сахарозы (кривая 4 выше кривой 3).

Результаты этих имитационных экспериментов были использованы при разработке способа уваривания утфеля I кристаллизации (Пат. № 2771069). В ходе промышленной проверки было установлено, что выход сахара из центрифуги возрастает примерно на 0,6% к массе утфеля при одновременном улучшении его качественных показателей.

В главе 4 дан анализ существующих способов формирования затравочных центров при уваривании утфеля I кристаллизации, обоснованы их недостатки и преимущества. Результатом углубленных исследований в области формирования центров кристаллизации сахарозы стала разработка математической модели процесса фракционирования затравочных центров. Испытания проводились с использованием жидкостного сепаратора АІ-ОЦМ-5.

В основу проведенных расчетов была положена формула определения количества осажденных на поверхности тарелки сепаратора центров кристаллизации к их содержанию в маточном утфеле

$$\eta = \frac{1}{h} \int_0^h \Phi(\delta(z)) dz, \quad (3)$$

где η – отношение количества осажденных на поверхности тарелки частиц к содержанию их в исходной жидкостной системе, h – толщина межтарелочного зазора, $\delta(z)$ – текущий критический диаметр частицы.

Полученные зависимости счетного распределения частиц по крупности представлены на рис. 4, где отношение числа частиц размером меньше требуемого к общему числу частиц (функция распределения): 1 – исходное распределение (нулевой этап), 2 – распределение в фильтрате, 1-ый этап; отношение числа частиц размером больше требуемого к общему числу частиц (характеристическая функция): 3 – исходное распределение (нулевой этап), 1-ый этап, 4 – распределение в фильтрате.

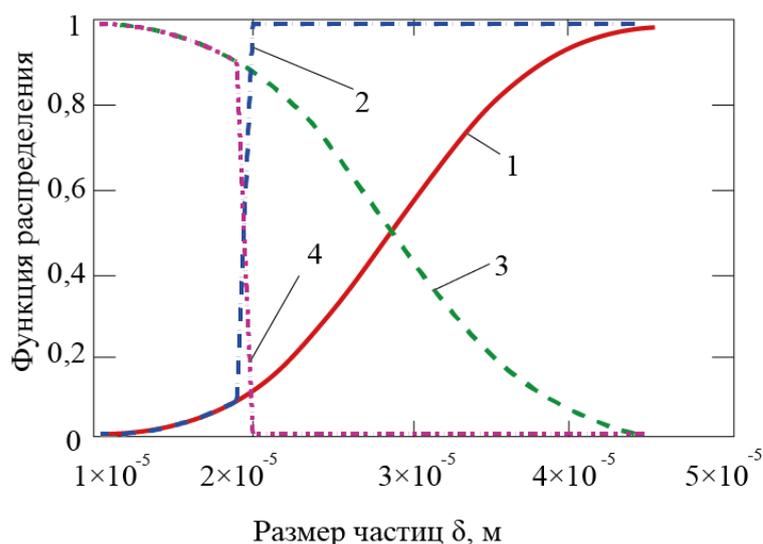


Рисунок 4. Интегральные зависимости счетного распределения частиц по крупности

Из рис.4 видно, что сепарирование маточного утфеля позволяет сконцентрировать твердую фазу центров кристаллизации с 44,4 до 87,7% на первом этапе фракционирования. Данная модель была использована для разработки нового способа производства сахара (Пат.№2759120). Предлагаемый способ по сравнению с известным позволяет повысить выход сахара из центрифуги на 0,65% к массе утфеля.

В главе 5 приведены исследования по разработке комплексного подхода к реализации основных технологических операций процесса уваривания и центрифугирования утфеля I кристаллизации для повышения их эффективности (рис.5). При этом была разработана комплексная технология производства белого сахара. В отличие от типовой комплексная технология предусматривает ряд новых подходов, повышающих эффективность уваривания и центрифугирования утфеля (Пат.№2763788, №2771069, №2757119, №2795978, №2759120, №2771068, №2758295).

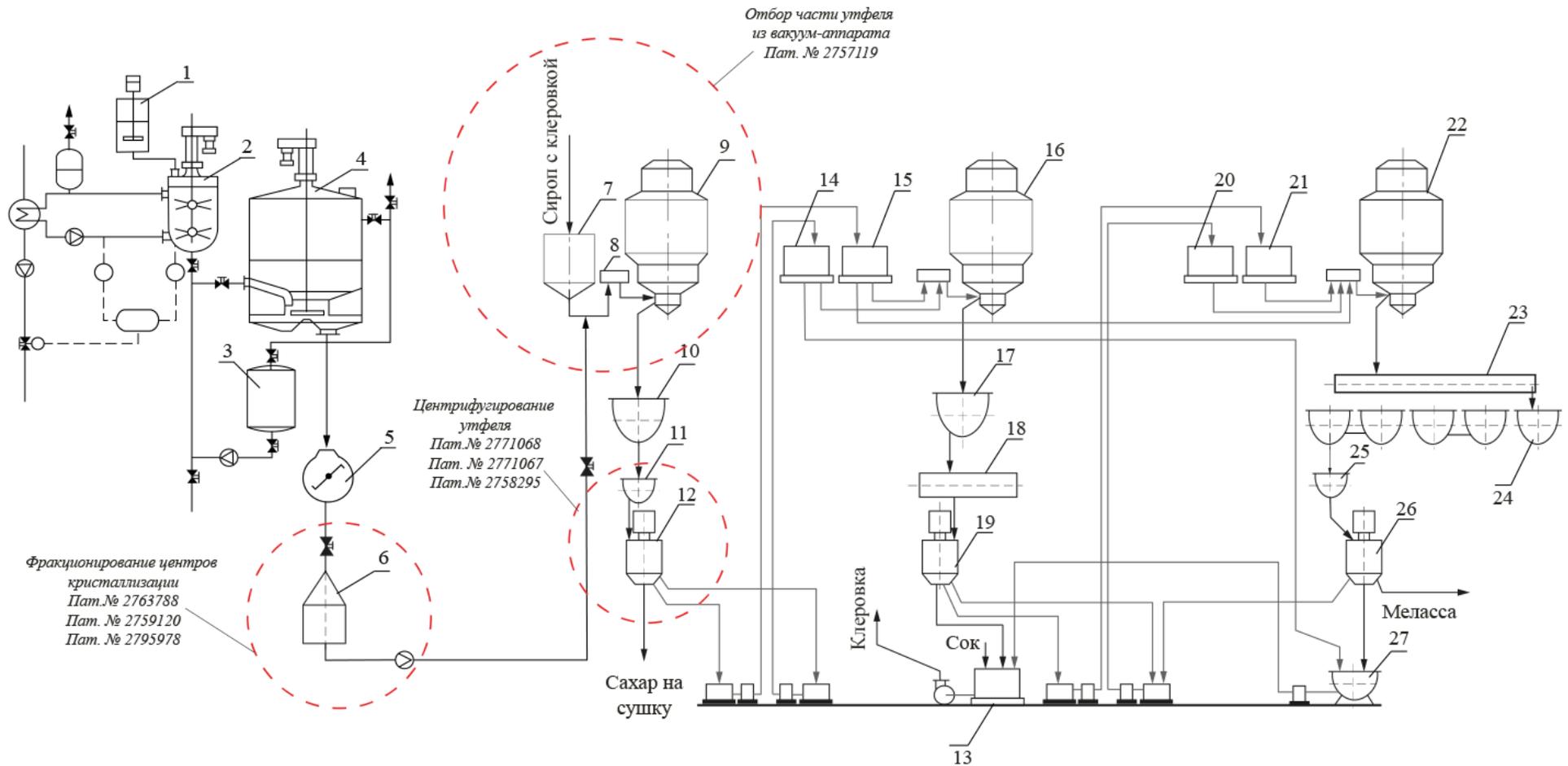


Рисунок 5. Предлагаемая схема комплексной технологии: – 1 - резервуар с затравочной пастой; 2 - кристаллизатор-охладитель; 3 - приёмник сиропа; 4 – вакуум-аппарат для получения маточного утфеля; 5 - резервуары затравочной суспензии; 6 – центробежный сепаратор; 7 – сборник сиропа; 8 – коллектор; 9,16,22 - вакуум-аппарат; 10,17,22 – утфелемешалка; 11,18,25 – утфелераспределитель; 12,19,26 – центрифуга; 13 - клеровочный аппарат; 14,15,20,21 – сборники; 24 - кристаллизационная установка; 27 – аффинационная мешалка

Результаты уваривания утфеля I кристаллизации с использованием комплексной технологии приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты уваривания утфеля I кристаллизации

Основные показатели	Технология уваривания	
	Комплексная	Известная
Чистота, %		
- утфель I кристаллизации	91,90	91,95
- первый оттек	83,20	83,90
- второй оттек	90,15	90,75
Содержание кристаллов в утфеле, % к его массе	49,30	48,50
Общее время уваривания утфеля, час	5,70	6,30
Общее время цикла центрифугирования утфеля, мин	2,82	3,03
Чистота мелассы, %	58,35	58,90
Эффект кристаллизации, %	33,60	32,50
Количество сросшихся кристаллов в утфеле, %	34,60	47,30
Кристаллический белый сахар		
Цветность, ед.опт.плотности	100,00	104,00
Массовая доля влаги,%	0,09	0,10
Мутность, физ. ед.	21,50	31,40
Редуцирующие вещества, %	0,030	0,048
Зола, %	0,020	0,031
Гранулометрический состав:		
- средний размер кристаллов, мм	0,79	0,71
- коэффициент неоднородности, %	23,4	28,3

Из табл. 2 видно, что по сравнению с типовой комплексная технология позволяет увеличить выход сахара из центрифуги на 0,7% к массе утфеля. При этом ожидаемое снижение себестоимости полученного по комплексной технологии кристаллического белого сахара составит 3,3%.

С целью улучшения технологических свойств сахарозы обоснованы оптимальные условия ее гранулирования с пищевыми добавками. Предложена технология производства гранулированных сахаросодержащих продуктов с улучшенными технологическими свойствами (Пат.№2774428).

В табл. 3 приведены результаты сравнительной оценки физико-химических показателей белого сахара (ТС2) и полученного по разработанной технологии гранулированного сахаросодержащего продукта.

Таблица 3. Физико-химическая оценка качества кристаллического белого сахара и гранулированного сахаросодержащего продукта

Показатель	Кристаллический белый сахар (ТС2)	Гранулированный сахаросодержащий продукт
Время растворения, сек.	30	60
Цветность, ед.опт.плотности	104	170, 5
Массовая доля влаги, %, не более	0,10	0,10
Массовая доля редуцирующих веществ (в пересчете на сухое вещество), %, не более	0,04	0,080
Массовая доля золы (в пересчете на сухое вещество), %, не более	0,036	0,090

Разработанная технология позволяет проводить гранулирование сахара с различными ингредиентами, причем получаемая при этом продукция может быть использована, как для пищевых, так и технических целей.

Образцы сахара и гранулированного сахаросодержащего продукта были исследованы под стереоскопическим микроскопом (рис.6–7).



Рисунок 6. Микрофотография белого сахара (ТС2)



Рисунок 7. Микрофотография гранулированного сахаросодержащего продукта

Из рис. 6 видно, что образец обладает свойственной для сахара кристаллической структурой в отличие от гранулированного сахаросодержащего продукта (рис.7), гранулы которого имеют сферическую форму без четких граней.

Помимо этого, гранулированный сахаросодержащий продукт был исследован методом дифференциально-термического анализа. Термогравиметрические и калориметрические показатели в численном и графическом виде получены с использованием прибора синхронного анализа STA-449. На рис.8 представлены результаты термического анализа гранулированного сахаросодержащего продукта.

В процессе температурного воздействия на гранулы наблюдается потеря массы образца в результате испарении воды пор гранул, а также улетучивание из их внутренней структуры компонентов термического разложения. На кривых ТГ и ДТГ (рис.8) отсутствуют какие-либо перегибы, что свидетельствует об отсутствии свободной влаги в гранулированном сахаросодержащем продукте.

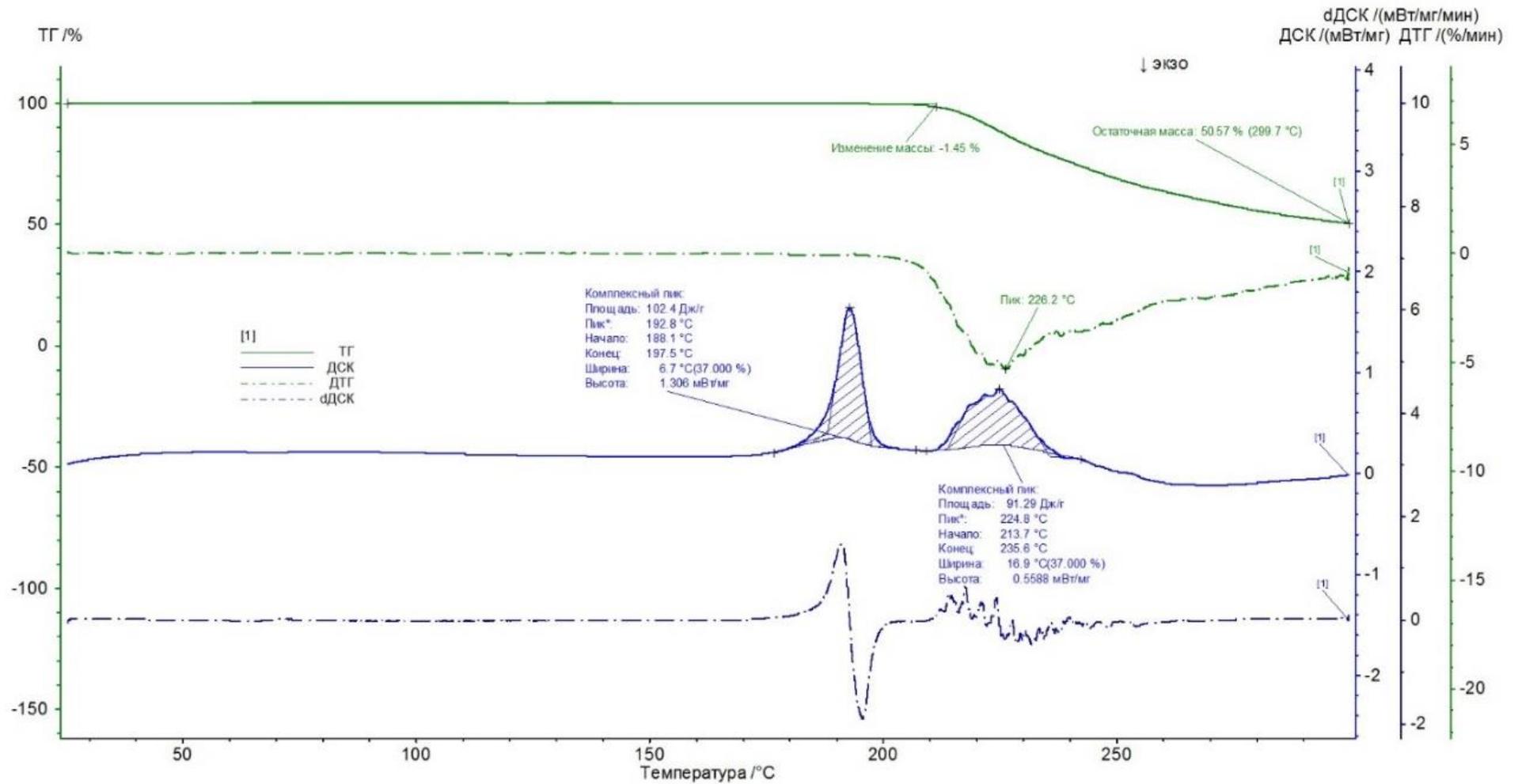


Рисунок 8. Термограмма гранулированного сахаросодержащего продукта

Как видно из рис.8 для гранулированного сахаросодержащего продукта характерно два пика. Первый возникает в диапазонах температур 188,1–197,5°C и соответствует температуре деградации сахарозы, а второй пик возникает при более высокой температуре (213,7–235,6°C) и свидетельствует о вхождении в состав гранул натуральных растительных ингредиентов.

В **заключении** проанализированы основные результаты диссертационной работы.

Общие выводы и рекомендации промышленности:

1. Исследованы физико-химические показатели качества кристаллического белого сахара ряда отечественных сахарных заводов. Установлено, что в целом он соответствует требованиям ГОСТ 33222-2015. Однако в отдельных образцах сахара зафиксированы незначительные отклонения от требований стандарта по таким показателям как массовая доля сахарозы и редуцирующих веществ, а также цветности. Подтверждено, что существенное влияние на формирование физико-химических показателей кристаллического белого сахара оказывает однородность центров кристаллизации при уваривании утфеля I кристаллизации, а также технологические особенности его разделения в центробежном силовом поле;

2. Усовершенствована физико-математическая модель процесса формирования центров кристаллизации сахарозы в пересыщенных производственных растворах. На ее основе уточнено влияние теплоты кристаллообразования сахарозы на кинетику роста ее кристаллов из пересыщенных растворов в вакуум-аппарате. Получены уравнения для количественной оценки влияния теплоты кристаллообразования на эффективность процесса кристаллизации сахарозы при уваривании утфеля I продукта;

3. Сформулированы и научно обоснованы условия фракционирования центров кристаллизации методом сепарирования. Разработана математическая модель этого процесса, позволяющая определить рациональные условия проведения сепарирования затравочных кристаллов до заданной области их размерных значений с высокой степенью их однородности;

4. Разработаны и защищены патентами на изобретение разработки в области уваривания и центрифугирования утфеля I кристаллизации (8 патентов РФ), обеспечивающие не только повышение выхода сахара, но и его качественные показатели. Способы прошли заводскую проверку и признаны эффективными;

5. Разработана и научно обоснована комплексная технология уваривания и центрифугирования утфеля I кристаллизации. Ее применение для условий переработки сырья различной сахаристости позволило сократить время уваривания утфеля на 9,5%, а время одного цикла центрифугирования на 6,6%, при этом выход белого сахара из центрифуги увеличился в среднем на 0,7% к массе утфеля;

6. Показана возможность улучшения технологических свойств сахара гранулированием и уточнена его технология с добавлением экстракта зеленого чая и β -каротина.

7. Исследованы технологические свойства гранулированного сахаросодержащего продукта. На основе методов дифференциально-термического анализа доказана целесообразность гранулирования сахара и определены термогравиметрические характеристики сахаросодержащего продукта.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

I. Статьи в журналах, рецензируемых ВАК Минобрнауки РФ

1. Семенов, Е. В. Оценка влияния термодинамического фактора на процесс кристаллизации в вакуум-аппарате / Е.В. Семенов, А.А. Славянский, В.А. Грибкова, **Д.П. Митрошина**, Н.Н. Лебедева // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2021. – № 5-6(383-384). – С. 42-47.

2. Славянский, А.А. Фракционирование сыпучих пищевых продуктов / А. А. Славянский, **Д. П. Митрошина**, В. А. Грибкова, А. В. Карамзин // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52. – № 1. – С. 89-97.

3. Славянский, А. А. Разработка гранулированных антиоксидантных продуктов на основе сахарозы / А. А. Славянский, **Д. П. Митрошина**, В. А. Грибкова // Сахар. – 2022. – № 10. – С. 30-39.

4. Семенов, Е.В. Влияние термодинамического фактора на процесс кристаллизации сахарозы / Е.В. Семенов, А.А. Славянский, **Д.П. Митрошина**, В.А. Грибкова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2023. – № 1(391). – С. 79-84.

5. Тарасова, Е.А. Развитие сахарной отрасли по направлению эффективного взаимодействия с потребителями / Е.А. Тарасова, К.Б. Гурьева, А.А. Славянский, Н.Н. Лебедева, **Д.П. Митрошина** // Сахар. – 2021. – № 9. – С. 30-34.

6. Тарасова, Е.А. Развитие национальной инфраструктуры качества в области сахарной промышленности / Е.А. Тарасова, К.Б. Гурьева, А.А. Славянский, Н.Н. Лебедева, **Д.П. Митрошина** // Сахар. – 2021. – № 5. – С. 20-23.

7. Николаева, Н.В. Кристаллы сахарозы как основа сахаросодержащих продуктов / Н.В. Николаева, **Д.П. Митрошина**, А.А. Славянский, В.А. Грибкова, Н.Н. Лебедева // Сахар. – 2021. – № 8. – С. 34-39.

8. **Митрошина, Д.П.** Разработка новых видов функциональных продуктов на основе сахарозы / Д.П. Митрошина, А.А. Славянский, Н.В. Николаева, Н.Н. Лебедева, В.А. Грибкова, Н.В. Разинкина // Сахар. – 2022. – № 2. – С. 32-37.

II. Статьи, опубликованные в журналах международных баз WoS и Scopus

9.Semenov, E. V. Quantitative Analysis of Suspension Clarification Process in Inter-Tray Space of Separator Drum / E. V. Semenov, A. A. Slavyanskiy, **D.P. Mitroshina** // Chemical and Petroleum Engineering. – 2021. – Vol. 57. – No 5-6. – P. 361-369 (DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00944-7>).

10.Semenov, E. V. Thermodynamic factor and vacuum crystallization / E. V. Semenov, A. A. Slavyanskiy, **D. P. Mitroshina**, N. N. Lebedeva // Foods and Raw Materials. – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 304-309 (DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-542>).

III. Публикации в других изданиях и материалах конференций

11.**Митрошина, Д.П.** Проблемы подготовки затравочных кристаллов для уваривания утфеля I кристаллизации / **Д.П. Митрошина**, А. А. Славянский // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова : сборник статей, Москва, 06–08 июня 2022 года. Том 2. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 215-219.

IV. Изобретения

12.Пат. 2757119 РФ, МПК С13В 30/02. Способ получения утфеля первой кристаллизации: №2020141087: заявл. 14.12.2020: опубл. 11.10.2021/ А.А.Славянский, А.Ю.Черемисина, И.О.Федоткин, **Д.П. Митрошина**, Н.Н. Лебедева.

13.Пат. 2758295 РФ, МПК С13В 30/10. Способ разделения утфеля первой кристаллизации сахарного производства: № 2020141088: заявл. 14.12.2020: опубл. 28.10.2021/ А.А.Славянский, А.Ю.Черемисина, **Д.П. Митрошина**, Н.Н.Лебедева.

14.Пат. 2759120 РФ, МПК С13В 30/00. Способ производства сахара: № 2021108035: заявл. 25.03.2021: опубл.09.11.2021/ А.А.Славянский, **Д.П. Митрошина**, Н.Н. Лебедева.

15.Пат. 2774428 РФ, МПК С13В 50/00. Способ производства гранулированного сахаросодержащего продукта: № 2021134691: заявл. 26.11.2021: опубл. 21.06.2022 / Ю. В. Курнатов, В. А. Грибкова, М. В. Курнатов, А.А. Славянский, **Д.П. Митрошина**; заявитель ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».

16.Пат. 2763788 РФ, МПК С13В 30/00. Способ производства кристаллического белого сахара: №2021108036: заявл.25.03.2021: опубл.11.01.2022/ А.А. Славянский, **Д.П. Митрошина**, Н.Н. Лебедева.

17.Пат. 2771067 РФ, МПК С13В 30/10. Способ разделения утфеля первой кристаллизации в фильтрующей центрифуге периодического действия: №

2021114460: заявл.21.05.2021: опубл.26.04.2022 / А.А. Славянский, **Д.П. Митрошина**, А.Ю. Черемисина, Т.С. Бычкова; заявитель ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».

18. Пат. 2771068 РФ, МПК С13В 30/10. Способ разделения утфеля I кристаллизации в силовом центробежном поле: № 2021114459: заявл. 21.05.2021: опубл. 26.04.2022 / А.А. Славянский, **Д.П. Митрошина**, Т.С. Бычкова; заявитель ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».

19. Пат. 2771069 РФ, МПК С13В 30/00. Способ интенсификации уваривания утфеля первой кристаллизации: № 2021114457: заявл.21.05.2021: опубл. 26.04.2022/А.А. Славянский, **Д.П. Митрошина**, Е.В. Семенов, Н.Н. Лебедева; заявитель ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».

20. Пат. 2795978 РФ, МПК С13В 30/00. Способ получения затравочной суспензии: № 2022107421; заявл. 22.03.2022; опубл. 15.05.2023 / **Д.П. Митрошина**, А.А. Славянский, Н.Н. Лебедева; заявитель ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».