

На правах рукописи

БИРАРО Гебре Эгнет

**НОВЫЙ САХАРИСТЫЙ ПРОДУКТ С БАД НА ОСНОВЕ
ПОЛУПРОДУКТОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Специальность 05.18.05 – «Технология сахара и сахаристых
продуктов, чая, табака и субтропических культур»**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Научный руководитель: **Кульнева Надежда Григорьевна**
доктор технических наук, доцент
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»)

Официальные оппоненты: **Решетова Раиса Степановна**
доктор технических наук, профессор
(ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»)

Ухина Елена Юрьевна
кандидат технических наук
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I»)

Ведущая организация: **ФГБНУ «Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства», г. Курск**

Защита состоится «18» октября 2018 года в 11⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.122.07 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» по адресу: 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 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 «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» (<http://www.mgutm.ru>).

С авторефератом диссертации можно ознакомиться на сайте ВАК РФ Минобрнауки РФ по адресу: (<http://vak.ed.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» (<http://www.mgutm.ru>).

Автореферат разослан «...» августа 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
к.т.н., доцент

И.А. Никитин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Сахарный сектор является одним из крупных проектов, играющим ведущую роль в экономике Эфиопии. Страна обладает огромными человеческими и природными ресурсами, которые позволяют нации расширить экспортный сектор обрабатывающей промышленности и ее продуктивность.

Текущее ежегодное потребление сахара в Республике Эфиопия составляет от 600 до 650 т, из которых 325-400 т производится внутри страны, остальное импортируется. Для решения проблемы правительство рассматривает сахарную промышленность в качестве одного из промышленных секторов, призванных:

- устранить разрыв между спросом и предложением внутри страны;
- создать широкие возможности для работы граждан и улучшить условия их жизни;
- выйти на экспорт сахара как источник получения иностранной валюты.

Обеспечение населения РФ высококачественными продуктами питания в широком ассортименте также остается актуальной задачей. Установленная норма производства сахара из отечественного сырья не менее 80 % от общей потребности сахара 5,6 млн т в год успешно выполнена: в России в последние годы наблюдается перепроизводство сахара и возможность его экспорта в объеме не менее 800 тыс. т.

Новые документы в области продовольственной стратегии предусматривают меры по стимулированию экспорта российского продовольствия, наращиванию объемов глубокой переработки продукции, что вполне актуально в отношении дальнейшего развития свеклосахарного комплекса.

На современном этапе развития сахарной отрасли особую актуальность приобретают программы комплексной переработки сырья, рационального использования полупродуктов производства. На ряде сахарных заводов внедрены схемы по глубокой переработке мелассы (дешугаризация и производство бетаина), изучается вопрос производства пектина из сахарной свеклы и свекловичного жома. При этом за пределами рассмотрения остается возможность производства товарного продукта из полупродуктов производства – желтых сахаров. Технологические приемы позволяют повысить

выход пищевых продуктов из сырья, максимально сберечь биологически активные компоненты, повысить их доступность, создать многокомпонентные функциональные продукты.

Научная работа осуществлялась в соответствии с тематическим планом госбюджетной НИР кафедры технологии бродильных и сахаристых производств ВГУИТ (государственная регистрация № 114121670054) «Совершенствование технологических процессов бродильных и сахаристых производств с использованием физико-химических, ресурсосберегающих, биохимических методов воздействия и нетрадиционного сырья» и в соответствии с программой развития сахарного сектора республики Эфиопия.

Цель работы – изучение состава и свойств полупродуктов сахарного производства и на их основе разработка новых технологий производства биологически безопасных пищевых продуктов с заданными качественными характеристиками, комплексное использование сырья, снижение вредного воздействия отдельных химических компонентов на организм человека.

В соответствии с поставленной целью решались **следующие задачи**:

- проведение патентно-информационного поиска по теме диссертационного исследования;
- идентификация красящих веществ желтых сахаров с использованием спектрометрических и химических методов;
- совершенствование технологии переработки тростникового сахара-сырца;
- обоснование условий комбинированной очистки клеровки желтых сахаров на основе формализации процессов с использованием методов математического моделирования;
- разработка нового технического решения получения сахаросодержащего продукта с БАД на основе аффинированного желтого сахара;
- расчет экономической эффективности от внедрения способа получения сахара с добавкой порошка шиповника.

Научная новизна.Расширены информационные сведения о химическом составе и оптических характеристиках полупродуктов сахарного производства. Теоретически обоснованы и экспериментально продемонстрированы зависимости количественного состава красящих веществ желтого сахара от длительности обработки методом послойного растворения. Численные характеристики окра-

ски исследуемых образцов обработаны сканерометрическим методом в системе RGB. Экспериментально доказано, что основная масса красящих и других сопутствующих веществ располагается в пленке на поверхности кристаллов и может удаляться путем аффинации в течение 3-5 мин обработки.

Изучен качественный состав красящих веществ в кристаллах желтого сахара. Установлено, что все красящие вещества являются продуктами разложения сахаров. Преобладают среди них продукты щелочного разложения редуцирующих сахаров, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека.

Установлены закономерности физико-химического и адсорбционного способов удаления красящих веществ из растворов промежуточных сахаров тростниково-сахарного и свеклосахарного производства, обеспечивающие повышение качества готовой продукции.

Доказано на основе анализа ИК-спектров, что аффинация желтых сахаров с использованием в качестве аффинирующего раствора клеровки обеспечивает получение продукции товарного качества как основы для сахаристых продуктов с БАД.

Определены термогравиметрические характеристики исходного сырья, полупродуктов и готовой продукции, доказывающие замедление термического распада и удаления кристаллизационной влаги при использовании предлагаемой технологии получения сахаристых продуктов с БАД.

Новизна технического решения, представленного в диссертационной работе, подтверждена патентом РФ № 2647507 «Способ производства сахара».

Теоретическая и практическая значимость работы. Практическая значимость результатов исследований обусловлена разработкой технологии, направленной на снижение содержания сахарозы и усиление полезных природных компонентов в продукции сахарного производства путем обогащения ее БАД.

Разработаны и экспериментально обоснованы способы повышения качества растворов желтого сахара с использованием адсорбента (целлюлозы) и растворов электролитов. Выбраны рациональные параметры процесса: расход целлюлозы 0,05 %, концентрация смеси солей ($\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaCl}$) 0,05 % к массе раствора, что обеспечивает эффект удаления красящих веществ 8-9 %. После-

дующая переработка полученного сахарного раствора позволит повысить выход и качество готовой продукции.

Исследована возможность использования электрохимической активации растворов солей для получения клеровки желтого сахара. С использованием математических методов планирования эксперимента установлены оптимальные параметры процесса: длительность ЭХА раствора – 2,3 мин; температура раствора – 51,2 °С; концентрация солей в растворе – 0,053 %; при этом чистота продукта увеличивается на 0,4 %; эффект обесцвечивания составляет 9,5 %.

Разработана технология очистки от примесей поверхности кристаллов сахара с использованием клеровки и сиропа. На основе математических методов рассчитаны оптимальные параметры проведения обработки: концентрация раствора – 68 %, температура процесса – 70 °С, время центрифугирования – 5 мин. Это позволяет снизить цветность на 50-55 %, повысить чистоту на 1,5 %. Очищенный сахар-сырец или желтый сахар далее будут использованы для производства сахаристого продукта с БАД. Полученный при центрифугировании межкристальный раствор может быть направлен на II ступень кристаллизации, что обеспечивает рациональное использование полупродуктов и снижает потери сахарозы в производстве.

Разработана и теоретически обоснована технология получения формового сахара с БАД на основе очищенного желтого сахара в условиях: расход очищенной клеровки 15-20 %, массовая доля сухих веществ в клеровке 70 %, расход порошка шиповника 3 %.

Предложена аппаратурно-технологическая схема получения сахаристого продукта.

Способ получения сахара с добавкой порошка шиповника прошел производственные испытания на ОА «ЛИСКИСАХАР» в производственный сезон 2017/18 года.

На производство данного продукта разработаны технические условия ТУ 9111-433-02068108-2017 «Сахар, обогащенный порошком из плодов шиповника. Технические условия».

В условиях ВГУИТ проведена апробация результатов диссертационной работы при проведении занятий со студентами направления «Продукты питания из растительного сырья» по дисциплинам «УИРС» для бакалавров и «Методы интенсификации технологических процессов свеклосахарного производства» – для магистров с последующим внедрением методик в учебный процесс.

Научные положения, выносимые на защиту:

- результаты экспериментальных исследований качественного и количественного состава красящих веществ желтого сахара, которые послужили теоретической основой разработки способов их удаления из полупродуктов путем адсорбционной, аффинационной очистки и применения растворов электролитов;

- сенсорные, оптические и термографические характеристики исходного желтого сахара, промежуточного очищенного сахара и готового продукта с добавкой порошка шиповника, подтверждающие эффективность технологических решений;

- техническое решение по аффинационной очистке кристаллов тростникового сахара-сырца и желтого сахара, обеспечивающее удаление окрашенных соединений как продуктов разложения сахарозы и сохранение части минеральных и азотистых веществ в продуктах, что создает основу для получения сахара с биологически активными добавками.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует п. 2 и 4 паспорта специальности 05.18.05 - «Технология сахара и сахаристых продуктов, чая, табака и субтропических культур».

Степень достоверности и апробация результатов. Фундаментальные положения и основной интеллектуальный смысл диссертационной работы представлялись и обсуждались на международных научно-практических и научно-технических конференциях: Междунар.науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество», Новосибирск, 2016-2017; II Междунар. науч.-практ. конф.«Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», Воронеж, 2016-2017; Всерос.науч.-практ.конф.«Физическая и коллоидная химия – основа новых технологий и современных методов анализа в химической и пищевой отраслях промышленности», Воронеж, 2016; II Междунар. науч.-практ. конф.«Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств», Воронеж, 2016; II Междунар.науч.-практ.конф. «Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья», Воронеж, 2016-2017; II Междунар. науч.- техн. конф. «Стандартизация, управление качеством и обеспечение информационной безопасности в перерабатывающих отраслях АПК и машиностроении»,

Воронеж, 2016; науч.конф. с междунар. участием«Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука», Москва, 2017; Всерос. науч.конф. перспективных разработок молодых ученых«Молодежь и наука: шаг к успеху», Курск, 2017; VI Междунар. науч.-техн. конф.«Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений», Воронеж, 2017; отчетные научные конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2015-2017 годы.

Публикации. Материалы диссертационных исследований представлены в 27 работах, в том числе 4 – в журналах, рецензируемых ВАК Минобрнауки РФ, получен 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает Введение, 6 глав, основные выводы и рекомендации, список литературы и информационных интернет-источников из 156 наименований, в том числе 29 – на иностранных языках, приложение – на 33 с. Объем основного текста включает 165 страниц машинописного текста, 52 таблицы и 66 рисунков.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в анализе литературы и информационных источников по тематике диссертационного исследования, постановке, реализации и обработке результатов экспериментов по изучению химического состава и оптических характеристик полупродуктов сахарного производства, разработке физико-химического и адсорбционного способов удаления красящих веществ из растворов, технологии аффинационной очистки от примесей поверхности кристаллов сахара с использованием клеровки и получения на основе аффинированного желтого сахара сахаросодержащих продуктов с БАД. Автором разработана техническая документация на новый продукт, проведено патентование разработки, апробация и внедрение разработанной технологии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость выполненных исследований, изложены основные положения, представляемые к защите.

В первой главе охарактеризовано состояние мирового и отечественного рынков сахара, проведен патентно-информационный поиск и обобщены сведения научно-технической литературы и интернет-источников о требованиях нормативной документации к качеству сахара. Проведен обзор современного ассортимента сахаросодержащих продуктов. Рассмотрены биологические активные добавки и их использование при получении сахаросодержащих продуктов. Приведен анализ красящих веществ, образующихся в условиях сахарного производства, и способы их удаления. На основании проведенного анализа обоснован выбор объекта исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены методы их решения.

Во второй главе описаны основные объекты, исследуемые показатели и методы их определения, приведена структурно-логическая схема исследований (рисунок 1).



Рисунок 1 –Проблемно-целевая структура работы

Объектами исследования являлись желтый сахар III степени кристаллизации и сироп из выпарной установки, отобранные на

Лискинском сахарном заводе Воронежской области и Балашовском сахарном заводе Саратовской области, а также тростниковый сахар-сырец Республики Эфиопия.

В качестве материалов для исследования использовали плоды шиповника в соответствии с требованиями ГОСТ 1994-93 «Плоды шиповника. Технические условия». Из них получали порошок шиповника, качество которого регламентируется ТУ 9721-153-02068108-2014 «Порошок из плодов шиповника. Технические условия».

Методы исследований включали определение общих микробиологических и физико-химических показателей, специальных показателей и математическую обработку.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований качественных и количественных характеристик красящих веществ желтых сахаров.

Проведена серия опытов по исследованию характера распределения окрашенных веществ в кристаллах желтого сахара, отобранного на сахарных заводах Воронежской области. Кристаллы нормированного размера обрабатывали насыщенным раствором белого сахара. Для оценки численных характеристик окраски исследуемых образцов применили сканерометрический метод с использованием планшетного сканера HP ScanJet 3570C с последующей компьютерной обработкой изображений в цветовом режиме RGB (рисунок 2).

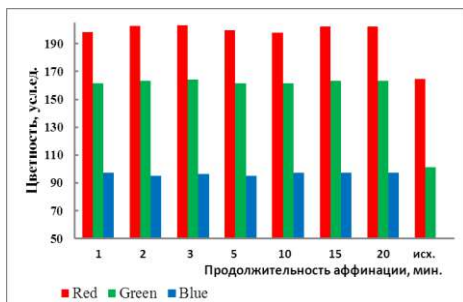


Рисунок 2 – Соотношение цветовых компонент для образцов сахара при различной продолжительности обработки

Полученные результаты свидетельствуют, что эффективное удаление окрашенных веществ происходит в течение 2-3 мин обра-

ботки, что соответствует их максимальному содержанию в пленке на поверхности кристаллов. При этом цветность желтого сахара снижается с 625 до 130-230 единиц оптической плотности, а цветность межкристального раствора повышается с 20 до 900-1600 единиц оптической плотности. Это подтверждает существующее в заводской практике убеждение, что основное количество красящих веществ находится в пленке межкристального раствора на поверхности.

С использованием метода послойного растворения получены кинетические зависимости цветности фракций сахара от количества обработок (рисунок 3).

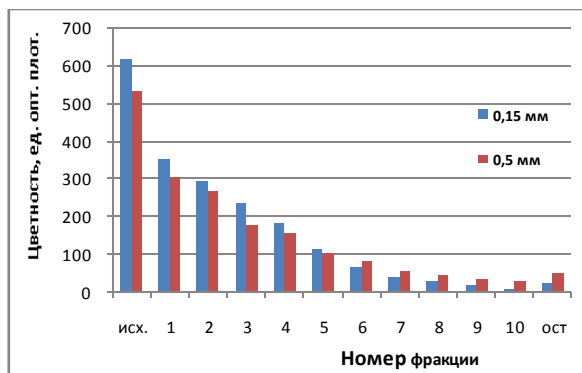


Рисунок 3 – Результаты обработки различных фракций желтого сахара насыщенным водно-спиртовым раствором сахарозы

Полученные данные позволяют сделать вывод, что большая часть окрашенных веществ желтого сахара (70-90 %) находится на поверхности кристаллов. Уже при первой обработке удаляется 42,5-43,0 % окрашенных веществ, при второй – 12-16 %, при третьей – 20-34 %. Последующие обработки дают небольшое снижение цветности, после 10 цветность межкристального раствора приближается к цветности раствора, используемого для обработки. Оставшиеся после обработки кристаллы сахара содержат примерно 5-10 % окрашенных веществ от их количества в исходной фракции.

Из приведенных результатов видно, что окрашенные вещества в кристаллах желтого сахара распределены по всей их массе.

Причем чем меньше размер кристаллов, тем выше эффект удаления. Это дает основание предположить, что основную роль при включении окрашенных веществ в кристаллы сахара III кристаллизации продукта играет окклюзия.

Для выяснения состава красящих веществ в кристаллах желтого сахара определяли поглощение света каждой фракцией кристаллов на спектрофотометре UV-1240 mini (Shimadzu) в ультрафиолетовой области (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание отдельных групп красящих веществ во фракциях желтого сахара III кристаллизации

Продукт	Содержание красящих веществ, г/дм ³		
	Продукты щелочного распада	Карамелан	Меланоидины
Желтый сахар исходный	3,1676	0,3680	0,2950
Фракция 0,75 мм	3,0172	0,2817	0,2779
Фракция 0,5 мм	2,8132	0,2805	0,2427
Фракция 0,15 мм	3,3016	0,2948	0,2897

Экспериментально установлено, что содержание всех групп красящих веществ хорошо коррелирует с размером кристаллов: меньше всего содержит фракция размером 0,5 мм; в кристаллах большего и меньшего размера содержание всех групп окрашенных веществ повышается. Преобладающими являются продукты щелочного разложения редуцирующих веществ: их содержание в 10 раз выше, чем карамелей и меланоидинов, что хорошо согласуется с условиями проведения технологических процессов сахарного производства.

Для определения качественного состава красящих веществ желтого сахара исследовали их водные, ацетатные и этилацетатные экстракты в ультрафиолетовой области (рисунок 4).

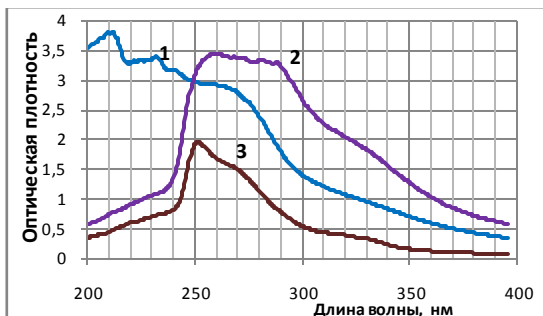


Рисунок 4 – Спектр поглощения красящих веществ экстрагированных: 1 – дистиллированной водой; 2 – уксусной кислотой; 3 – уксусно-этиловым эфиром

Водный экстракт имеет несколько максимумов поглощения при длинах волны 210, 232 и 240 нм, что свидетельствует о сложном составе компонентов, входящих в его состав. Можно предположить, что максимумы поглощения при длине волны 210 нм обусловлен присутствием карбонильной группы, а также α , β -ненасыщенных карбоновых кислот или их производных; при длине волны 232-240 нм – α , β -ненасыщенными оксосоединениями; при длине волны 250-280 – сопряженными π -связями.

Максимумы поглощения ацетатного экстракта обусловлены присутствием окрашенных веществ неидентифицированного строения с гидроксильными группами и электродонорными атомами (например, азота), образующими сольваты с карбоксильной группой уксусной кислоты, а также предельными альдегидами или кетонами. Для экстракта этилацетата отмечается максимум поглощения при длине волны 253 нм, что связано с присутствием α , β -ненасыщенных оксосоединений. Небольшой максимум при длине волны 270 нм обусловлен карбонильными соединениями.

Отмеченные максимумы поглощения для водного, ацетатного и этилацетатного экстрактов не совпадают, что свидетельствует о присутствии в них веществ различного химического состава.

Проведенные исследования и сведения из литературных источников позволяют представить состав окрашенных веществ сахарного производства как совокупность различных органических веществ, представленных азотистыми и безазотистыми соедине-

ниями. Для их удаления из сахарных растворов можно применять адсорбционную и аффинационную обработку, перекристаллизацию и другие методы.

В четвертой главе изложены результаты экспериментальной работы по очистке тростникового сахара-сырца и растворов желтых сахаров.

Проведена сравнительная оценка эффективности известково-углекислотной (таблица 2) и аффинационной обработки сахара-сырца Республики Эфиопия. В результате известково-углекислотной очистки раствора тростникового сахара-сырца наблюдается снижение содержания редуцирующих веществ на 87,93 %, окрашенных соединений – на 47,14 %, повышение чистоты раствора – на 1,2 %, что свидетельствует об эффективности данного технологического приема.

Таблица 2 - Результаты анализа исходной и очищенной клеровки тростникового сахара-сырца

Клеровка	Массовая доля сухих веществ, %	Содержание сахара по массе СВ, %	Цветность, ед. опт.пл от.	Массовая доля солей кальция, % СаО	Массовая доля редуцирующих веществ, %	рН
Исходная	55,0	96,7	652,02	0,063	0,760	6,5
Очищенная	55,6	97,9	344,66	0,216	0,0917	9,0

Обработка сопровождается большим расходом известняка и топлива на его обжиг, а почти полное разложение редуцирующих веществ приводит к накоплению органических кислот, что влияет на термоустойчивость раствора и его способность к потемнению.

В связи с этим проводили аффинацию сахара-сырца. В качестве аффинирующего раствора в отличие от традиционной схемы использовали клеровку сахара-сырца с содержанием сухих веществ 70 %. В результате аффинационной очистки тростникового сахара-сырца редуцирующие вещества удаляются на 96,67 %, красящие вещества – на 52,92 %. Увеличивается чистота сахара-аффинада по сравнению с исходным сахаром-сырцом на 2,4 %.

В процессе аффинации сахара-сырца основное количество примесей с поверхности кристаллов переходит в аффинационный оттек, который необходимо очистить. После известково-углекислотной обработки аффинационного оттека происходит снижение его цветности на 80,2 %, редуцирующих веществ – на 96,87 %, повышение чистоты – на 10,55 % по сравнению с исходным оттеком после аффинации. Такой продукт можно использовать на II ступени кристаллизации сахарозы.

Экспериментально установлено, что рациональный расход извести на известково-углекислотной очистку аффинационного оттека – 3 %. Учитывая, что масса аффинационного оттека в 2 раза меньше, чем масса исходной клеровки сахара-сырца, расход извести на его очистку пропорционально снижается.

Исследована возможность адсорбционной очистки клеровки желтого сахара с использованием целлюлозы и растворов электролитов. Высокий эффект совмещенного адсорбционного и химического обесцвечивания раствора обусловлен наличием солей сернистой кислоты, которая блокирует образование окрашенных веществ. Целлюлоза имеет высокое сродство с красящими веществами и адсорбирует их на поверхности волокон. Однако значительно больший эффект обесцвечивания достигается за счет совмещенного использования смеси солей Na_2SO_3 и NaCl и адсорбционной очистки (рисунок 5).

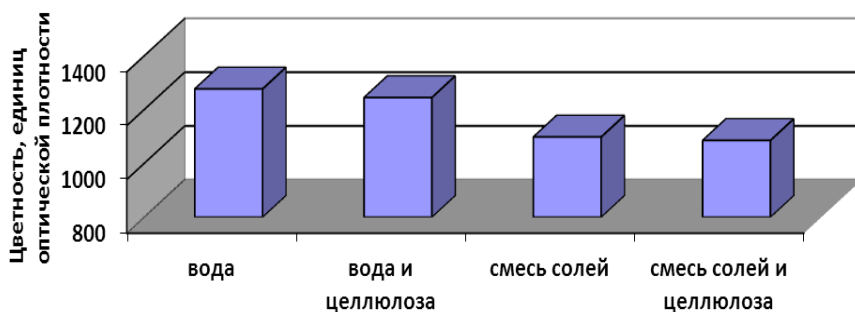


Рисунок 5 – Цветность клеровки желтого сахара при различных способах ее получения

Растворы электролитов, используемые для клерования желтого сахара, подвергали электрохимической активации (ЭХА) (рисунок б).

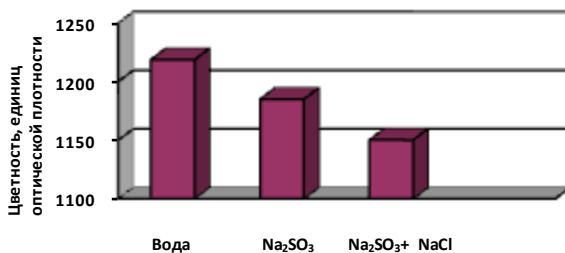


Рисунок б – Сравнение цветности растворов желтого сахара, приготовленных на ЭХА жидкостях различного состава

При электрохимической активации происходит изменение некоторых параметров раствора: электропроводности, вязкости, pH и окислительно-восстановительного потенциала; в ЭХА растворе появляются новые соединения, он обладает дезинфицирующими свойствами.

Экспериментально установлено, что комбинированный способ получения клеровки желтого сахара с использованием электрохимически активированного раствора смеси солей (Na₂SO₃ + NaCl) с последующей обработкой целлюлозой помимо снижения цветности на 10,36 %, позволяет повысить её чистоту на 0,6 %, что повышает выход и качество белого сахара.

Для выбора оптимальных параметров комбинированной обработки клеровки желтого сахара использовали математические методы планирования эксперимента. Для оценки адекватности математической модели был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) эксперимента в программе Design Expert v.10 и получены уравнения регрессии:

- для чистоты клеровки:

$$y_1 = 98.218 + 0.544x_1 - 0.106x_2 + 0.019x_3 + 0.070x_1x_2 + 0.033x_1x_3 + 0.433x_2x_3 - 0.689x_1^2 - 0.546x_2^2 - 0.286x_3^2$$

- для цветности клеровки:

$$y_2 = 1814.048 - 21.077x_1 - 18.728x_2 - 8.781x_3 + 9.129x_1x_2 + 4.069x_1x_3 + 8.126x_2x_3 + 91.549x_1^2 + 54.877x_2^2 + 26.667x_3^2$$

где x_1 – продолжительность ЭХА-обработки, мин; x_2 – температура ЭХА раствора перед растворением, °С; x_3 – концентрация раствора реагента перед ЭХА, %.

В результате оптимизации получили значения выходных параметров: чистота $Y_1 = 98,2$ %, цветность $Y_2 = 1814$ ед. опг.плот. при длительности ЭХА раствора 2,267 мин; температура раствора – 51,2 °С; концентрация солей в растворе – 0,0528 %.

В пятой главе обоснованы и выбраны оптимальные условия очистки поверхности желтых сахаров с целью получения на их основе сахаристого продукта с БАД. В связи с этим изучена возможность применения новых аффинирующих растворов, которые обеспечивают высокие показатели качества аффинированного сахара и рациональное использование полупродуктов сахарного производства.

Для исследования применяли сироп после выпарной установки и раствор желтого сахара (рисунок 7). Установлено, что лучшие показатели аффинированного сахара наблюдаются при проведении аффинации раствором желтого сахара.

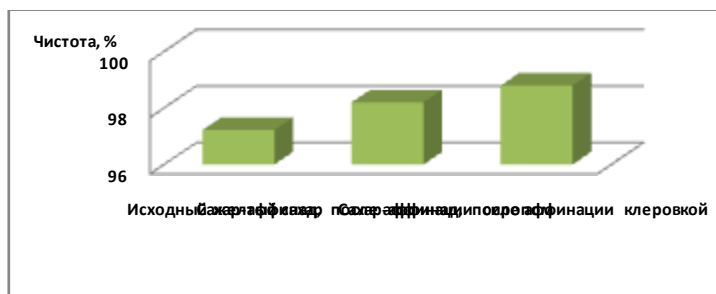


Рисунок 7 – Чистота очищенного сахара в зависимости от способа проведения аффинации

В процессе центрифугирования низкая вязкость и высокая чистота данного раствора обеспечивают высокий эффект промывки кристаллов. Основная масса несугаров и окрашенных веществ, которые находятся в пленке на поверхности кристаллов, в процессе центрифугирования переходят в аффинационный оттек, за счет чего цветность сахара снижается на 51,48 %, а чистота повышается на 1,5 %.

Выбор оптимальных параметров аффинации желтого сахара проводили на основе математических методов планирования эксперимента. Основные контролируемые параметры процесса: x_1 – концентрация аффинирующего раствора, %; x_2 – температура аффинирующего раствора, °С; x_3 – время центрифугирования, мин. Критериями оценки влияния данных факторов на процесс аффинации являлись: Y_1 – чистота сахара-аффинада, %; Y_2 – цветность сахара, ед. опт. плот.; Y_3 – цветность оттека, ед. опт. плот. Графическая интерпретация уравнений регрессии, отражающая степень влияния входных параметров X_i на выходные Y_j , приведена на рисунке 8.

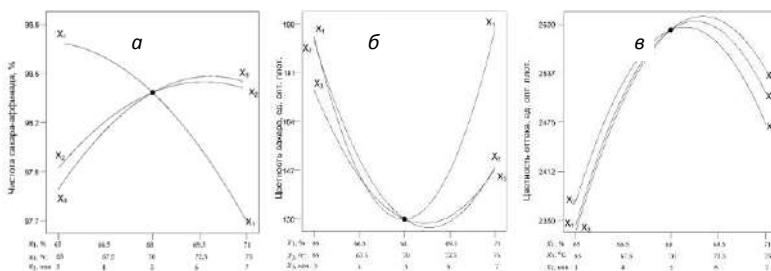


Рисунок 8 – Графическая интерпретация влияния входных параметров X_i на выходные Y_j : *а* – для чистоты сахара-аффинада, %; *б* – для цветности сахара, ед. опт. плот.; *в* – для цветности оттека, ед. опт. плот.

Проведены исследования по влиянию аффинационной очистки на эффективность удаления микрофлоры. В образцах исходного желтого сахара и сахара после аффинации определяли общее микробное число, содержание слизиобразующих, термофильных бактерий, плесеней и дрожжей (таблица 4).

Таблица 3 – Результаты микробиологического исследования исходного желтого сахара и сахара после аффинационной очистки

Вид микроорганизмов	Микробиологические показатели сахара, КОЕ/г	
	Желтый сахар	Аффинированный сахар
КМАФАнМ	$2,1 \cdot 10^5$	$9,6 \cdot 10^4$
Слизеобразующие	$1,18 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^4$
Термофильные	5	0
Плесневые грибы	$1 \cdot 10^3$	0
Дрожжи	$3 \cdot 10^3$	0

Установлено, что микрофлора сахара представлена преимущественно slimeобразующими палочками и микрококками, среди которых преобладает *Bacillus megaterium*, присутствуют единичные клетки *Leuconostoc mesenteroides*. Содержание slimeобразующей микрофлоры при аффинации желтого сахара сокращается почти в 3 раза, при этом общее микробное число снижается в 2,2 раза. Термофильные микроорганизмы, дрожжи и плесени (микросциеты *Penicillium*) в желтом сахаре содержатся в небольшом количестве, в процессе аффинации удаляются полностью.

Эффективное применение аффинированного желтого сахара видится в производстве сахаросодержащих продуктов с добавками биологически активных веществ, что расширяет ассортимент продуктов в соответствии с растущими потребностями населения.

В шестой главе приведены результаты исследований по разработкеспособа получениясахаросодержащего продукта с добавкой порошка шиповника. Данная категория пищевых продуктов может конкурировать с импортным коричневым сахаром по содержанию полезных компонентов, стоимости и широкому ассортименту.

Экспериментально установлено, что для получения формового сахара рационально использовать сироп из сахара категории ТС2 концентрацией 70-75 % в количестве 15-20 % к массе аффинированного сахара. Расход порошка шиповника составляет 3 %. При этом раствор готового продукта обладает сбалансированным вкусом и ароматом, хорошей механической прочностью, невысокой продолжительностью растворения, цветностью и мутностью. Результаты определения активности воды подтвердили пригодность данного продукта к хранению (рисунок 9).

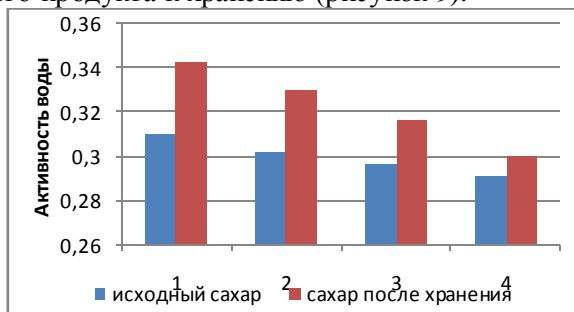


Рисунок 9 – Активность воды в образцах сахара: 1 – без добавки; с добавкой порошка шиповника: 2 - 1 %; 3 – 3 %; 4 – 5 %

Для экспертизы сахара использовали прибор «Электронный нос», имеющий набор сенсоров, взаимодействующих с газовой смесью и реагирующих на разные пахучие компоненты (одоранты) в её составе. Суммарный аналитический сигнал формируется с применением интегрального алгоритма обработки сигналов 8 сенсоров в виде «визуального отпечатка» (рисунок 10).

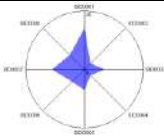
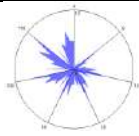
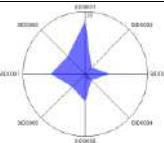
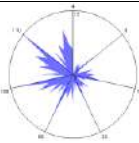
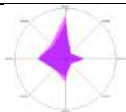

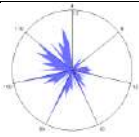


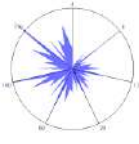

«Визуальный отпечаток» максимумов	Кинетический «визуальный отпечаток»	Сравнение с пробой «сахар белый»
Сахар белый		
		
Сахар желтый исходный		
		 Относительная разность площадей 21%
Сахар аффинированный		
		 Относительная разность площадей 28%
Сахар желтый с БАД		
		 Относительная разность площадей 38 %

Рисунок 10 - «Визуальные отпечатки» сигналов сенсоров в РФФ над пробами сахара

Различия в качественном и количественном составе запаха проб сахара 1 и 2-4 превышают 20 %. Наиболее близки по составу пробы 2 и 3, ярко выражено отличие от сахара белого пробы сахара с добавкой шиповника.

Предложен способ экспертизы сахара, позволяющий сократить расход анализируемого продукта, продолжительность анализа, получать более объективные и воспроизводимые результаты.

Получены термогравиметрические и калориметрические показатели в численном и графическом виде с использованием прибора синхронного анализа STA-449 для белого, желтого, аффинированного сахаров и аффинированного сахара с добавкой порошка шиповника (рисунок 11).

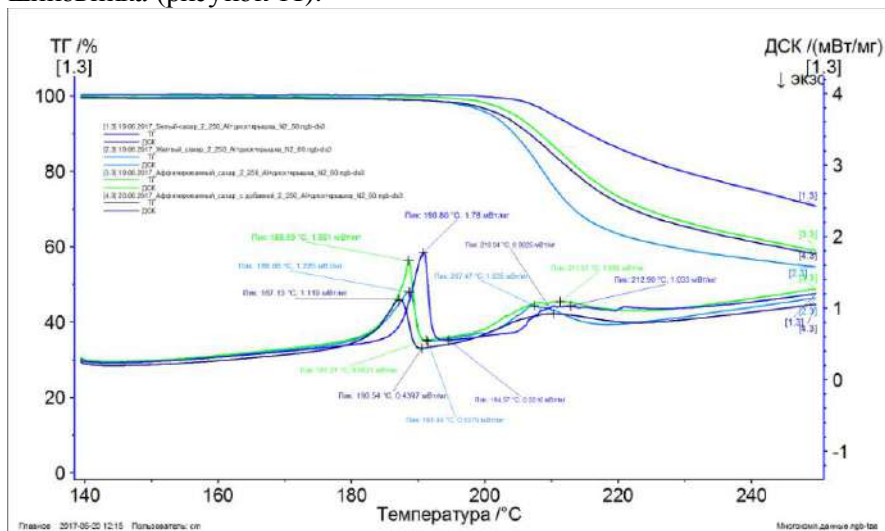


Рисунок 11 – Термограммы для белого, желтого, аффинированного сахаров и аффинированного сахара с добавкой порошка шиповника

В желтом сахаре присутствие значительного количества примесей, в том числе редуцирующих и окрашенных веществ, значительно ускоряет процесс его термического разложения. Проведение аффинации повышает термостойкость сахара.

Анализ образцов белого, желтого, аффинированного сахара и аффинированного желтого сахара с добавкой шиповника осуществляли с применением метода ИК-Фурье-спектроскопии. Спектр аффинированного желтого сахара практически не отличается от спектра сахарозы. На спектре желтого сахара видны дополнительные слабые пики, характерные для азотсодержащих соединений и аминов, вероятно, это пики меланоидинов. Спектр аффинированного желтого сахара с добавкой шиповника содержит пики, харак-

терные для карбоновых кислот, альдегидов и кетонов, что обусловлено химическим составом шиповника.

На аффинированный желтый сахар с добавкой порошка шиповника разработаны технические условия ТУ 9111-433-02068108-2017 «Сахар, обогащенный порошком из плодов шиповника. Технические условия».

Предложено техническое решение по производству сахаросодержащего продукта с БАД на основе аффинированного желтого сахара (патент РФ № 2647507 «Способ производства сахара»). Данное техническое решение апробировано на ОА «ЛИСКИСАХАР».

Рассчитан ожидаемый экономический эффект от реализации технического решения по получению сахаросодержащего продукта с добавкой порошка шиповника для сахарного завода производственной мощностью 6 тыс. т свеклы в сутки: при переработке 1 % аффинированного желтого сахара в сахаросодержащий продукт экономический эффект на 1 т сахара с добавкой порошка шиповника составит 84,1 тыс. р.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Обобщен опыт производства сахара с добавками с формированием цели и задач исследования.

2. Проведен анализ качественного и количественного состава желтых сахаров. Установлена химическая природа красящих веществ (вещества неидентифицированного строения с гидроксильными группами и электродонорными атомами (в частности, азота), образующими сольваты с карбоксильной группой уксусной кислоты, а также предельных альдегидов или кетонов, α , β -ненасыщенных оксосоединений и карбонильных соединений), которые могут оказывать нежелательное влияние на здоровье человека и требуют разработки способов их удаления.

3. Разработан рациональный способ очистки тростникового сахара-сырца Республики Эфиопия от примесей, который обеспечивает заметное снижение содержания несахаров, позволяет увеличить чистоту на 2,4 %. Данный способ обеспечивает сохранение остаточного количества редуцирующих и минеральных соединений, позволяет использовать как полупродукт для получения сахара, обогащенного биологически активными веществами.

4. С целью удаления примесей из растворов желтых сахаров рационально использовать адсорбенты (целлюлозу) и растворы

электролитов. Обоснованы параметры процесса: расход целлюлозы 0,05 %, концентрация смеси солей ($\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{NaCl}$) – 0,05 % к массе раствора, что обеспечивает эффект удаления красящих веществ 8-9 %. Повышение эффективности очистки раствора желтого сахара возможно с использованием электрохимически активированного раствора солей. С использованием математического планирования эксперимента определены оптимальные параметры процесса, позволяющие достигнуть увеличения чистоты на 0,4 %; эффекта обесцвечивания – на 9,5 %.

5. Разработана технология аффинационной очистки желтого сахара, базирующаяся на применении в качестве аффинирующего раствора клеровки желтого сахара. С использованием математических методов рассчитаны оптимальные параметры проведения обработки, позволяющие снизить цветность на 50-55 %, повысить чистоту на 1,5 %. Полученный аффинированный желтый сахар рекомендуется использовать как основу для производства сахаросодержащих продуктов с БАД, при этом аффинационный оттек направляется на II ступень кристаллизации, что обеспечивает рациональное использование полупродуктов и снижает потери сахарозы в производстве. Эффективность аффинационной очистки подтверждается результатами микробиологических исследований.

6. Предложена новая технология получения формового сахара с БАД на основе аффинированного желтого сахара. Подобраны рациональные условия получения продукта: расход сиропа из сахара категории ТС2 – 15-20 %, массовая доля сухих веществ в сиропе – 70 %, расход порошка шиповника – 3 %. На основе методов дифференциально-термического анализа и ИК-спектроскопии доказана целесообразность проведения аффинационной очистки желтого сахара и возможность использования его для получения сахара с БАД. Обосновано использование в качестве БАД порошка шиповника, что подтверждается результатами определения активности воды.

7. Выполнен расчет ожидаемого экономического эффекта при использовании аффинационной очистки желтого сахара с последующей переработкой 1 % его в сахар с БАД. Эти мероприятия позволят получить экономический эффект на 1 т сахара с добавкой порошка шиповника 84,1 тыс. р. при сроке окупаемости проекта 58 суток для сахарного завода производственной мощностью 6000 т переработки свеклы в сутки.

Список работ, опубликованных по материалам диссертации

Статьи в журналах, рецензируемых ВАК Минобрнауки РФ

1. Оценка микробиологической обсемененности полупродуктов свеклосахарного производства / Н.Г. Кульнева, О.Ю. Гойкалова, А.И. Шматова, БирароГэбреЭгнет // Сахар.- 2016. - № 5. – С. 41-43.
2. Исследование цветовых характеристик полупродуктов сахарного производства / Н.Г. Кульнева, Г. Э. Бираро, П. Н. Саввин, Н.Н. Лобачева // Вестник ВГУИТ.- 2017. - № 1. – С.300-304.
3. Разработка и обоснование способа получения сахара с биологически активными добавками / Н.Г. Кульнева, А.С. Губин, Г.Э. Бираро // Сахар.- 2018. - № 5. – С.10-13.
4. Анализ красящих веществ желтых сахаров свеклосахарного производства / Н.Г. Кульнева, В. М. Болотов, Г. Э. Бираро // Вестник ВГУИТ.- 2018. - № 2. – С.60 - 67.

Статьи и материалы конференций

5. Повышение активности растворов для клерования желтых сахаров / Н.Г.Кульнева, Г.Э. Бираро, Ю.С.Куценко // Инновационные технологии в науке нового времени: сборник статей Междунар. науч.- практ. конф. – В 2 ч. Ч.2 - Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. –С.23-25.
6. Адсорбционная очистка концентрированных сахарных растворов / Н.Г. Кульнева, Ю.С. Куценко, Г.Э. Бираро // Пища. Экология. Качество: труды XIII Междунар.науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2016. – В 3 т. – Т.2. – С.159-162.
7. Использование ЭХА растворов для клерования желтых сахаров / Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Ю.С. Куценко, Е.Н. Астапова, Д.А. Шевгунова // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2016.– С.129-133
8. Пути повышения качества сахара / Н.Г.Кульнева, Г.Э. Бираро, Ю.С.Куценко, Е.Ю.Авдеева,О.М. Карасева // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2016.– С.133-136.

9. Пути повышения качества клеровок желтых сахаров / Н. Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Ю.С. Куценко // Материалы LIV отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2015 год. – С.58.

10. Дополнительная очистка полупродуктов, определяющих качество белого сахара / Н.Г.Кульнева, Ю.С.Куценко, Г.Э. Бираро, Е.Н. Астапова //Экономика. Инновации. Управление качеством. - 2016. -№ 3 (16). -С. 16-17.

11. Физико-химическая очистка концентрированных сахарных растворов в производстве сахара/ Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Е.Н. Астапова, Ю.С. Куценко // «Физическая и коллоидная химия – основа новых технологий и современных методов анализа в химической и пищевой отраслях промышленности»: матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. - С.21-25

12. Электрохимическая активация растворов для растворения желтых сахаров / Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Е.Н. Астапова, Ю.С. Куценко, Д. Шевгунова // Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. - С. 425-429.

13. Комбинированная очистка клеровки желтых сахаров / Н.Г. Кульнева, Е.Н. Астапова, Г. Э. Бираро, Е.Ю. Авдеева // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сборник научных статей и докладов II Междунар. науч.-практ. конф. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. –С.377-380.

14. Технологическое решение по очистке клеровки желтого сахара низкого качества / Н.Г. Кульнева, А.А. Швецов, Г. Э. Бираро, Е.Н. Астапова //Стандартизация, управление качеством и обеспечение информационной безопасности в перерабатывающих отраслях АПК и машиностроении: матер. II Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – С.59-63.

15. Технология получения сахаристого продукта с добавками биологически активных веществ / Н.Г.Кульнева, Г.Э. Бираро, Ю.С.Куценко,Е.Н. Астапова // Научная конференция с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука». - М.: МГУПП, 2017. – С.80-81.

16. Разработка технологии получения сахаросодержащего продукта с добавками биологически активных веществ / Н.Г. Кульнева, Г.Э. Эгнет, Ю.С. Куценко // Материалы LV отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2016 год: В 3 ч. Ч. 1.– Воронеж: ВГУИТ, 2017. – С.68-70.

17. Аффинация как эффективный способ повышения качества и выхода сахара / Г.Э. Бираро, Ю.С.Куценко,Н.А.Белогурова, Д.А. Шевгунова // МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: ШАГ К УСПЕХУ: сборник научных статей Всерос. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. -В 3 т. Т. 2.-Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. - С.298-300.

18. Разработка технологии получения сахара с биологически активными добавками /Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Ю.С.Куценко, Е.Н. Астапова // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: матер. III Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – С.64-68.

19. Выбор параметров аффинации желтого сахара / Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Н.А. Белогурова, Д.А. Шевгунова // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2017. - № 1. – С.30-31.

20. Технология сахара с БАД на основе полупродуктов сахарного производства / Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Е.Н. Астапова, Д. Короткова// Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сборник научных статей и докладов. – Воронеж, 2017. – С.87-91.

21. Определение стойкости при хранении формового сахара по активности воды / Н. Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, И. М. Жаркова, Д. А. Шевгунова, Н.А. Белогурова // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сборник научных статей и докладов. – Воронеж, 2017. – С.92-94.

22. Технология сахара с добавкой порошка шиповника / Н.Г. Кульнева,Г.Э. Бираро, Е.Н. Астапова,Д.А. Шевгунова //В сборнике: Пища. Экология. Качество. Труды XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2017. - С. 340-343.

23. Выбор способа аффинации желтого сахара / Н.Г. Кульнева,Г.Э. Бираро, Д.А.Шевгунова,Н.А.Белогурова// IV Междунар.науч.-техн. конф. (заочная) «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» [Электронный ресурс].- Воронеж: ВГУИТ, 2017. – С.105-109.

24. Выбор оптимальных параметров аффинации с использованием математических методов планирования / Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Е.Н. Астапова, Д.А. Шевгунова //Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. - Воронеж: ВГУИТ, 2017. -С.995-999.

25. Выбор параметров очистки желтого сахара / Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Д.А. Шевгунова, Н.А. Белогурова // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрени : матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. - С.358-363.

26. Пути повышения входа и качества белого сахара/ Н.Г. Кульнева, Г.Э. Бираро, Е.Н. Астапова,Н.А. Белогурова, Д.А. Шевгунова// Экономика. Инновации. Управление качеством. -2016. -№ 4 (16). -С. 44-46

Патенты

27. Пат. 2647507 РФ С13В 30/14 (2011.01) Способ производства сахара/ КульневаН.Г., Бираро Г.Э., Куценко Ю.С., Астапова Е.Н.; Воронеж.гос. ун-т. инж. технол. –№ 2016143510; заявл. 07.11.2016; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.

Подписано в печать 15.08. 2018. Формат 60 x 84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)
Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
Адрес университета и отдела полиграфии:
394036, Воронеж, пр. Революции, 19