

На правах рукописи



Михалева Ирина Сергеевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
БЕЛОГО САХАРА**

4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел – 2026

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Курский федеральный аграрный научный центр».

Научный руководитель: кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Егорова Марина Ивановна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии сахаристых веществ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Кульнева Надежда Григорьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных технологий продуктов из растительного сырья ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»
Лебедева Наталья Николаевна

Ведущая организация: **ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»**

Защита состоится «29» июня 2026 года в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.2.353.05 при ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<https://oreluniver.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95, e-mail: simonenkova1@mail.ru.

Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» <https://oreluniver.ru> и в сети «Интернет» на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.gisnauka.ru> «27» апреля 2026 года.

Автореферат разослан «12» мая 2026 г.

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



А.П. Симоненкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Объемы производства белого сахара в России ежегодно достигают 5,8...7,2 млн т, что обеспечивает продовольственную безопасность страны по данному продукту и удовлетворяет потребности населения и экономики. Требования к белому сахару установлены в ГОСТ 33222 «Сахар белый. Технические условия» и включают минимальный набор показателей, отражающих его качество с дифференциацией по разным категориям. Структура потребления сахара, которая в течение многих десятилетий была ориентирована в основном на прямые покупки населением, существенно изменилась, доля промышленного потребления сахара при производстве продуктов питания превышает покупки населения и достигает 60 %. Линейка продуктов питания характеризуется динамикой обновления ассортимента и расширения конкурентного ряда, персонализацией в удовлетворении спроса потребителей. При этом формируются индивидуальные дополнительные требования к сахару, отражающие потребительские предпочтения отраслей пищевой промышленности.

Свеклосахарная отрасль страны является лидером в мире по производству белого свекловичного сахара, динамично развивается и усиливает экспортный потенциал до 1 млн т в год. На многих предприятиях сахарной промышленности действуют системы менеджмента качества и безопасности, некоторые поддерживают лишь управление безопасностью сахара по принципам ХАССП. Контроль сахара по дополнительным показателям качества, определяющим спрос со стороны промышленных потребителей, а также соответствующий контроль технологического потока его производства не реализуется. Дальнейшее сохранение вектора развития отрасли, предусматривающее усиление и совершенствование роли комплексного подхода к обеспечению контроля качества и безопасности продукции с реформатированием внутреннего контроля технологического потока для производства белого свекловичного сахара заданного качества является актуальным на сегодняшний день.

Степень разработанности темы. Исследованию проблем, связанных с аспектами качества сахара и его конкурентоспособности на мировом рынке, посвящены научные труды А.А. Славянского, Н.Г. Кульневой, Л.И. Чернявской, С.М. Петрова, Н.М. Подгорновой, В.И. Тужилкина, Н.М. Даишевой. В исследованиях К.Б. Гурьевой, Е.А. Тарасовой, Н.Н. Лебедевой, М.В. Сидак уделено внимание анализу промышленного потребления сахара и требованиям к нему промышленных потребителей. В то же время в научной литературе отсутствуют систематизированные данные о фактических физико-химических показателях белого свекловичного сахара, взаимосвязи характеристик показателей качества сахара и параметров полуфабрикатов технологического потока его производства. Научные основы в области химического контроля свеклосахарного производства были заложены П.М. Силиным, Н.П. Силиной. Значительный вклад в развитие теории и практики контроля свеклосахарного производства внесли О.А. Герасименко, А.Р. Сапронов, Н.А. Архипович, А.А. Славянский, И.Ф. Бугаенко, Г.П. Волошаненко, Я. Добжицкий, Л.И. Чернявская, Н.Д. Лукин и др. Их исследования 50-70-х гг. XX в. легли в основу действующей схемы технологического контроля, основанной на единых подходах, применяемых при производстве продуктов питания. Новые взгляды по созданию в отраслях пищевой промышленности различных интегрированных систем в русле комплексного подхода к обеспечению контроля качества и безопасности продукции продвигались Е.С. Вайскрбовой, Н.И. Барышниковой, И.Ю. Резниченко, Е.С. Волошиной, Н.И. Дунченко, В.С. Янковской, С.Г. Awuchi, J.Y. Wu, H.I. Hsiao, L. Camanzi, S. Troiano и другими.

Диссертационная работа выполнялась в рамках реализации Программы

фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период на 2021-2030 годы по темам № 0632-2018-0012, № FZUW-2019-0019, FGZU-2023-0002.

Целью работы является создание научно-практических основ комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого свекловичного сахара в условиях возрастания доли промышленного потребления и появления дополнительных требований к его потребительской ценности.

Задачи исследования:

- предложить подходы к организации комплексного контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара;
- оценить соответствие фактических нормируемых и дополнительных физико-химических показателей качества и безопасности белого свекловичного сахара, вырабатываемого в регионах РФ, требованиям различных групп промышленных потребителей;
- установить взаимосвязи показателей качества белого свекловичного сахара и параметров полуфабрикатов технологического потока его производства;
- обосновать объекты, параметры и периодичность базовой и расширенной схем контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара;
- сформировать базовую и разработать расширенную блок-схемы контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара;
- научно обосновать процедуру пробоподготовки раствора белого сахара при определении его цветности;
- разработать систему мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара.

Научная новизна.

Диссертационная работа содержит элементы научной новизны, соответствующие направлениям исследований п. 6, 17, 28 паспорта научной специальности 4.3.3 Пищевые системы:

- установлено влияние отдельных показателей качества белого сахара на технологические свойства и качество определенных пищевых продуктов;
- доказана невозможность обеспечения требуемого промышленными потребителями качества белого свекловичного сахара в рамках действующей схемы контроля технологического потока и обоснована необходимость организации комплексного контроля его производства;
- на основании установленных зависимостей определены предельные значения пяти показателей качества белого свекловичного сахара категории ТС2, превышение которых потенциально обеспечивает его флокулообразующую способность;
- на базе структурно-параметрического моделирования этапов производства белого свекловичного сахара получены 41 модель взаимосвязи дополнительных показателей его качества и параметров полуфабрикатов технологического потока, позволившие обосновать дополнительные физико-химические параметры контроля.

Теоретическая значимость работы состоит в расширении научных знаний в области контроля качества и безопасности белого сахара в условиях возрастания доли промышленного потребления и появления дополнительных требований к его сырьевой ценности.

Практическая значимость и реализация результатов работы:

- по результатам проведенного мониторинга качества и безопасности белого свекловичного сахара, производимого в России, получены фактические данные его физико-химических показателей и сырьевой ценности для производителей продуктов

питания;

- разработаны базовая и расширенная блок-схемы контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара;
- актуализирована методика определения цветности белого сахара в растворе;
- внесено изменение № 1 в ГОСТ 12572-2015 «Сахар белый. Метод определения цветности» и введено в действие с 1 апреля 2023 г. приказом Росстандарта № 216-ст от 19.04.2022 г.;
- разработана система мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара на базе специализированного программного комплекса – сквозной контрольно-аналитической системы «Сахар».

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

- подходы к организации комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого свекловичного сахара;
- результаты изучения нормируемых и дополнительных физико-химических показателей качества и безопасности белого свекловичного сахара разных категорий и оценки его потребительской ценности при производстве продуктов питания;
- обобщенные модели взаимосвязи дополнительных показателей качества белого свекловичного сахара и параметров полуфабрикатов технологического потока в виде 41 регрессионной зависимости;
- базовая и расширенная блок-схемы контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара;
- актуализированная методика определения цветности в растворе белого сахара.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях различного уровня: международной научно-практической конференции «Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве» (г. Курск, 2019 г.); I, IV, VII международных научно-практических конференциях «Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов» (г. Курск, 2019 г., 2022 г., 2025 г.); международной научно-практической конференции «Молодежь и XXI век-2020» (г. Курск, 2020 г.); всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии, материалы и техника» (г. Воронеж, 2024 г.); международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития технологии модифицированных крахмалов в России» (п. Красково, 2025 г.); международной научно-практической конференции «Проблемы конкурентоспособности потребительских товаров и продуктов питания» (г. Курск, 2025 г.).

Публикации. Основное содержание работы изложено в 15 публикациях, в т.ч. 2 статья в изданиях, индексируемых в Scopus, 3 статья в изданиях из Перечня ВАК и 1 коллективной монографии.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературных источников, экспериментальной части, выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, содержит 24 рисунка, 25 таблиц и 11 приложений. Список литературы включает 243 наименования, в том числе 47 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и степень ее разработанности; определены цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, составляющие научную новизну, теоретическую и практическую значимость диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы в части состояния и перспектив развития производства и потребления белого сахара, характеристик его технологических свойств с позиций промышленных потребителей – производителей различных продуктов питания. Проведен анализ нормативных требований к его качеству и безопасности на протяжении последнего века. Рассмотрены технологическая схема производства с позиции влияния ее отдельных операций на качество сахара, а также проблемы действующей системы контроля технологического потока его производства.

Во второй главе рассмотрены объекты и методы исследований.

Схема проведения исследований представлена на рисунке 1.

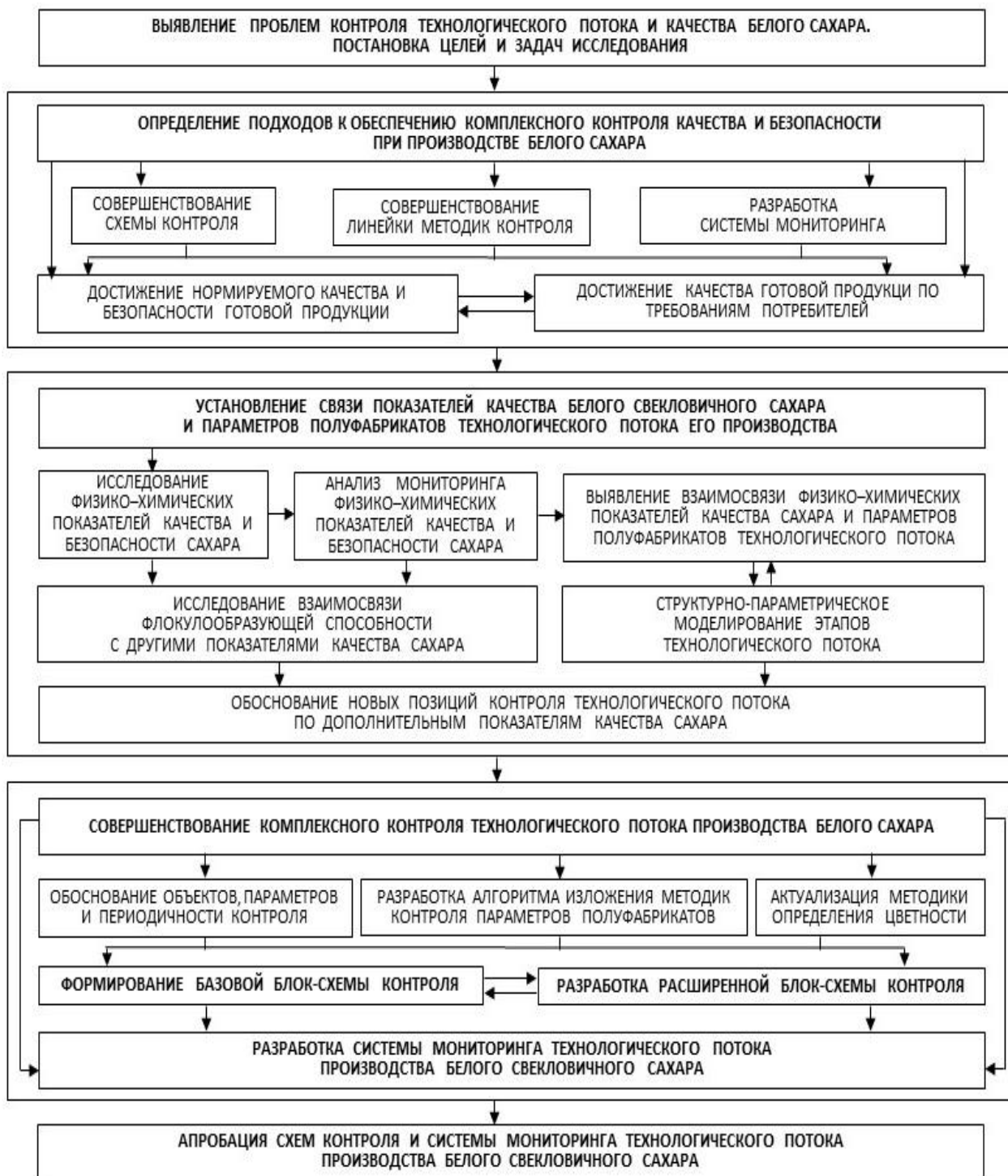


Рисунок 1 – Схема проведения исследований по диссертационной работе

Экспериментальные и аналитические исследования осуществлялись в структурном подразделении НИИ сахарной промышленности ФГБНУ «Курский ФАНЦ».

Объектами исследований являлись нормативные требования, предъявляемые в настоящее время к белому сахару; требования промышленных потребителей; система контроля технологического потока производства свекловичного сахара из сахарной свеклы в аспекте обеспечения требований нормативных документов и дополнительных требований промышленных потребителей, оснащённости методиками контроля и их соответствия современным требованиям и международной практике; методики измерений параметров полуфабрикатов, методики контроля качества белого сахара; результаты анкетного опроса экспертов 25 предприятий отрасли.

В качестве объектов экспериментальных исследований выступали 113 образцов белого свекловичного кристаллического сахара категорий экстра, ТС1, ТС2, ТС3 по ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия», произведенного в период 2019-2021 гг. 58 сахарными заводами 18 регионов России. В работе использовали общепринятые и специальные методы исследования качества белого сахара и полуфабрикатов, изложенные в межгосударственных и национальных стандартах, международные методики ICUMSA. Определение характера связей между показателями качества белого сахара осуществляли с использованием пакета прикладных программ Statistica, Microsoft Excel.

Третья глава содержит теоретическое обоснование необходимости организации комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара, направленного на решение выявленных проблем контроля. Комплексный подход к организации системы контроля позволяет интегрировать собственно контроль технологического потока производства сахара, систему ХАССП, как обязательный атрибут работы любого пищевого предприятия и систему мониторинга. На рисунке 2 приведена структура разработанного комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара.

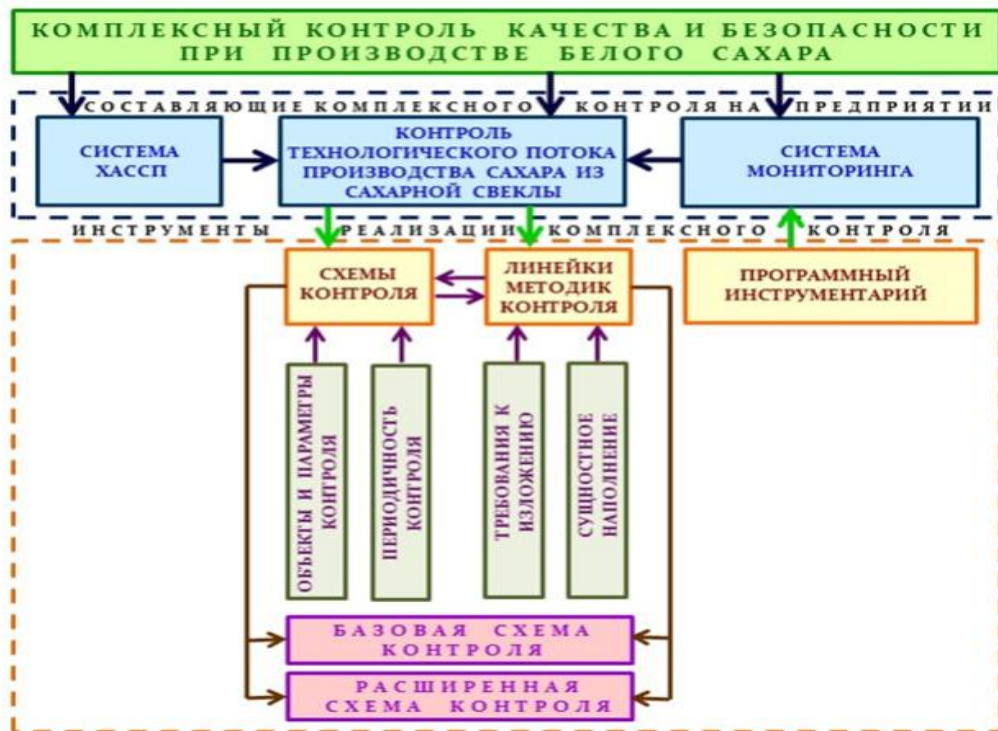


Рисунок 2 – Структура комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара

Построение новой комплексной системы контроля базируется на следующих подходах:

1. Пересборка действующей схемы контроля с уточнением объектов контроля, контролируемых параметров и периодичности контроля. Определены принципиальные отличия актуализированной схемы контроля: максимальный учет произошедших изменений в применяемых технологиях, парке технологического оборудования, системах автоматизации процессов, реализованных на сахарных заводах, подходах к оценке качества продуктов и постоянно меняющихся требованиях потребителей к нему; уточнение объектов контроля с учетом известных вариаций полуфабрикатов в рамках применяемых технологий, предусматривая новейшие на данный момент и получающие распространение технологии, с размещением каждого объекта контроля в схеме в строгой последовательности, предусмотренной технологической схемой; корректировка контролируемых параметров за счет введения новых, определяющих потребительские свойства сахара как сырья для производства пищевых продуктов; установление периодичности контроля исходя из особенностей производства, применяемых локальных приемов реализации технологии, наличия и уровня систем автоматизации производства, вариаций визуализации контролируемых параметров, конкретизации приобретателей сахара и вида выпускаемой продукции;

2. Развитие системы безопасности за счет обязательного применения принципов ХАССП, дальнейшего выявления и оценки факторов, негативно влияющих на безопасность сахара;

3. Разработка системы мониторинга и управления технологическим потоком, сосредоточенной на отслеживании параметров, отвечающих за выпуск качественной и безопасной продукции в условиях формирования дополнительных требований промышленных потребителей.

Реализация обозначенных подходов предполагает получение целостной архитектуры комплексного контроля при производстве белого свекловичного сахара.

В четвертой главе представлен анализ полученных в результате мониторинга фактических характеристик 113 образцов белого сахара, произведенного в 18 регионах страны, по 6 нормируемым и 5 дополнительным показателям качества белого сахара (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Фактические характеристики нормируемых показателей качества белого свекловичного сахара, произведенного в РФ

№ п/п	Наименование показателя	Категория белого сахара							
		Экстра		ТС1		ТС2		ТС3	
		норма	факт	норма	факт	норма	факт	норма	факт
1.	Массовая доля сахарозы, %	99,80	99,88 ±0,014	99,70	99,77 ±0,015	99,70	99,78 ±0,010	99,50	99,64 ±0,042
2.	Массовая доля влаги, %	0,10	0,02 ±0,002	0,10	0,03 ±0,003	0,12	0,02 ±0,002	0,15	0,03 ±0,002
3.	Массовая доля редуцирующих веществ, %	0,03	0,01 ±0,001	0,035	0,01 ±0,003	0,04	0,02 ±0,001	0,065	0,02 ±0,005
4.	Массовая доля золы, %	0,027	0,010 ±0,0006	0,036	0,017 ±0,0031	0,036	0,019 ±0,0013	0,050	0,035 ±0,0042
5.	Цветность в растворе, ед.опт.пл.	45,0	42,0 ±0,67	60,0	58,3 ±0,88	104,0	89,7 ±2,67	195,0	126,1 ±9,62
6.	Массовая доля диоксида серы, мг/кг	15	1,4 ±0,12	15	1,7 ±0,41	15	2,0 ±0,17	15	2,4 ±0,33

Таблица 2 – Фактические характеристики дополнительных показателей качества белого свекловичного сахара, произведенного в РФ

№ п/п	Наименование показателя	Категория белого сахара			
		Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
1.	Мутность раствора, ед.опт.пл.	9,1±0,93	17,7±1,45	31,2±2,78	49,6±9,44
2.	Массовая доля кальция, мг/кг	13±1,2	26±3,2	41±4,0	75±7,1
3.	Водородный показатель, рН	7,0±0,04	7,2±0,03	7,2±0,05	7,4±0,09
4.	Флокулообразующая способность раствора	О/100	О/100	О/45 Н/44 С/9 В/2	О/20 Н/69 С/11 В/0
5.	Гранулометрический состав: СМ – средний размер кристалла сахара, мм	0,66±0,24	0,59±0,21	0,57±0,22	0,60±0,26
	CV – коэффициент неоднородности сахара, %	26,7 ±0,18	29,0 ±0,11	33,8 ±2,16	40,9 ±1,31

Показано, что доля нес сахаров в составе увеличивается по мере снижения категории сахара; выявлены корреляционные зависимости между отдельными показателями. Для сахара всех категорий подтверждена сильная связь между содержанием золы и цветностью в растворе ($r = 0,656...0,797$), остальные корреляционные зависимости варьируют для сахара разных категорий от умеренной до сильной.

Сформированы величины 3 нормируемых и 4 дополнительных физико-химических показателей качества и безопасности белого сахара для промышленных потребителей и выполнен сопоставительный анализ с фактическими характеристиками (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели, определяющие качество белого сахара при производстве продуктов питания, и их фактические характеристики

Наименование показателя	Значение показателя	Среднее значение по категориям сахара			
		экстра	ТС1	ТС2	ТС3
Содержание золы, %	не более 0,015/0,036	0,010± 0,0006	0,017± 0,0031	0,019± 0,0013	0,035± 0,0042
Цветность в растворе, ед.опт.пл.	не более 30/35/104	42,0±0,67	58,3±0,88	89,7±2,67	126,1±9,62
Мутность раствора, ед.опт.пл.	не более 20	9,1±0,93	17,7±1,45	31,2±2,78	49,6±9,44
рН	6,8...7,2	7,0±0,04	7,2±0,03	7,2±0,05	7,4±0,09
Содержание кальция, мг/кг	не более 1,5/16	13±1,2	26±3,2	41±4,0	75±7,1
Содержание диоксида серы, мг/кг	не более 6,0/15,0	1,4±0,12	1,7±0,41	2,0±0,17	2,4±0,33
Флокулообразующая способность раствора	О	О	О	Н	Н

Установлено, что удовлетворяют требованиям разных потребителей от 27 до 100 % образцов белого сахара категории экстра, от 60 до 100 % образцов белого сахара категории ТС1, до 65 % образцов белого сахара категории ТС2. При производстве продуктов питания наиболее предпочтительным по качеству для использования является сахар белый категорий экстра и ТС1, лишь в отдельных случаях возможно использование сахара категории ТС2. Указанное подтверждает невозможность обеспечения требуемого качества белого сахара в рамках действующей схемы контроля технологического потока его производства.

Исследована взаимосвязь флокулообразующей способности (ФС) белого сахара с другими показателями по 5 выделенным группам в категории ТС2: группа 1 – флокулообразующая способность отсутствует (О), раствор прозрачный; группа 2 – флокулообразующая способность отсутствует (О), раствор непрозрачный; группа 3 – флокулообразующая способность низкая (Н); группа 4 – флокулообразующая способность средняя (С); группа 5 – флокулообразующая способность высокая (В). Выявлена сильная связь между содержанием золы и цветностью в растворе для сахара всех групп; между мутностью и содержанием кальция для сахара с отсутствующей ФС и ее ослабление для сахара, обладающего ФС (таблица 4).

Таблица 4 – Уровень связи между показателями качества белого сахара категории ТС2 с разной флокулообразующей способностью

Группа сахара по признаку ФС	З-Цв	М-К	М-З	pH-М
Группа 1	сильная ($r = 0,760$)	сильная ($r = 0,653$)	умеренная ($r = 0,457$)	слабая ($r = 0,292$)
Группа 2	сильная ($r = 0,610$)	сильная ($r = 0,663$)	сильная ($r = 0,721$)	слабая ($r = -0,067$)
Группа 3	сильная ($r = 0,649$)	умеренная ($r = 0,570$)	умеренная ($r = 0,406$)	умеренная ($r = 0,454$)
Группа 4	сильная ($r = 0,650$)	сильная ($r = 0,610$)	сильная ($r = 0,727$)	весьма сильная ($r = 0,853$)
Группа 5	сильная ($r = 0,623$)	слабая ($r = 0,301$)	умеренная ($r = 0,571$)	весьма сильная ($r = 0,985$)

З – содержание золы, %; Цв – цветность в растворе, ед. ICUMSA; М – мутность раствора, ед. ICUMSA; К – содержание кальция, мг/кг

На основе полученных результатов сформирован образ белого сахара категории ТС2, который может обладать флокулообразующей способностью. Показатели ранжированы в следующем ряду: область приемлемых значений, обеспечивающих отсутствие флокулообразующей способности → область рискованных значений, которые при определенных условиях могут придавать флокулообразующую способность → область неприемлемых значений, потенциально обеспечивающих флокулообразующую способность (рисунок 3).

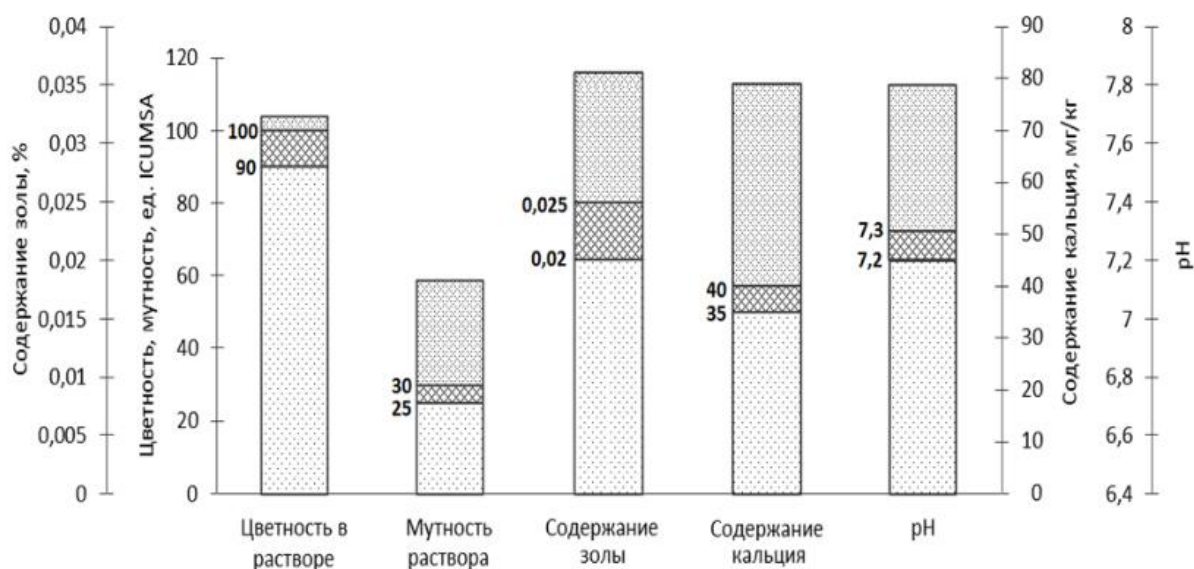


Рисунок 3 – Показатели белого сахара категории ТС2 во взаимосвязи с флокулообразующей способностью: – область отсутствия флокулообразования; – область риска флокулообразования; – область флокулообразования

Обозначены характеристики такого сахара: цветность в растворе выше 100 ед. ICUMSA, мутность раствора выше 30 ед. ICUMSA, содержание золы более 0,025 %, содержание кальция более 40 мг/кг, pH выше 7,3. Полученные данные позволяют проводить предварительное прогнозирование наличия или отсутствия флокулообразующей способности раствора белого сахара.

На основе опроса экспертов сформирована информационная модель взаимосвязи 8 показателей качества сахара с параметрами полуфабрикатов технологических процессов (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние параметров полуфабрикатов технологических процессов на дополнительные показатели качества белого свекловичного сахара

Этап технологического потока	Объект исследования (полуфабрикат)	Параметр контроля	Дополнительный показатель качества сахара							Показатель влияния единичного параметра полуфабриката (ПВ)		
			взвешенные частицы	pH	соли кальция	мутность	флокк-потенциал	сапонин	крахмал		гранулометрический состав	
Экстрагирование	Свекловичная стружка	Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Длина 100 г стружки, м	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
		Фактор стружки	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Свекловичный сок	pH	0	3,3	0	3,5	1,2	1,4	0	0	9,4	
		Содержание оптически активных веществ, %	1,3	2,1	1,4	1,6	0	1,8	0	0	8,2	
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Диффузионный сок	Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание мезги, %	1,9	0	0	0	0	0	0	0	1,9	
		Содержание редуцирующих веществ, %	2,1	1,8	2,3	2,5	1,7	1,2	6,1	2,7	20,4	
		Содержание ВМС и коллоидов, %	5,2	1,5	2,7	6,1	2,7	3,4	6	2,2	29,8	
Очистки диффузионного сока	Преддефекованный сок	pH	0	3,3	1	0	0	3	0	0	7,3	
		Общее содержание СаО, %	3,4	3	6,2	9,1	3,5	6,1	0	0	31,3	
		Щелочность, % СаО	3,1	3,2	6,1	9	3,9	6,4	0	0	31,7	
	Дефекованный сок	pH	0	7,5	5	9,3	9,1	7	0	0	37,9	
		Общее содержание СаО, %	3,7	3,4	6,6	9,5	3,5	6,2	0	0	32,9	
	Сок I сатурации фильтрованного	Щелочность, % СаО	3,5	3	5,2	9,8	3,9	6,3	0	0	31,7	
		pH	3,2	3,2	6,4	9,1	3,4	6,7	0	0	32	
	Сок II сатурации	pH	0	7	5,1	9,3	9,2	7,3	0	0	37,9	
		Щелочность, % СаО	3,5	3,1	6,8	9,4	3,5	6,2	0	0	32,5	
		pH	0	7	5,1	9,1	9	7,5	0	0	37,7	
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Сироп из выпарной установки	Цветность	0	1,8	2,3	6,5	0	0	0	0	10,6	
		Содержание солей кальция, %	0	1,5	6,8	5,8	9,9	0	0	0	24	
		Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Кристаллизация сахарозы	Утфель I кристаллизации	Щелочность, % СаО	3,8	3	6,5	6,1	6	8,4	0	0	33,8	
		pH	0	8,3	5,4	6,2	9,5	6,1	0	6,7	42,2	
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	1,4	1,4	
	Межкристалльный раствор утфеля I кристаллизации	Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	3,8	3,8	
		pH	0	9,1	2,3	3,3	0	0	0	5,3	20	
	Оттеки I и II утфеля I кристаллизации	Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	1,9	1,9	
	Утфель II кристаллизации	Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	2,1	2,1	
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	4,2	4,2	
		Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	2,7	2,7	
	Комплексный показатель влияния технологических параметров (К)			35,7	85,3	86	129,1	80	85	12,1	38,2	551,4
	Уровень значимости показателя качества сахара (P)			0,065	0,155	0,156	0,234	0,145	0,154	0,022	0,069	

Выполненное структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса производства сахара позволило получить 41 математическую модель взаимосвязи между сгруппированными параметрами полуфабрикатов технологического процесса и 5 дополнительными показателями качества сахара (таблица 6).

Таблица 6 – Обобщенные модели взаимосвязи дополнительных показателей качества сахара и параметров полуфабрикатов технологического процесса производства

Объект исследования (полуфабрикат)	Математические модели взаимосвязи
Свекловичная стружка	$Y_1 = 0,17 X_2; Y_2 = 0; Y_3 = 0; Y_4 = 0; Y_5 = 0$
Свекловичный сок	$Y_1 = 0,23 \cdot X_5; Y_2 = 0,55 X_4 + 0,34 X_5; Y_3 = 0,19 \cdot X_5; Y_4 = 0,49 X_4 + 0,20 X_5;$ $Y_5 = 0,17 X_4 + 0,21 X_5$
Диффузионный сок	$Y_1 = 0,42 \cdot X_8 + 0,22 \cdot X_{10} + 0,21 X_{11} + 0,87 X_{12}; Y_2 = 0,15 X_{11} + 0,14 X_{12} + 0,28 X_{13};$ $Y_3 = 0,17 X_{11} + 0,20 X_{12} + 0,8 X_{13}; Y_4 = 0,21 X_{11} + 0,90 X_{12}; Y_5 = 0,11 X_{11} + 0,22 X_{12} + 0,28 X_{13}$
Преддефекованный сок	$Y_1 = 0,20 \cdot X_{14} + 0,24 \cdot X_{15}; Y_2 = 0,13 X_{14} + 0,14 X_{15} + 0,45 X_{16}; Y_3 = 0,47 X_{14} + 0,54 X_{15} + 0,39 X_{16};$ $Y_4 = 0,60 X_{15} + 0,79 X_{16}; Y_5 = 0,71 X_{14} + 0,52 X_{15} + 0,95 X_{16}$
Дефекованный сок	$Y_1 = 0,33 \cdot X_{17} + 0,32 \cdot X_{18}; Y_2 = 0,16 X_{17} + 0,28 X_{18}; Y_3 = 0,36 X_{17} + 0,44 X_{18};$ $Y_4 = 0,89 X_{17} + 0,77 X_{18}; Y_5 = 0$
Сок I ступени сатурации	$Y_1 = 0,62 \cdot X_{20}; Y_2 = 0,73 X_{19} + 0,65 X_{20}; Y_3 = 0,68 X_{19} + 0,81 X_{20}; Y_4 = 0,55 X_{19} + 0,75 X_{20};$ $Y_5 = 0,87 X_{19} + 0,90 X_{20}$
Сок II ступени сатурации	$Y_1 = 0,0085 X_{21} + 0,0058 X_{26}; Y_2 = 0,028243 X_{25}; Y_3 = 0,503 X_{21} + 0,000058 X_{25} + 0,408 X_{26};$ $Y_4 = 1453 X_{21} + 0,1716 X_{25}; Y_5 = 495,2 X_{21}$
Сироп из выпарной установки	$Y_1 = 0,14 X_{28}; Y_2 = 0,16 X_{28} + 0,71 X_{29}; Y_3 = 0,53 X_{28} + 0,62 X_{29}; Y_4 = 0,54 X_{28} + 0,50 X_{29};$ $Y_5 = 0,78 X_{28} + 0,59 X_{29}$
Утфель I кристаллизации	$Y_1 = 0; Y_2 = 0,96 X_{32}; Y_3 = 0,13 X_{32}; Y_4 = 0,21 X_{32}; Y_5 = 0$
Межкристальный раствор утфеля I кристаллизации	$Y_1 = 0; Y_2 = 0; Y_3 = 0; Y_4 = 0; Y_5 = 0$
Оттеки I и II утфеля I кристаллизации	$Y_1 = 0; Y_2 = 0; Y_3 = 0; Y_4 = 0; Y_5 = 0$
Утфель II кристаллизации	$Y_1 = 0; Y_2 = 0,95 X_{39}; Y_3 = 0,09 X_{39}; Y_4 = 0,17 X_{39}; Y_5 = 0$
X_2 – длина 100 г стружки, м; X_4 – pH свекловичного сока, ед; X_5 – содержание оптически активных веществ в свекловичном соке, %; X_8 – содержание сухих веществ в диффузионном соке, %; X_{10} – содержание мезги в диффузионном соке, %; X_{11} – содержание редуцирующих веществ в диффузионном соке, %; X_{12} – содержание ВМС и коллоидов в диффузионном соке, %; X_{13} – pH диффузионного сока, ед; X_{14} – общее содержание СаО в преддефекованном соке, %; X_{15} – щелочность преддефекованного сока, % СаО; X_{16} – pH преддефекованного сока, ед; X_{17} – общее содержание СаО в дефекованном соке, %; X_{18} – щелочность дефекованного сока, % СаО; X_{19} – щелочность сока I ступени сатурации, % СаО; X_{20} – pH сока I ступени сатурации, ед; X_{21} – щелочность сока II ступени сатурации, % СаО; X_{25} – цветность сока II ступени сатурации, единиц ICUMSA; X_{26} – содержание солей кальция в соке II ступени сатурации, %; X_{29} – pH сиропа из выпарной установки, ед; X_{32} – pH утфеля I кристаллизации, ед; X_{39} – pH утфеля II кристаллизации, ед; Y_1 – содержание взвешенных частиц, мг/кг; Y_2 – pH раствора; Y_3 – содержание солей кальция, %; Y_4 – мутность раствора, ед. ICUMSA; Y_5 – содержание сапонинов, мг/кг	

Полученные результаты являются основой для аргументации объектов и параметров в схемах контроля, в т.ч. по дополнительным показателям качества.

Пятая глава посвящена построению новой системы комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара, переформатированной согласно обозначенным в главе 3 подходам и полученным новым знаниям, приведенным в главе 4.

Выполнена разработка схем контроля для двух вариантов – стандартной (базовой) и расширенной. Формирование структур базовой и расширенной схем контроля с детализацией объектов и параметров контроля выполнялось на основе учета технологических целей последовательных этапов технологии сахара, знаний об их вкладе в потребительские свойства сахара и побочных продуктов. Пересмотру подлежали объекты, параметры и периодичность контроля.

По итогам актуализации на отдельных укрупненных этапах технологического потока производства сахара выделено 47 объектов контроля, в т.ч.: на этапе

экстрагирования сахарозы – 12 позиций, на этапе очистки диффузионного сока – 18, на этапе кристаллизации сахарозы – 18, включая позиции готовой продукции (белый сахар, меласса, сушеный жом).

Для формирования массива контролируемых величин проводили уточнение необходимости контроля известных параметров и вновь предложенных по вариантам: обеспечение качества и безопасности готовой и побочной продукции исходя исключительно по требованиям универсальности последующего использования; обеспечение качества и безопасности готовой и побочной продукции с учетом индивидуальных требований промышленных потребителей.

Выполнено расширение номенклатуры контролируемых параметров по всему технологическому потоку на 53 позиции, в т.ч.: на этапе экстрагирования сахарозы – на 12 позиций, очистки диффузионного сока – на 13, кристаллизации сахарозы – на 28. Указанные показатели никогда не применялись в системе контроля технологического потока производства сахара, не имеют стандартизованных методик определения.

Подтверждение необходимости введения дополнительных объектов и параметров контроля проводилась путем оценки рисков отклонения качества белого сахара по ряду показателей в технологическом потоке его производства с использованием положений FMEA-методологии. Так, высокий риск недостижения показателя мутности раствора белого сахара связан с химизмом реакций при очистке диффузионного сока и подтверждает правильность введения в схему контроля мутности соков и сиропа, а также дозы антинакипина. Высокий риск недостижения норматива цветности раствора белого сахара связан с пониженным содержанием свободных сульфитов из-за недостаточности их поступления в пищевую систему, а также повышенным содержанием пектиновых веществ в диффузионном соке. Указанное подтверждает правильность включения в схему контроля таких параметров как содержание редуцирующих веществ, α -аминного азота, ВМС полуфабрикатов.

Совокупность обоснованных вариаций периодичности контроля технологических процессов производства сахара представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Периодичность контроля параметров объектов контроля в технологическом потоке производства сахара

Актуализированная базовая схема контроля включает 47 объектов контроля и массив 37 пересекающихся параметров контроля. Базовая блок-схема контроля впервые представлена в виде визуализированной графической карты, в которой сочетаются текстовая и символьная формы представления информации, в ней отражены основные этапы технологического потока производства сахара, объекты контроля, точки контроля, контролируемые параметры, периодичность контроля. При этом предложенная архитектура блок-схемы линейна, но имеет кластеризацию по 6 основным этапам технологического потока. Каждый объект контроля представлен в виде оператора, отражающего полуфабрикат технологического потока с расположением согласно логическому ходу процессов. К каждому оператору – объекту контроля по обе стороны примыкают операторы, позиционирующие точки контроля и параметры контроля, а каждому параметру контроля приданы операторы периодичности контроля согласно условным обозначениям.

Расширенная блок-схема контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара визуализирована аналогично базовой, имеет кластеризацию по 6 основным этапам, включает 48 объектов контроля и 214 параметров контроля. Новые дополнительные параметры контроля выделены другим цветом, что позволяет легко визуально ориентироваться в схеме. Фрагменты базовой и расширенной блок-схем контроля на этапе получения диффузионного сока представлены на рисунке 5, на этапе сушки сахара – на рисунке 6.

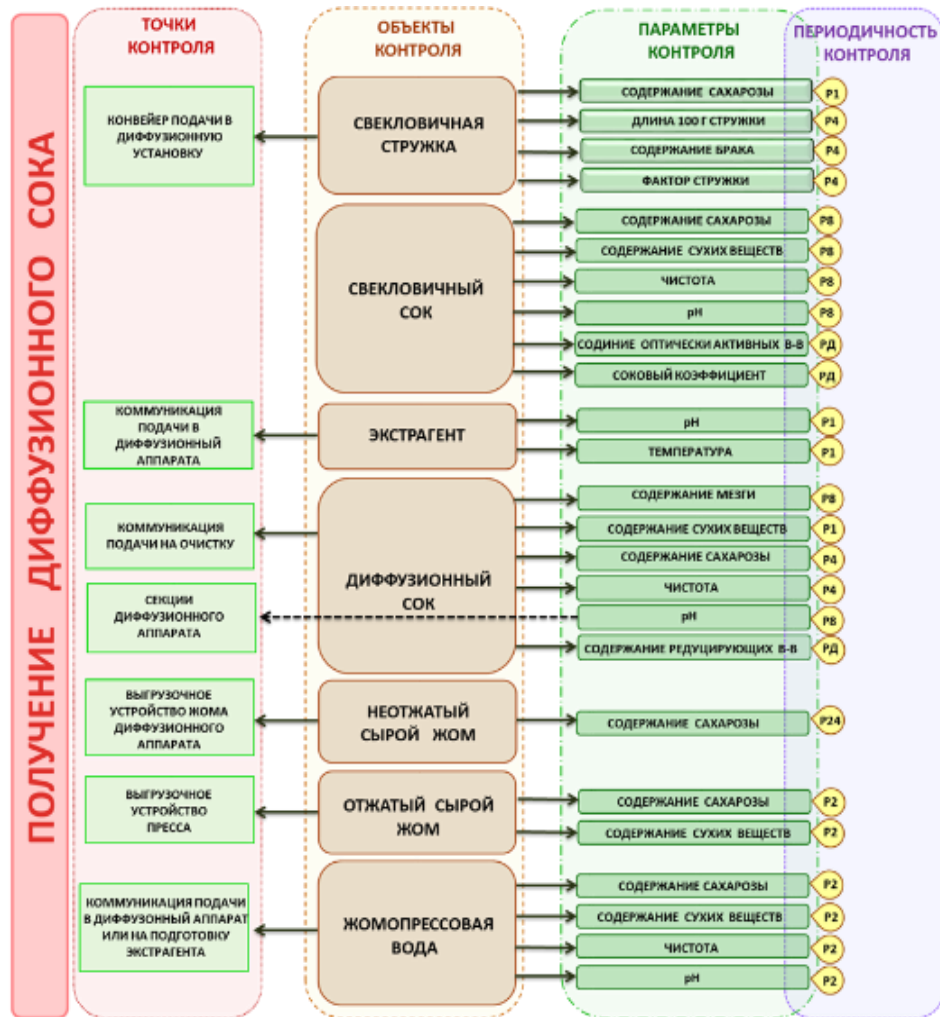
При организации комплексного контроля безопасности и качества технологического потока производства сахара помимо актуальной схемы контроля технологического потока предполагается формирование системы методик контроля готовой продукции и полуфабрикатов. По данному направлению было унифицировано изложение методик и проведена актуализация методики определения цветности сахара в растворе.

Цветность сахара в растворе как один из показателей качества белого сахара и критерий его категорирования по ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия», варьирует в диапазоне 45...195 ед.опт.пл. Цветность белого сахара в растворе определяется по ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности». Несмотря на то, что методика применяется длительное время в испытательных лабораториях, в т.ч. и аккредитованных, результаты измерений, полученных в разных лабораториях, часто превышают предел воспроизводимости 3 ед.опт.пл.

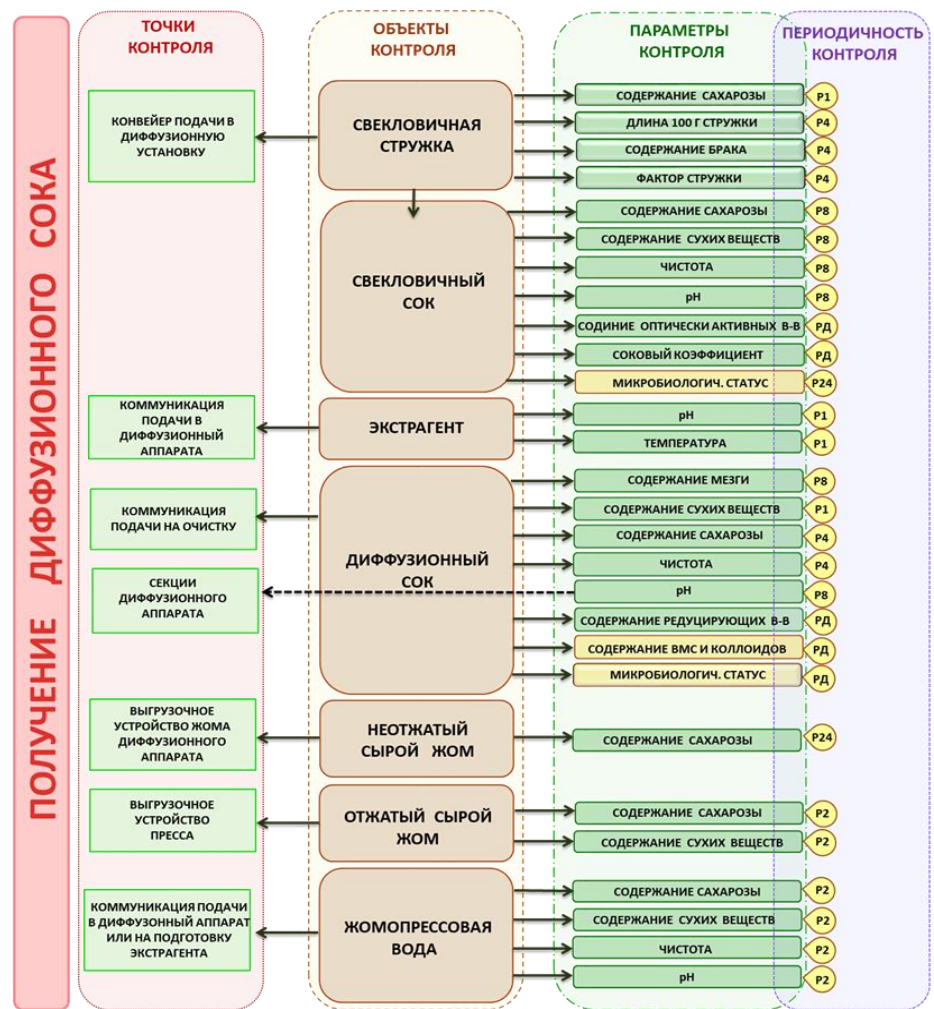
В ходе исследований 90 образцов белого сахара разных категорий установлено, что связано это с предусмотренной возможностью двух вариантов подготовки пробы: 1 – путем фильтрования через мембранный или стеклянный фильтр с размером пор 0,45 мкм; 2 – через бумажный фильтр с добавлением перлита или кизельгура (таблица 7).

Таблица 7 – Сходимость результатов определения цветности сахара в растворе при разных видах пробоподготовки, ед.опт.пл.

Категория сахара	Вариант 1	Вариант 2	Сходимость
Экстра	$\frac{22...45}{32}$	$\frac{38...49}{45}$	$\frac{2...21}{13}$
ТС2	$\frac{51...98}{78}$	$\frac{62...187}{106}$	$\frac{5...133}{29}$
ТС3	$\frac{99...199}{101}$	$\frac{117...325}{166}$	$\frac{13...126}{58}$

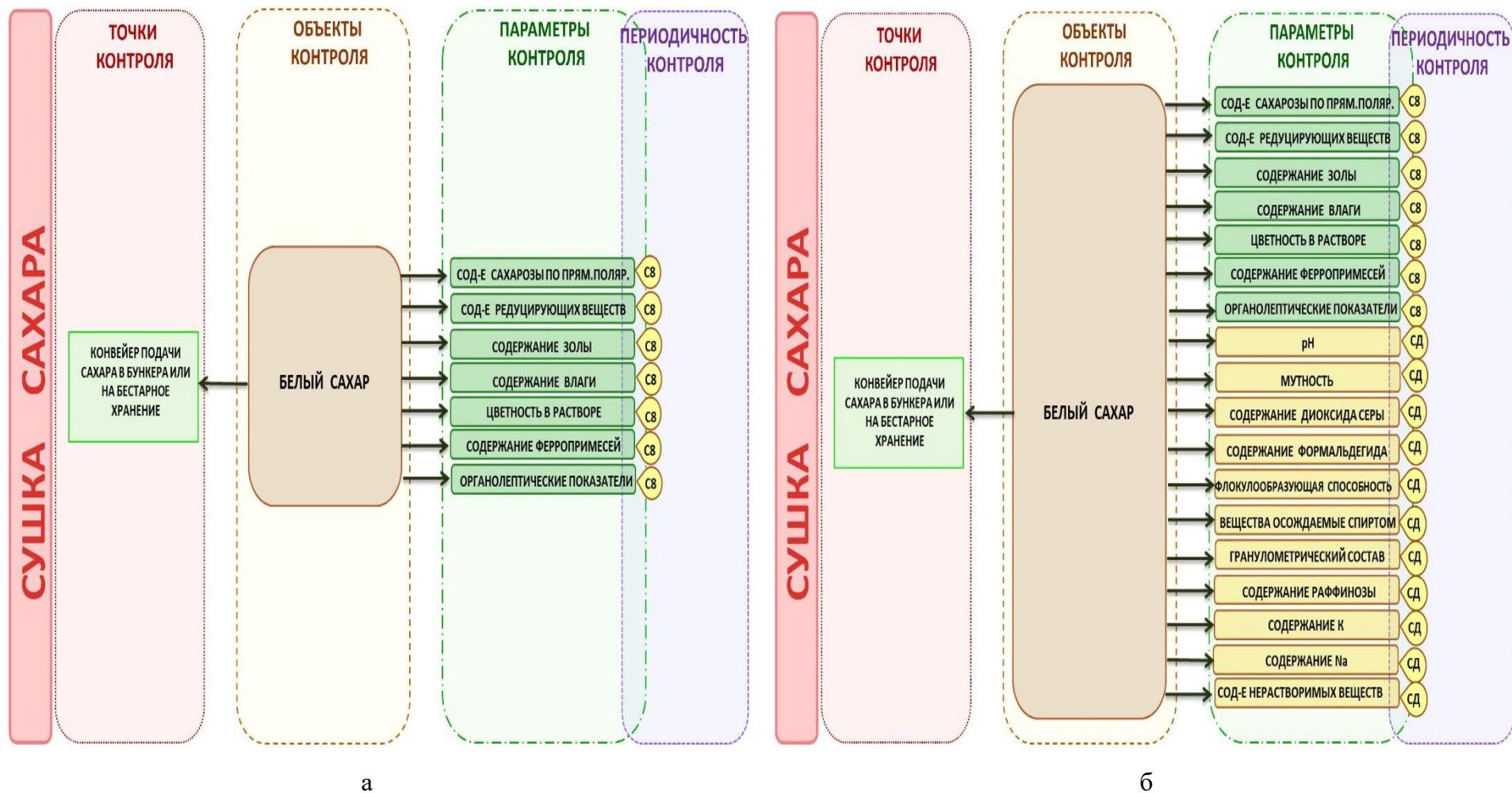


а



б

Рисунок 5 – Фрагменты базовой (а) и расширенной (б) блок-схем контроля на этапе получения диффузионного сока



Условные обозначения периодичности контроля: Р – разовая проба, С – средняя проба; индексы: 1, 2, 4, 8, 24, Д, ПС – период времени, в течение которого отбирается одна разовая проба, час, декада, производственный сезон

Рисунок 6 – Фрагменты базовой (а) и расширенной (б) блок-схем контроля на этапе сушки сахара

Как видно, практически во всех образцах сходимость превышала указанный предел. При этом чем выше цветность образцов сахара, тем вероятнее величина сходимости выходит за границы предела; наибольшее количество образцов в пределах сходимости отмечено в категории экстра – 30 %. Следовательно, при фильтровании по первому варианту определяется именно окрашенность раствора, обусловленная присутствием красящих веществ сахарного производства в кристаллах сахара; по второму варианту определяется суммарный результат, складывающийся из окрашенности раствора и его мутности, определяемой наличием суспендированных веществ. Прозрачные растворы сахара получают удалением частиц с размером более 0,5 мкм, тогда как мутные растворы представляют взвесь с размером частиц более 0,1 мкм, поэтому мутные растворы показывают, как правило, завышенные результаты цветности. Полученные результаты подтвердили, что для определения цветности белого сахара в растворе необходимо осуществлять фильтрование пробы через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм, что позволило внести изменения в методику определения цветности в части уточнения пробоподготовки сахара ГОСТ 12572-2015 «Сахар белый. Метод определения цветности».

Для эффективного управления сложной и динамичной системой комплексного контроля, прогнозирования ее изменений разработана система мониторинга, структурная схема которой представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Структурная схема мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара для обеспечения качества и безопасности продукции

Система мониторинга сосредоточена на отслеживании параметров, отвечающих за выпуск качественной и безопасной продукции, в т.ч. по требованиям промышленных потребителей. К ним относятся обязательные целевые параметры, обозначенные в схеме контроля технологического потока; критические контрольные точки по принципам ХАССП. Для отслеживания ориентированных целевых параметров, включенных в разработанную расширенную схему контроля с целью достижения качества продукции по дополнительным требованиям потребителей, были обозначены индикаторные точки качества (ИТК). Разработанная структурная схема обеспечивает

увязку мониторинга параметров контроля базовой схемы контроля и контроля ККТ, а в случае необходимости предусматривает переход на мониторинг ИТК в рамках расширенной схемы контроля и точек контроля готовой продукции ТГ.

Инструментом для реализации системы мониторинга предлагается специализированный программный комплекс – сквозная контрольно-аналитическая система «Сахар» (СКАС «Сахар»). Главным структурным элементом СКАС «Сахар» является информационно-вычислительный комплекс, в состав которого входят три модуля, отражающие специфику производства в виде блоков сырья, готовой продукции и технологических процессов. В них происходит сбор и обработка информации о состоянии технологического процесса и выработка оперативных решений по управлению фактором, приведшим к выходу процесса из стационарного режима. Другими структурными элементами СКАС «Сахар» являются комплекс знаний, основанный на нормативных документах, регламентирующих работу предприятий отрасли, и блок экспорта данных, позволяющий передавать результаты мониторинга, выполненные расчеты и составленные отчеты внешним заинтересованным лицам.

Апробация системы мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара была проведена на базе ООО «Олымский сахарный завод» в период переработки сахарной свеклы урожая 2024 г. Результаты апробации показали возможность поддержания требуемого качества белого сахара по нормативам ГОСТ 33222, а также по дополнительным требованиям предприятия АО «КОНТИ-РУС», куда осуществлялись поставки белого сахара.

ВЫВОДЫ

1. Предложены подходы и инструменты совершенствования комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара с обоснованием его центрального звена в виде контроля технологического потока. Показана необходимость пересборки действующей схемы контроля и разработки расширенной схемы контроля для обеспечения качества белого сахара по дополнительным требованиям промышленных потребителей.

2. На основании полученных по результатам мониторинга экспериментальных данных о физико-химических показателях 113 образцов белого сахара четырех категорий, произведенных в 18 регионах РФ, получены фактические диапазоны и средние значения по 6 нормируемым и 5 дополнительным показателям качества. Показано, что по мере снижения категории сахара характеристики его потребительской ценности для промышленных потребителей падают. Установлено, что по показателям содержания золы, кальция, цветности, мутности и флокулообразующей способности раствора удовлетворяют требованиям разных потребителей от 27 до 100 % образцов белого сахара категории экстра, от 60 до 100 % образцов белого сахара категории ТС1, до 65 % образцов белого сахара категории ТС2, указанное подтверждает невозможность обеспечения требуемого качества белого сахара в рамках действующей схемы контроля.

3. Для белого сахара категории ТС2 с разной флокулообразующей способностью установлены уровни связи между показателями содержания золы, кальция, цветности, мутности, pH, позволившие сформировать образ белого сахара, который может обладать флокулообразующей способностью. Обозначены характеристики такого сахара: цветность в растворе выше 100 ед. ICUMSA, мутность раствора выше 30 ед. ICUMSA, содержание золы более 0,025 %, содержание кальция более 40 мг/кг, pH выше 7,3.

4. По результатам анкетирования 25 экспертов отрасли сформирована информационная модель основных взаимосвязей 8 дополнительных показателей качества белого сахара и параметров полуфабрикатов его производства. Выполнено подтверждение информационной модели 41 регрессионной зависимостью, полученной по результатам

структурно-параметрического моделирования этапов технологического потока.

5. Актуализированы объекты и параметры действующей схемы контроля. Обоснованы объекты, параметры и периодичность контроля расширенной схемы с увеличенной на 53 позиции номенклатурой параметров контроля. Правомерность включения дополнительных параметров в расширенную схему контроля подтверждена результатами оценки рисков недостижения показателей качества белого сахара.

6. Разработаны базовая и расширенная блок-схемы контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара в виде визуализированных графических карт.

7. Актуализирована методика определения цветности белого сахара в растворе в части уточнения пробоподготовки и внесено изменение № 1 в ГОСТ 12572-2015 «Сахар белый. Метод определения цветности», изменение введено в действие с 1 апреля 2023 г. приказом Росстандарта № 216-ст от 19.04.2022 г.

8. Разработана система мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара на базе специализированного программного комплекса – сквозной контрольно-аналитической системы «Сахар». Проведена промышленная апробация результатов научно-исследовательской работы на предприятиях ООО «Промсахар», ООО «Олымский сахарный завод».

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в монографиях:

1. Руководство по организации контроля технологического потока производства сахара из сахароносного растительного сырья (сахарной свеклы): монография / М. И. Егорова, Л. И. Беляева, Л. Н. Пузанова, А. В. Остапенко, И. С. Михалева [и др.] – Курск: «Деловая типография», 2022. – С. 81-111.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

2. Егорова, М. И. Оценка риска отклонения качества белого сахара по показателю мутности раствора / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, И. С. Михалева // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 8. – С.140-148. doi: 10.36718/1819-4036-2024-8-140-148.

3. Методологические аспекты формирования системы методик контроля технологического потока производства сахара / М. И. Егорова, Е. В. Широких, И. С. Михалева [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81. – № 2. – С. 162-169. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-162-169.

4. Поиск формализованных связей между потребительскими свойствами сахара и параметрами технологического процесса его производства / М. И. Егорова, В. В. Райник, И. С. Михалева [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80. – № 3. – С. 196-204. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-196-204.

Публикации в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus

5. Технологическая адекватность продукции свеклосахарного производства, используемой в пищевой промышленности / М.И. Егорова, Л.Н. Пузанова, И.С. Михалева [и др.] // Пищевые системы. – 2023. – Т. 6. – № 3. – С. 298-307. doi: 10.21323/2618-9771-2023-6-3-298-307.

6. Risks of failing to achieve white sugar color standards / M. I. Egorova, L. I. Belyaeva, L. N. Puzanova, I. S. Mikhaleva [et al.] // XI International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, October 31-November 2, 2024, Termez, Uzbekistan; E3S Web of Conferences, 2025. – Vol. 613. – Article 05007. doi: 10.1051/e3sconf/202561305007.

Публикации в других изданиях и материалах конференций:

7. Результаты мониторинга флокулообразующей способности растворов белого

сахара / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, И. С. Михалева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – № 3. – С. 67-72. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10312.

8. Егорова, М. И. SKAS «Сахар» как инструмент обеспечения гибкости технологической линии производства сахара / М. И. Егорова, В. В. Райник, И. С. Михалева // Инновационные технологии в пищевой промышленности : материалы XVII Международной научно-практической конференции, Минск, 04–05 октября 2018 года / Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию. – Минск: «Издательский Дом «Беларуская навука», 2018. – С. 193-195.

9. Кретьова, Я. А. Формирование базы данных требований потребителей к качеству сахара / Я. А. Кретьова, И. С. Михалева // Будущее науки-2019 : сб. науч. статей 7-й Междунар. молодеж. науч. конф., Курск, 25-26 апреля 2019 г. – Курск : ЮЗГУ, 2019. – Т. 4. – С. 323-326.

10. Михалева, И. С. Анализ изложения методик измерений в стандартах на методы испытаний сахара / И. С. Михалева // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., Курск, 11–13 сентября. 2019 г. / ФГБНУ «Курский ФАНЦ». – Курск : Деловая полиграфия, 2019. – С. 290-295.

11. Егорова, М. И. Определение направлений развития схемы контроля технологического потока производства сахара / М. И. Егорова, И. С. Михалева, Я. А. Кретьова // Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве : матер. Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 27-28 февраля 2019 г. – Курск : КГСХА, 2019. – Ч. 1. – С. 230-235.

12. Михалева, И. С. Состояние нормативной базы на методы испытаний продукции сахарной промышленности / И. С. Михалева // Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве : материалы Международной научно-практической конференции, Курск, 27–28 февраля 2019 года / Ответственный редактор И.Я. Пигорев. Том 1. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова, 2019. – С. 202-207.

13. Михалева, И. С. Задачи актуализации методики определения цветности белого сахара в растворе / И. С. Михалева // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 13-15 июля 2022 г. – Курск : Курский ФАНЦ, 2022. – С. 369-372.

14. Ивахненко, А. Г. Факторы безопасности и показатели качества технологического процесса производства сахара / А. Г. Ивахненко, И. С. Михалева // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 13-15 июля 2022 г. – Курск : Курский ФАНЦ, 2022. – С. 319-325.

15. Михалева, И. С. Комплексный контроль качества и безопасности при производстве белого сахара / И. С. Михалева // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 24-26 июня 2025 г. – Курск : Курский ФАНЦ, 2025. – С. 799-803.

Автор выражает благодарность профессору кафедры машиностроительных технологий и оборудования ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» доктору технических наук А.Г. Ивахненко за помощь в проведении структурно-параметрического моделирования этапов технологического потока и интерпретации результатов; главным технологам свеклосахарных заводов, участвовавших в анкетировании.