

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ФГБНУ «Курский ФАНЦ»)

На правах рукописи



МИХАЛЕВА ИРИНА СЕРГЕЕВНА

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

Специальность 4.3.3 – Пищевые системы

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Курск 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА, КАЧЕСТВА И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ БЕЛОГО САХАРА.....	12
1.1 Состояние и перспективы развития производства и потребления белого сахара в России.....	12
1.2 Требования к качеству белого сахара.....	14
1.2.1 Развитие нормативных требований к белому сахару.....	14
1.2.2 Требования к технологическим свойствам белого сахара для промышленных потребителей.....	19
1.3 Технологическая схема производства белого сахара, влияние отдельных операций на его качество.....	24
1.4 Проблемы контроля технологического потока и качества белого сахара.....	29
ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	34
2.1 Схема проведения исследований, организация постановки эксперимента.....	34
2.2 Объекты исследования.....	36
2.3 Методы исследования.....	36
ГЛАВА 3 ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛОГО САХАРА.....	40
ГЛАВА 4 УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БЕЛОГО САХАРА И ПАРАМЕТРОВ ПОЛУФАБРИКАТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕГО ПРОИЗВОДСТВА.....	47
4.1 Анализ мониторинга физико-химических показателей сахара, вырабатываемого в регионах РФ.....	47

4.1.1 Исследование взаимосвязи флокулообразующей способности белого сахара с другими показателями.....	60
4.2 Выявление взаимосвязи физико-химических показателей качества белого сахара и параметров полуфабрикатов технологического потока...	65
4.3 Структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса.....	70
ГЛАВА 5 ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛОГО САХАРА.....	78
5.1 Совершенствование схемы контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара	78
5.1.1 Обоснование объектов, параметров и периодичности контроля..	78
5.1.2 Формирование базовой блок-схемы контроля.....	100
5.1.3 Формирование расширенной блок-схемы контроля.....	107
5.2 Совершенствование линейки методик определения показателей готовой продукции и полуфабрикатов технологического потока.....	114
5.2.1 Изложение методик измерений параметров полуфабрикатов технологического потока.....	114
5.2.2. Актуализация методики определения цветности сахара в растворе.....	118
5.3 Разработка системы мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара.....	121
ВЫВОДЫ.....	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	130
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	156
Приложение А Перечень предприятий сахарной отрасли, белый свекловичный сахар которых исследовался в рамках мониторинга.....	157
Приложение Б Результаты мониторинга белого свекловичного сахара.....	160

Приложение В Перечень предприятий сахарной отрасли, эксперты которых участвовали в анкетировании.....	153
Приложение Г Табличная форма анкеты опроса экспертов.....	164
Приложение Д Уравнения множественной линейной регрессии для этапа очистки диффузионного сока ООО «Промсахар».....	165
Приложение Е Обобщенные модели взаимосвязи дополнительных показателей качества сахара и параметров полуфабрикатов технологического процесса производства для ООО «Промсахар».....	167
Приложение Ж Акт внедрения схем контроля технологического потока производства сахара в условиях ООО «Промсахар».....	169
Приложение З Свидетельство о регистрации электронного ресурса «Схемы контроля технологического потока производства сахара».....	170
Приложение И Приказ Росстандарта о введении в действие изменения межгосударственного стандарта ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности».....	171
Приложение К Изменение № 1 межгосударственного стандарта ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности».....	172
Приложение Л Акт промышленной апробации системы мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара в производственном контроле ООО «Олымский сахарный завод».....	174

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.

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.

Потребительские свойства сахара во многом определяются его физико-химическими показателями, т.е. наличием в нем остаточных количеств нутриентов сахарной свеклы и продуктов их превращений, образовавшихся в ходе переработки, некоторых применяемых технологических вспомогательных средств. Решение задачи минимизации содержания несахаров в белом сахаре отводится применению новых технологий и оборудования, а также системе контроля технологического потока. В то же время заданные параметры по дополнительным требованиям промышленных потребителей не находят отражения в нормативных документах, а система контроля в производстве сахара нацелена исключительно на показатели, включенные в нормативные документы.

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. Однако возрастающая конкуренция повысила роль ориентации производителей продуктов первичной переработки растительного сырья на промышленных потребителей в части удовлетворения их дополнительных требований к ним, что требует актуализации схем контроля.

В рамках функционирования на предприятиях различных систем менеджмента технологический контроль продуктов питания стал составной частью управления их качеством, а позднее и безопасностью. В дальнейшем многими известными отечественными и зарубежными учеными Е.С. Вайскрбовой, Н.И. Барышниковой, И.Ю. Резниченко, Е.С. Волошиной, Н.И. Дунченко, В.С. Янковской, C.G. Awuchi, J.Y. Wu, H.I. Hsiao, L. Camanzi, S. Troiano и другими продвигались новые взгляды по созданию в отраслях пищевой промышленности различных интегрированных систем в русле комплексного подхода к обеспечению контроля качества и безопасности продукции.

Свеклосахарная отрасль страны является лидером в мире по производству белого свекловичного сахара, динамично развивается и усиливает экспортный потенциал до 1 млн т в год. При этом 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 переформатированием внутреннего контроля технологического потока для производства белого свекловичного сахара заданного качества является *актуальным* на сегодняшний день.

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 производства 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.

Степень достоверности результатов.

Достоверность результатов и выводов исследования обеспечивается достаточным объемом экспериментальных исследований, применением современных средств измерений, стандартизованных методик выполнения измерений, методов статистической обработки данных, а также апробацией на научных конференциях различного уровня и на производстве.

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 статьях в изданиях, индексируемых в Scopus, 3 статьях 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.

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 технологом свеклосахарных заводов, участвовавших в анкетировании.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА, КАЧЕСТВА И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ БЕЛОГО САХАРА

1.1 Состояние и перспективы развития производства и потребления белого сахара в России

Сахар – пищевой продукт растительного происхождения со сладким вкусом. Его основу составляет углевод сахароза, в качестве микропримесей присутствуют органические и минеральные вещества. Он обладает хорошими вкусовыми качествами, легко усваивается организмом, отличается высокой калорийностью. По легкости, скорости и полноте усвоения сахар среди пищевых продуктов занимает первое место [164, 165].

В мире наиболее распространенным видом товарного сахара является кристаллический белый сахар – сахар высокой степени очистки с незначительным количеством примесей разнообразного микронутриентного состава. Он остается основным углеводным подсластителем и считается одним из наиболее распространенных продуктов питания в продуктовой корзине [99, 224, 225].

В России сырьем для производства белого сахара служит сахарная свекла – культура умеренного климата. В 2022 г. свеклосахарная отрасль России отмечала 220 лет. Эту дату она встречала лидером в ряду сахаропроизводящих стран из сахарной свеклы, являясь мощным кластером по выпуску свекловичного белого сахара с ежегодными объемами 5,7...7,2 млн т [49].

В настоящее время свеклосахарная отрасль обеспечивает продовольственную независимость страны по сахару. Пороговое значение Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации не менее 90 % уже в 2021 г. достигло 100 % [150]. Такое положение сложилось благодаря динамичному развитию свекловодства, позволяющего на основе достижений селекции и современных агротехнологий в 25 регионах собирать ежегодно до

50 млн т сахарной свеклы с высокими качественными показателями. Ежегодную выработку в среднем 6 млн т сахара из данного сырья обеспечивают 65 свеклосахарных заводов в 20 регионах [3]. Традиционными зонами свеклосеяния являются Центральный федеральный округ (ЦФО), Приволжский федеральный округ, Южный федеральный округ, в которых сосредоточено 95 % всего свеклосахарного производства страны. Ведущая роль в выращивании сахарной свеклы в России принадлежит черноземным регионам ЦФО, в частности, Курской, Тамбовской, Липецкой и Воронежской областям, на которые приходится половина от общего объема посевов и сборов культуры [110].

Курская область входит в число передовых сахаропроизводящих регионов Российской Федерации. Благоприятные для выращивания сахарной свеклы черноземные почвы, умеренный температурный режим, выгодное географическое положение и исторически сложившиеся традиции по выращиванию этой культуры обуславливают ежегодно увеличивающиеся показатели урожайности. В регионе 7 работающих сахарных заводов за сезон 2023/2024 гг. выработали более 553 тыс. т сахара. В пересчёте на общероссийский объём производства, каждая 10-я ложка сахара в стране – из Курской области [71], при этом область в числе лидеров и по потреблению сахара, что является следствием развития в данном регионе не только производства свекловичного сахара, но и кондитерских изделий, а также сложившейся культурой питания [110].

Потребление белого сахара в стране составляет 5,8...6,0 млн т в год и включает следующие ниши: население, индустрия общественного питания, фасовочные организации, промышленное потребление. На сферу индустрии общественного питания приходится до 5,2 % сахара от общего потребления; в отраслях пищевой промышленности потребляют: при производстве кондитерских изделий – 21,3 %, молочных продуктов – 4,0 %, плодоовощных продуктов – 3,1 %, хлебобулочных изделий – 2,3 %, продукции виноделия – 1,8 %, безалкогольных напитков – 1,5 %, ликероводочных напитков – 0,8 % [126, 161].

И хотя исторически конечным потребителем белого сахара является население, в современных условиях имеет место рост потребления белого сахара

отраслями экономики, в первую очередь – производящими продукты питания, где наряду с формированием вкуса и аромата изделий, он выполняет другие технологические функции [132]; для производства непищевых продуктов его используется всего около 5 % [219].

В настоящее время на российском рынке сахара наблюдается избыток товарного предложения сахара, сформированного только за счет собственных источников [61]. Ряд авторов отмечает, что в настоящее время рынок сахара в России считается перенасыщенным, в т.ч. по причине избыточного его потребления – в среднем на душу населения более чем в 1,6 раза превышена рекомендуемая норма [25, 110].

Таким образом, дальнейшее наращивание производства свекловичного белого сахара в России влечет за собой проблемы, связанные с необходимостью расширения внутреннего потребления и развития экспорта. По данным Минсельхоза, с 1 августа 2023 г. по конец февраля 2024 г. Россия экспортировала более 700 тыс. т сахара, что в 3,3 раза больше, чем за аналогичный период прошлого сезона. В то же время переход от концепции продовольственной самообеспеченности к экспортно-ориентированной модели развития свеклосахарного подкомплекса происходит в условиях геополитической нестабильности и ставит перед отраслью новые задачи повышения качества продукции и большую ориентированность на потребителя. В этой связи развитие свеклосахарной отрасли может быть драйвером развития отраслей пищевой промышленности, что имеет большое значение для развития национальной экономики.

1.2 Требования к качеству белого сахара

1.2.1 Развитие нормативных требований к белому сахару

Вопросы обеспечения качества и безопасности пищевой продукции решаются всем мировым сообществом на разных уровнях, в т.ч. развитием

стандартизации. Рассмотрим в ретроспективе изменение требований к качеству сахара в России.

Впервые документы в ранге стандартов на сахар-песок и сахар-рафинад были введены с 01.01.1929 г., в них указывались требования к органолептическим и физико-химическим показателям сахара: содержанию сахарозы, редуцирующих веществ, золы и цветности в растворе [54]. В дальнейшем требования по отдельным показателям ужесточались, появлялись новые показатели. Так, в ГОСТ 21-40 «Сахар-песок», ГОСТ 22-40 «Сахар-рафинад», а также в пришедших им на смену ГОСТ 21-57 и ГОСТ 22-57 были введены показатели содержания влаги и ферропримесей; более высокий норматив содержания сахарозы и более низкий норматив содержания редуцирующих веществ и цветности сахара. После распада СССР в 1994 г. были разработаны межгосударственные стандарты на сахар, в них наряду с известными органолептическими и физико-химическими показателями с учетом актуальных на тот момент требований сертификации введены показатели безопасности – содержание токсичных элементов, пестицидов, радионуклидов; впервые введены микробиологические показатели для производства молочных консервов, продуктов детского питания и биофармацевтической промышленности.

Таким образом, именно в XX в. были заложены основы формирования и развития требований к сахару. В начале XXI в. для отечественной сахарной промышленности актуальным становится конкурентоспособность сахара по качеству и безопасности, развитие его ассортимента в соответствии с запросами потребителей, поскольку активно развивающиеся отрасли пищевой промышленности, которые используют сахар в качестве одного из сырьевых компонентов, постоянно модернизируют технологии изготовления продуктов питания и их ассортимент.

В связи с этим с 1 июля 2011 г. был введен в действие новый национальный стандарт ГОСТ Р 53396-2009 «Сахар белый. Технические условия». В нем впервые дано определение белого сахара, установлено категорирование по двум категориям с соответствующими органолептическими и физико-химическими

показателями. На его основе был разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 31895-2012 «Сахар белый. Технические условия» [96]. Однако он не во всем удовлетворял участников рынка сахара, поэтому был разработан новый межгосударственный стандарт ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия». В нем введены четыре категории белого сахара. Эволюция нормативных требований к сахару приведена на рисунке 1.

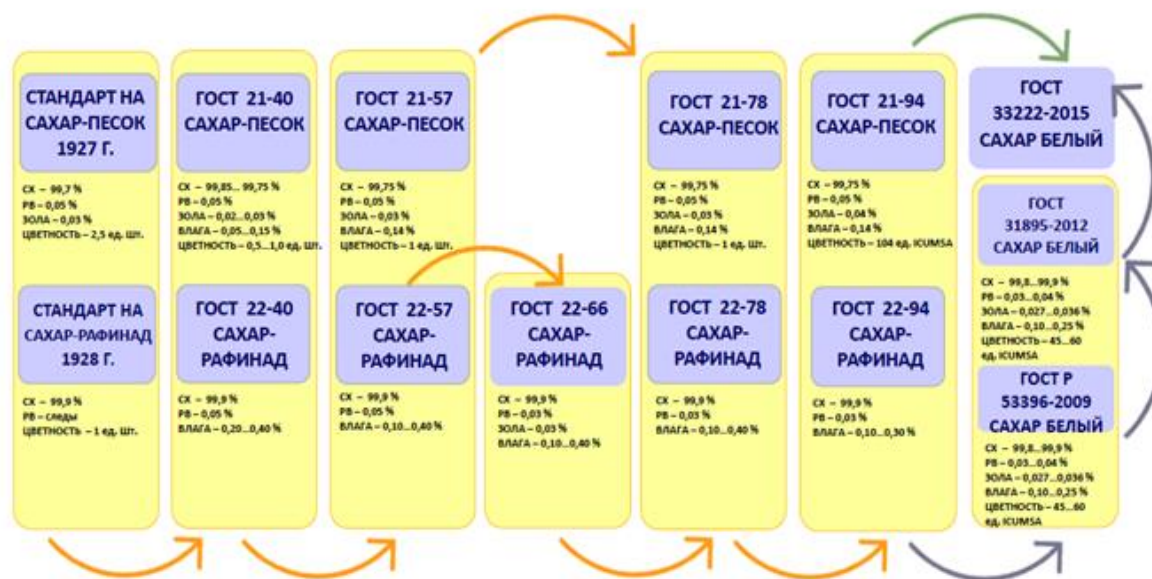


Рисунок 1 – Эволюция нормативных требований к сахару

В настоящее время свеклосахарные заводы России вырабатывают белый сахар по указанному стандарту четырех категорий: экстра, ТС1, ТС2 и ТС3. Органолептические показатели белого сахара приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Органолептические показатели кристаллического белого сахара

Наименование показателя	Характеристика белого сахара
Цвет	Белый, чистый. Для сахара категории ТС3 допускается желтоватый оттенок
Внешний вид	Однородная сыпучая масса кристаллов. Для сахара категорий ТС2 и ТС3 допускаются комки, разваливающиеся при легком нажатии
Запах и вкус	Свойственный сахару, сладкий, без посторонних запаха и привкуса как в сухом сахаре, так и в его водном растворе. Для сахара категории ТС3 допускается слабый запах мелассы
Чистота раствора	Раствор сахара должен быть прозрачным, без нерастворимого осадка, механических и других примесей. Для сахара категорий ТС2 и ТС3 допускается опалесценция

Физико-химические показатели белого сахара разных категорий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели кристаллического белого сахара

Наименование показателя	Значение показателя по категориям			
	экстра	ТС1	ТС2	ТС3
Массовая доля сахарозы по прямой поляризации, %, не менее	99,80	99,70	99,70	99,50
Массовая доля влаги, %, не более	0,10	0,10	0,12	0,15
Массовая доля редуцирующих веществ (в пересчете на сухое вещество), %, не более	0,03	0,035	0,04	0,065
Массовая доля золы (в пересчете на сухое вещество), %, не более	0,027	0,036	0,036	0,050
Цветность в растворе, единиц оптической плотности (единиц ICUMSA), не более	45,0	60,0	104,0	195,0

Требования к качеству пищевой продукции включают и требования к ее безопасности, которые регулируются техническими регламентами Таможенного союза с 1 июля 2013 г., в настоящее время – техническими регламентами Евразийского экономического союза (ТР ЕАЭС). Так, к белому сахару предъявляются обязательные требования, установленные техническими регламентами Таможенного союза: ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки».

В соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», изложенными в Приложении 2 к нему, раздел 1.14, к белому сахару при изготовлении специализированной пищевой продукции для детского питания предъявляются микробиологические нормативы безопасности (таблица 3).

В соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», изложенными в Приложении 3 к нему, раздел 5, к белому сахару предъявляются гигиенические требования безопасности (таблица 4).

Таблица 3 – Микробиологические показатели кристаллического белого сахара

Наименование показателя	Допустимый уровень
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	1×10^3
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта, (г, см ³)	1,0
Дрожжи, КОЕ/г, не более	10
Плесени, КОЕ/г (см ³), не более	10

Таблица 4 – Гигиенические показатели кристаллического белого сахара

Наименование показателя	Допустимый уровень, мг/кг, не более
Токсичные элементы	
- свинец	0,5
- мышьяк	1,0
- кадмий	0,05
- ртуть	0,01
Пестициды	
- ГХЦГ (α , β , γ изомеры)	0,005
- ДДТ и его метаболиты	0,005

Любой потребитель сахара должен быть уверенным в том, что данный продукт питания не является вредным и не представляет опасности для здоровья. Поэтому стандарт также содержит требования по массовой доле диоксида серы и содержанию ферропримесей в сахаре (таблица 5). Кроме того, правилами маркировки сахара по ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» предусмотрено нанесение на этикетку информации о содержании общего диоксида серы при уровне, превышающем 10 мг/кг.

Таблица 5 – Показатели безопасности кристаллического белого сахара

Наименование показателя	Допустимый уровень
Массовая доля диоксида серы, мг/кг сахара, не более	15
Массовая доля ферропримесей ¹⁾ , %, не более	0,0003
¹⁾ Размер отдельных частиц ферропримесей не должен превышать 0,3 мм в наибольшем линейном измерении.	

Приведенные данные свидетельствуют о том, что требования к сахару, закрепленные нормативными документами, в разные годы на протяжении XX-XXI вв. постепенно повышались, появлялись новые дополнительные показатели качества и безопасности.

1.2.2 Требования к технологическим свойствам белого сахара для промышленных потребителей

Сахар, как любой товар, обладает потребительскими свойствами – свойствами, которые предполагают, что при потреблении товара определенные потребности потребителей будут полностью удовлетворены [124]. Среди групп потребительских свойств определяющим свойством для сахара, в котором нуждается потребитель, может считаться сладость: сахар имеет чистый сладкий вкус, без постороннего привкуса и запаха, который принят за эталон сладости, удовлетворяет генетически детерминированное желание человека употреблять сладкое [87, 205]. Однако, помимо обеспечения сладкого вкуса, сахар для потребителя выполняет ряд других функций. При изготовлении продуктов питания, блюд он обеспечивает их текстуру; выполняет роль консервирующего агента за счет ингибирования роста микроорганизмов; предотвращает образование крупных кристаллов льда в замороженных сладких смесях; в напитках обеспечивает ощущение вкуса и т.д. [17, 102, 171, 240].

Важно, что среди комплекса потребительских свойств сахар обладает свойством надежности – сохранения своего функционального назначения в течение длительного времени – гораздо длительнее, чем у других продуктов питания. Указанные потребительские свойства белого сахара делают его желанным как в питании человека, так и в промышленном производстве в разных отраслях экономики.

В последнее время получает распространение понятие потребительской ценности пищевого продукта [121, 153]. Если потребителем является физическое лицо, то для него потребительская ценность определяется мерой соответствия

собственным ожиданиям от его приобретения и использования [8, 122].

Если потребителем является промышленное предприятие, то потребительская ценность (сырьевая ценность) продукта будет определяться тем, насколько его свойства удовлетворяют требованиям процессов производства нового продукта, тем, что какое-либо негативное влияние на потребительские свойства нового продукта как после изготовления, так и в течение срока годности будут отсутствовать [39, 65, 92, 120].

Производители пищевых продуктов учитывают меняющиеся предпочтения потребителей, стремятся сами сформировать новую культуру потребления пищевых, расширяют ассортимент традиционных продуктов, обновляют их рецептуру, создают неожиданные сочетания структуры и вкуса пищевых масс, за счет технологических приемов производства и применения специальной упаковки увеличивают сроки годности продуктов [14, 59, 129, 138, 160, 218, 231]. Связанные с этим изменения технологий производства ведут к появлению новых требований к сырьевым ингредиентам, в т.ч. и сахару [91, 95]. Поэтому к сахару как сырьевому ингредиенту в ряде отраслей пищевой промышленности: кондитерской, при производстве напитков, ликеро-водочных изделий сложились дополнительные требования, помимо установленных в ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия», которые отражаются в контрактах на поставку.

Сахар в разных отраслях промышленности выполняет разные функциональные задачи. Для производства большинства пищевых продуктов важна его сладость, в то же время разнообразный ассортимент изделий в большинстве отраслей использует свойство сахара образовывать и удерживать структуру, усиливать пенообразование зефирных масс [170, 185, 206, 223, 224, 241]. Важными считаются последствия взаимодействия сахара с другими рецептурными компонентами изделия, которые приводят к замедлению процесса эмульгирования, снижению степени набухания белков, повышению температуры клейстеризации крахмала [166]. Эти свойства сахара присущи исключительно ему, но не различным заменителям, что часто ухудшает характеристики

полученного изделия, приводит к возникновению сложностей в технологии [18, 98].

Наиболее крупным промышленным потребителем белого сахара является кондитерская промышленность, где он используется при производстве огромной линейки кондитерских изделий: ежегодно в отрасли потребляется около 1,5 млн т сахара или 23...25 % от всего произведенного [81]. Для производства разных групп кондитерских изделий используются разные процессы, с этим связана корректировка требований к сахару для обеспечения оптимального протекания каждого из процессов. Причем определенное качество сахара может затруднять протекание технологического процесса изготовления одной группы изделий, но при этом способствовать успешному протеканию процессов изготовления другого изделия.

На этапе приготовления карамельного сиропа важна скорость растворения сахара, которая определяется размером и формой кристаллов. Причем скорость растворения снижается при увеличении массовой доли крупных кристаллов, но и наличие большого количества кристаллов размером менее 0,2 мм также приводит к негативным последствиям – образованию хлопьев и комьев [178, 190, 234]. Высокий коэффициент неоднородности повышает вероятность сохранения кристаллов в карамельном сиропе, которые на этапе уваривания карамельной массы служат центрами кристаллизации [235]. Поэтому производители кондитерских изделий при оценке качества белого кристаллического сахара устанавливают дополнительные требования. Оптимальным считается размер кристаллов сахара от 0,63...1,0 мм; при этом содержание кристаллов размером 0,25...0,32 мм не должно превышать 4 %; размером менее 0,25 мм – 1 %; коэффициент неоднородности не более 30 [35, 188, 221].

В то же время в технологии кондитерских изделий важную роль играет кондитерская и жировая глазурь, но для ее производства предпочтительнее использовать сахар с размером кристаллов не более 0,5 мм [72, 232, 233].

При приготовлении карамельного сиропа возникающее пенообразование приводит к затруднениям производственного процесса и увеличению потерь при

производстве карамельной массы [234, 242]. Основным пенообразователем белого свекловичного сахара считаются сапонины, переходящие в кристаллы из сахарной свеклы. Отсутствие пенообразования наблюдается при концентрации сапонинов в сахаре менее 0,2 мг/кг, обильное пенообразование – при концентрации более 1,5 мг/кг [72]. Поэтому показатель содержания сапонинов не более 1,5 мг/кг является индивидуальным требованием в производстве кондитерских изделий.

На этапах производства некоторых кондитерских масс значима роль цветности и мутности раствора сахара, содержания в нем взвешенных частиц [16]. Так, повышенная мутность и цветность сахара, высокое содержание взвешенных частиц не позволяют производить из него леденцовую карамель светлых цветов, особенно это критично для леденцов зеленого цвета, не обеспечивают прозрачность карамельной и желейных масс, ухудшают презентабельность зефирных и помадных масс [84, 227]. Поэтому, производители кондитерских изделий предъявляют следующие требования к сахару: цветность в растворе не выше 104,0 ед. ICUMSA; мутность в растворе не более 20,0 ед. ICUMSA; содержание взвешенных частиц не более 0,02 % (200 мг/кг).

Причиной мутности раствора сахара часто является наличие в нем труднорастворимых солей кальция. Соединения кальция увеличивают содержание золы, рН таких растворов уходит в щелочную область до щелочного значения, это затрудняет процесс варки сахаро-паточного сиропа и негативно сказывается на качестве получаемых кондитерских изделий [235]. Поэтому в качестве дополнительного требования к сахару в кондитерском производстве устанавливают максимальный уровень содержания кальция не более 0,0016 % (0,004 % CaO). Содержание золы устанавливается на уровне норматива белого сахара категории ТС2 – не более 0,036 %, так как повышенное содержание золы сокращает срок хранения шоколадной продукции [181].

Белый сахар является ингредиентом, входящим в рецептуру напитков длительного хранения, который придает продукту полноту вкуса и экстрактивность. Производители таких напитков предъявляют строгие

ограничения по качеству сахара, для устранения постороннего запаха, исключения в напитке хлопьев, коллоидного осадка и др., изменения цвета готового напитка [228, 239].

На органолептические характеристики напитков в первую очередь влияют цветность сахара, содержание в нем золы, мутность его раствора. Для приготовления напитков с заданными качественными характеристиками считается, что цветность раствора сахара не должна превышать 35,0 ед. ICUMSA, мутность 20,0 ед. ICUMSA, кондуктометрическая зола – 0,015 % [26].

Для получения прозрачности готовых напитков следует применять белый сахар с содержанием нерастворимых примесей не более 10 мг/кг. Прозрачность и стойкость напитков обеспечивается также отсутствием флокулообразующей способности раствора сахара при подкислении [133]. Хлопья в напитках образуются при взаимодействии одинаково заряженных микронутриентов сахара, в результате появляются микрочастицы коллоидной дисперсности, коагулирующие в хлопья. Продуцентами флокул могут выступать: сапонины, в микроколичествах переходящие в сахар из сахарной свеклы; полисахариды из клеточных стенок свекловичной ткани, содержащие уроновую кислоту; олеаноловая кислота; белки и пептиды; силикаты; остаточные количества пеногасителей и других поверхностно-активных несахаров [21, 175, 201]. Мигрируя в готовую продукцию из сахара, они приводят к необратимым изменениям в виде образования осадков, помутнения напитков [143]. В этой связи, производители напитков длительного хранения предъявляют требования по отсутствию флокулообразования у используемого сахара.

Белый сахар является одним из основных ингредиентов для производства разнообразной ликероводочной продукции: ликеров, наливок, настоек, водок, слабоалкогольных напитков; винодельческой продукции: плодовых, ароматизированных вин, крепких напитков, коньяков, бренди и кальвадосов [106, 222]. Поэтому критерии оценки качества белого сахара связаны с оценкой тех показателей, которые могут привести к ухудшению качества готовой продукции. Нежелательными в сахаре являются посторонние включения; мутность или

опалесценция раствора сахара; присутствие сернистых соединений и соединений кальция [69, 220]. Соответственно, для производства ликероводочной продукции предъявляются следующие требования к сахару: цветность в растворе – не более 30,0 ед. ICUMSA, содержание кальция – не более 1,5 мг/кг, содержание золы – не более 0,015 %, содержание диоксида серы – не более 6,0 мг/кг, содержание нерастворимых примесей – не более 2,0 мг/кг [141].

Таким образом, рассмотрение дополнительных показателей качества белого свекловичного сахара как сырьевого ингредиента для отраслей пищевой промышленности создает предпосылки для их систематизации и учета в системе контроля качества сахара при его производстве.

1.3 Технологическая схема производства белого сахара, влияние отдельных операций на его качество

Технологическая схема производства белого кристаллического сахара из сахарной свеклы в виде укрупненных этапов приведена на рисунке 2 [194].

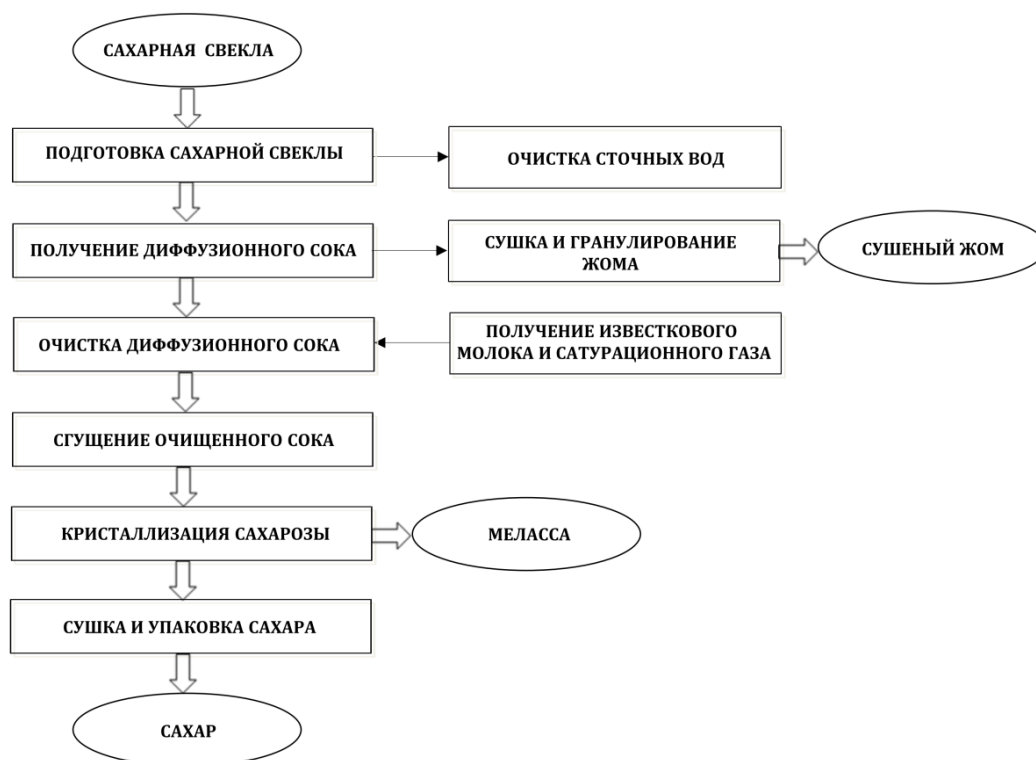


Рисунок 2 – Укрупненные этапы технологического потока производства белого свекловичного сахара

Подготовка сахарной свеклы заключается в удалении примесей от корнеплодов и отмывании их водой.

Технологической задачей этапа получения диффузионного сока является максимальное извлечение сахарозы из ткани сахарной свеклы в раствор при минимальном переходе в него других несахаров [202]. При этом состав диффузионного сока оказывает влияние на качество сахара и мелассы за счет содержащихся в нем несахаров [11, 174, 187]. Обычно чистота диффузионного сока составляет 87...92 % и определяется содержащимися в нем растворимыми несахарами: белковыми, пектиновыми, редуцирующими веществами, аминокислотами, амидами кислот, солями органических и неорганических кислот и др. Поскольку выделение сахарозы в кристаллическом виде из такого раствора невозможно, его подвергают очистке для удаления максимального количества несахаров.

Технология известково-углекислотной очистки диффузионного сока основана на многократной последовательной его обработке известью и диоксидом углерода с выводом образующегося осадка несахаров. Она включает совокупность ряда специальных технологических процессов, проводимых в определенной последовательности, предназначенных для максимального удаления несахаров, однако даже теоретический эффект очистки не может превышать 45 % [11, 111]. В очищенном соке остаются несахара в виде красящих веществ, зольных элементов, в т.ч. солей кальция, аминокислот, редуцирующие вещества будут продолжать накапливаться на последующих стадиях технологического потока, поэтому качество сахара всегда будет определяться эффективностью очистки, возможностью за счет нее управлять составом несахаров в готовом продукте.

Очищенный сок представляет собой разбавленный раствор, поэтому его сгущают до сиропа с содержанием сухих веществ 65...73 % в выпарных установках. При сгущении сока в нем происходят процессы разложения сахарозы, приводящие к увеличению содержания редуцирующих веществ, повышению цветности сиропа и снижению pH. Полученный сироп содержит красящие

вещества, образовавшиеся в результате взаимодействия несахаров; при этом для получения белого сахара стандартного качества его цветность не должна превышать 600 ед. оптической плотности.

Для предотвращения дальнейшего образования красящих веществ при кристаллизации сахарозы сироп подвергают обработке сернистым ангидридом и фильтруют для удаления взвешенных частиц [29, 168, 192].

Технология производства белого сахара разных категорий отличается глубиной очистки сиропа от веществ, придающих окраску и мутность. Основными приемами очистки являются: фильтрование с использованием фильтрующих средств; обесцвечивание активным углем; известково-углекислотная очистка сиропа; многостадийное фильтрование с использованием фильтров тонкой очистки [85, 142, 179, 186].

Выделение сахарозы в виде кристаллов из сахаросодержащих растворов – сиропа, оттеков проводится ступенчатым увариванием утфелей в вакуум-аппаратах. Пищевая система утфеля первой ступени кристаллизации является основой получения белого сахара, поэтому ее состоянием определяется качество и выход сахара, а от состояния утфеля последней ступени кристаллизации зависит содержание сахара в мелассе [11, 146].

Многовариативность схем кристаллизации сахарозы с разными нормативными параметрами протекания процессов подкрепляется разными вариантами систем автоматического управления с использованием компьютерных программ, различными моделями производства, формирует вариации полуфабрикатов технологического потока [78, 90, 130, 145, 189, 214, 230].

Схемы кристаллизации включают также процессы центрифугирования утфелей и сушку сахара. Товарное качество сахара образуется после центрифугирования утфеля первой ступени кристаллизации – процесса разделения утфеля на кристаллы и межкристальный раствор в соответствии с известной теорией центробежной фильтрации, последующей сушки кристаллов путем испарения влаги с поверхности кристаллов [10, 125, 147, 172, 197]. Работа центрифуг обеспечивает промывание кристаллов сахара, окончательно формируя

их цвет и содержание примесей, а работа сушильных аппаратов – влажность сахара.

Как было отмечено ранее, потребительские свойства сахара во многом определяются его гранулометрическим составом. Зародыши кристаллов при уваривании утфеля могут образовываться в пересыщенном растворе, но самопроизвольное их появление довольно затруднено, а иногда, при наличии некоторых несахаров, практически невозможно. Следует отметить, что самопроизвольно центры кристаллизации образуются не одновременно, и это приводит к образованию кристаллов сахарозы разных размеров, к тому же в этом случае количество образовавшихся центров невозможно регулировать [135].

Поэтому процесс кристаллообразования осуществляют путем принудительного введения центров кристаллизации сахарозы. Для этого используют специальные затравочные материалы. Затравочные материалы являются катализаторами-инициаторами физико-химических процессов кристаллизации сахарозы и предназначены для образования центров кристаллизации сахарозы в пересыщенном сахаросодержащем растворе. Они позволяют повысить показатели качества утфеля, улучшить гранулометрический состав кристаллического сахара, сократить время активной работы вакуум-аппаратов [97, 100, 103].

На качество белого сахара и мелассы существенное влияние оказывает фитопатологическое состояние корнеплодов сахарной свеклы [213]. Поражение корнеплодов заболеваниями вирусной, грибной и бактериальной этиологии приводит к резкому возрастанию содержания α -аминного азота, калия и натрия; выделяемые микроорганизмами ферменты гидролизуют протопектин, который переходит в растворенное состояние [207, 212]. В процессе гниения ткани снижается содержание сахарозы, идет накопление редуцирующих веществ, ВМС на всех этапах производства сахара. Содержащиеся в бактериях гидролитические ферменты приводят к трансформации сложных соединений в простые, что ведет к накоплению редуцирующих веществ, α -аминного азота, зольных элементов, разрушению белковых соединений клеточных структур. Эти изменения

способствуют ухудшению технологического качества сахарной свеклы, способности ее к хранению [215, 217]. Увеличение количества всех групп нес сахаров, снижение чистоты клеточного сока приводит к снижению чистоты полуфабрикатов, и, соответственно, к снижению потребительских свойств готовой продукции: увеличению зольности сахара, цветности и мутности его растворов, ухудшению гранулометрического состава; снижению хранимоспособности мелассы [51, 52].

Таким образом, качество белого сахара и мелассы, их потребительская ценность в значительной степени определяется качеством сахарной свеклы.

Значимым фактором в формировании качества белого сахара и мелассы, их потребительских свойств являются используемые в технологических процессах переработки сахарной свеклы технологические вспомогательные средства (ТВС). Выполняя свое целевое предназначение, они напрямую или косвенно участвуют в формировании качества полуфабрикатов, что в дальнейшем отражается на качестве вырабатываемой готовой продукции [159, 194]. Одни ТВС служат непосредственными участниками специальных технологических процессов экстрагирования и кристаллизации сахарозы, известково-углекислотной очистки сахарных растворов; другие создают оптимальные условия и обеспечивают интенсификацию процессов; третьи ингибируют возникающие нежелательные процессы – пенообразование, накипеобразование, образование красящих веществ, микробиологические процессы.

Применение ТВС, с одной стороны, является обоснованным и технологически оправданным, направлено на интенсификацию процессов, повышение качества белого сахара; с другой стороны – остаточные количества ТВС, попадая в белый сахар, снижают его сырьевую ценность для промышленных потребителей [80, 97]. Наибольшее отрицательное влияние могут оказывать остаточные количества антинакипина – способствуя включению солей кальция в кристаллы сахара повышают в нем содержание золы; остаточные количества действующих веществ деколорантов сахара увеличивают содержание диоксида серы [36].

Использование ТВС способствует не только улучшению качества белого сахара, но и снижению сырьевых, энергетических и водных ресурсов, повышению выхода сахара [6]. Разнообразная ассортиментная функциональная линейка ТВС рассчитана на все случаи производства и находится в прямой зависимости от технологического качества сахарной свеклы: чем оно выше, тем она короче и расход средств меньше и, наоборот, чем ниже качество сырья, тем линейка средств шире и расход их больше [7].

Таким образом, потребительская ценность белого сахара и мелассы во многом определяются качеством перерабатываемого сырья – сахарной свеклы, разнообразием и рациональным расходом применяемых в технологическом потоке функциональных ТВС.

1.4 Проблемы контроля технологического потока и качества белого сахара

Современная концепция управления качеством и безопасностью пищевой продукции базируется на постулате, что контроль качества и безопасности должен осуществляться в ходе производственного процесса, а не по его окончании [27]. Исходя из этого, производственному контролю технологического потока производства белого свекловичного сахара отводится важная роль в обеспечении качества и безопасности продукции.

Базовым документом по методологии контроля в отрасли до настоящего времени остается Инструкция по химико-техническому контролю и учету сахарного производства [68]. Основные ее положения были разработаны в 80-е годы XX в. Изменения на законодательном уровне, сдвиги в практической экономике многое поменяли в обстановке среды, которая опосредованно взаимодействует с последствием системы контроля.

Так, значительно изменилось состояние рынка сахара. Если в 80-е годы XX в. максимальный объем выработки сахара составил 2,9 млн т – в сезон переработки урожая 1977 г., то в сезон переработки урожая 2019 г. произведено

рекордное количество 7,31 млн т. Отечественный рынок сахара становится экспортоориентированным, что связано с иными требованиями к качеству продукции [117, 177]. Более того, за 40 лет появились новые параметры качества и безопасности сахара [50, 54, 56, 64, 180].

Спрос на сахар у населения уменьшается, а у промышленных потребителей растет. Если в 2015 г. доля потребления сахара населением составила 55 % общего количества, при этом кондитерская промышленность использовала 21,3 % [161], то уже в 2017 г. доля потребления населением снизилась до 50 %, а в кондитерской промышленности возросла до 25 % [70] на фоне роста общего производства сахара с 5,1 млн т до 6,6 млн т. Растет производство другой пищевой продукции с использованием сахара. Так, экспертные оценки показывают рост натурального объема продаж безалкогольных напитков в России в 2013-2017 гг. с 15,10 до 15,25 млрд л. Такая ситуация имела место вплоть до 2021 г. [2].

Непосредственно в технологии изменились локальные процессы: получили распространение схемы экстрагирования сахарозы с глубоким отжатием жома и использованием жомопрессовой воды в качестве экстрагента [109], уваривания утфелей на основе стандарт-сиропа и маточного утфеля [191], вариации схем очистки диффузионного сока значительно расширились [148]; на трех предприятиях внедрены технологии обессахаривания мелассы методом ионообменной хроматографии [70, 77]; технологические линии укомплектовываются современным энергосберегающим автоматизированным оборудованием – диффузионными установками [107], камерными фильтр-прессами и фильтрами тонкой очистки [192], вакуум-аппаратами с принудительной циркуляцией утфеля, вакуум-аппаратами непрерывного действия [114, 116], центрифугами с повышенным фактором разделения [167], энергоэффективными сушильно-охладительными комплексами для сахара, жома [118] и др., при этом появляются новые параметры контроля процессов.

Линейка технологических вспомогательных средств, применение которых законодательно закреплено ТР ТС 029/11 «Требования безопасности пищевых

добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», продолжает расширяться [159].

Взамен ранее существовавших двух ГОСТ 21-94 и ГОСТ 22-94 появился единый межгосударственный стандарт [31]. 15 стандартов на методы испытаний сахара и другой продукции отрасли гармонизированы с международными требованиями – методиками ICUMSA [226]. В то же время при применении ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Методы определения цветности» у пользователей возникают искажения результатов цветности за счет мутности раствора в случае использования фильтрования раствора через бумажный фильтр. Исходя из определения цветности сахара как окрашенности раствора, обусловленной присутствием исключительно красящих веществ, следует отделить влияние других соединений на величину оптической плотности. В случае применения фильтрования раствора через бумажный фильтр имеет место завышение величины цветности, что может приводить к предъявлению претензий со стороны потребителей, занижению категории сахара.

Происходит сегментирование требований к сахару в нишах потребителей [72, 82, 198, 200]. Особенно это относится к промышленным потребителям, для которых важными являются показатели, не нашедшие отражения в стандарте, например, наличие продуктов деструкции крахмала в сахаре, мутность раствора, гранулометрический состав и др. [178, 200].

Изменения в экономике, нормативной базе, хозяйственной деятельности предприятий требуют соответствующего отражения в документах, относящихся к области контроля технологических процессов производства сахара.

В соответствии с документом «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» качество пищевой продукции это «совокупность характеристик пищевой продукции, соответствующих заявленным требованиям и включающих ее безопасность, потребительские свойства, энергетическую и пищевую ценность, аутентичность, способность удовлетворять потребности человека в пище при обычных условиях использования в целях обеспечения сохранения здоровья человека». В

обеспечении получения готовой продукции гарантированного качества и безопасности важная роль отводится современной системе управления качеством и безопасностью на предприятии. Как отмечается, только система комплексного контроля качества и безопасности пищевых продуктов по схеме «от поля до стола» позволяет обеспечить их безопасность [89].

Проблемами создания и внедрения комплексных систем менеджмента качества и безопасности занимались многие ученые [23, 60, 128]. Так, показана эффективность данной системы при производстве хлеба [4], кондитерских изделий [155], в молочной промышленности [183], при производстве игристых вин [104]. Авторами продвигается идея комплексного подхода к управлению рисками в интегрированной системе менеджмента качества и безопасности пищевой продукции, демонстрируется эффективный механизм управления качеством продукции [24, 208, 211, 243].

Управление безопасностью пищевой продукции за счет внедрения системы ХАССП является обязательным условием работы всех пищевых предприятий [66]. Учитывая, что система ХАССП является эффективным инструментом превентивного обеспечения безопасности пищевой продукции на уровне предприятия, предусматривающим только систематическую идентификацию, оценку и управление опасными факторами, у предприятий возникает необходимость внедрения комбинированных систем менеджмента качества и безопасности, в т.ч. на основе применения стандартов ИСО 9001, ИСО 22000, ISO 22000, FSSC 22000. Так, например, популярный в последнее время стандарт FSSC 22000 является инструментом бизнес-управления, который связывает продовольственную безопасность и бизнес-процессы с возможностью удовлетворить растущие требования потребителей и обеспечить выпуск гарантировано качественной и безопасной пищевой продукции [1].

Таким образом, складывается ситуация, когда к сахару покупателями в виде промышленных потребителей предъявляются дополнительные требования по целому ряду показателей, не вошедших в нормативные документы. Действующая же система технологического контроля обеспечивает лишь надлежащее

соблюдение показателей в соответствии с требованиями стандартов. Такое положение отрицательно влияет на конкурентоспособность продукции отечественных сахарных заводов, маскирует направления необходимой модернизации технологических линий сахарных заводов и развития новой техники для них, поддерживает массив методов испытаний продукции в отрасли и применяемого приборного парка на уровне отставания от современного, сдерживает развитие других отраслей пищевой промышленности в части создания новых видов продуктов питания. Кроме того, на предприятиях сахарной промышленности отсутствует комплексный контроль, совмещающий систему безопасности, основанную на выявлении и оценке факторов, которые могут негативно влиять на безопасность сахара, и систему качества с учетом дополнительных требований промышленных потребителей.

Заключение по обзору литературных источников.

В целом, анализ источников научно-технической литературы показал, что действующая в настоящее время система контроля технологических процессов производства сахара потеряла свою актуальность ввиду произошедших с того времени существенных изменений во многих сферах, в открытых источниках отсутствует информация о развитии данного научного направления, патенты в отношении контроля технологического потока производства сахара. Исходя из этого, вытекает актуальность создания эффективной системы комплексного контроля на предприятиях сахарной промышленности. При этом целесообразно использовать совместно современный мировой опыт в области управления качеством продукции, например, положения международных стандартов ISO серий 9000 и 22000, а также требования ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и др. Для этого необходимо углубленное исследование фактических физико-химических показателей качества белого сахара как представленных в ГОСТ 33222, так и дополнительных показателей по требованиям промышленных потребителей, выявление их взаимосвязи с параметрами полуфабрикатов технологического потока его производства, разработка актуальных схем и методик контроля.

ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Схема проведения исследований, организация постановки эксперимента

Схема проведения исследования по диссертационной работе (рисунок 3) включала теоретические и экспериментальные исследования и предполагала:

- расширение научных знаний о фактических показателях качества и безопасности белого сахара и их соответствия дополнительным требованиям промышленных потребителей и, как следствие, новый взгляд на организацию системы контроля технологического потока его производства;
- создание в системе контроля в зависимости от целей использования сахара базовой и расширенной схем контроля технологического потока производства белого сахара из сахарной свеклы, включающих массив объектов контроля и контролируемых величин технологического потока, указание периодичности контроля;
- совершенствование методик определения показателей качества белого сахара и методик измерений сквозных параметров полуфабрикатов в структуре контроля технологического потока производства сахара;
- разработку программно-технического инструментария мониторинга технологического потока производства сахара, предназначенного для прогнозирования, управления и оптимизации технологических процессов, обеспечивающего выпуск качественной и безопасной продукции по требованиям потребителей.

Исследования осуществлялись в структурном подразделении НИИ сахарной промышленности ФГБНУ «Курский ФАНЦ».

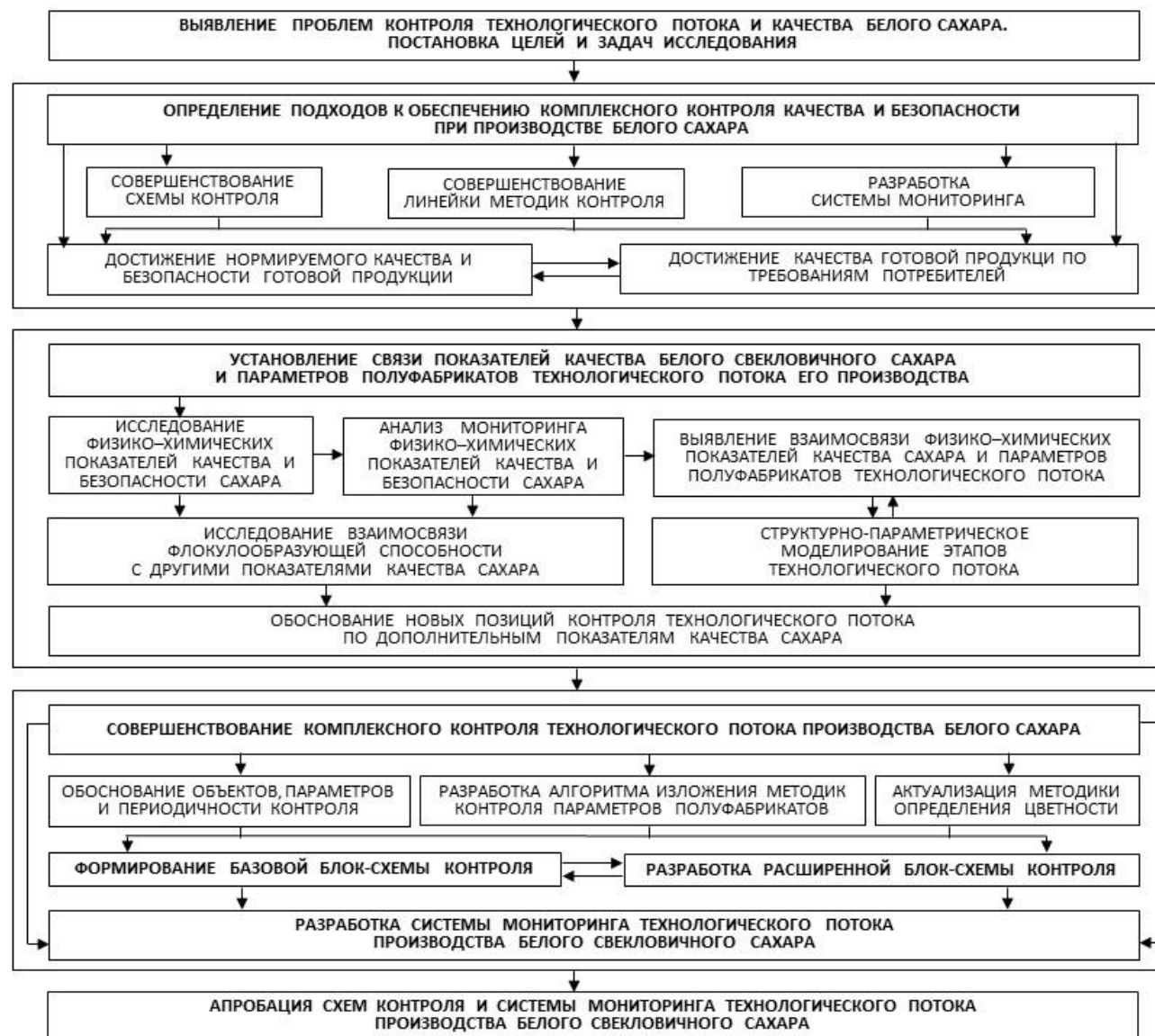


Рисунок 3 – Схема проведения исследований по диссертационной работе

2.2 Объекты исследования

Объектами исследований являлись:

- 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;
- требования ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия», ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств»;
- система контроля технологического потока производства свекловичного сахара из сахарной свеклы в аспекте обеспечения требований нормативных документов и дополнительных требований промышленных потребителей, оснащенности 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.

2.3 Методы исследования

Методы исследования – аналитические, включающие системный анализ и синтез; обобщения, систематизации, классификации, моделирования; сравнительно-аналитический, корреляционно-регрессионный анализ результатов и др.; обработку и представление полученных результатов осуществляли с использованием пакета прикладных программ Statistica, Microsoft Excel.

Для исследования показателей белого сахара использовали методики, изложенные в межгосударственных и национальных стандартах, также были применены международные методики ICUMSA.

Лабораторные исследования выполнялись с применением методов поляриметрии, рефрактометрии, фотометрии, pH-метрии, кондуктометрии, титриметрии; приборов: поляриметров автоматических Saccharomat NIR W2, P3000, автоматического рефрактометра DUR-SW, рефрактометра лабораторного ИРФ-454 Б2М, фотометров Coloromat 100, КФК-3-01 ЗОМЗ, анализатора жидкостного кондуктометрического InoCond 7110, кондуктометра КП-150МИ, многопараметрового анализатора HANNA EDGE, анализаторов Анион 4100, влагомера весового AND MS-70, весов лабораторных электронных CE 612-C, ViBRA HT 224RCE.

Исследуемые показатели белого сахара и методики их определения приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Исследуемые показатели белого сахара и методики определения

Наименование показателя	Методика определения
Массовая доля сахарозы по прямой поляризации	ГОСТ 12571-2013 «Сахар. Метод определения сахарозы»
Массовая доля влаги	ГОСТ Р 54642-2011 «Сахар. Методы определения влаги и сухих веществ»
Массовая доля редуцирующих веществ	ГОСТ 12575-2001 «Сахар. Методы определения редуцирующих веществ»
Массовая доля золы	ГОСТ 12574-2016 «Сахар. Методы определения золы»
Цветность в растворе	ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности»
Массовая доля диоксида серы	ГОСТ 34201-2017 «Сахар. Определение диоксида серы йодометрическим методом»
Гранулометрический состав	ГОСТ 12579-2013 «Сахар. Метод определения гранулометрического состава»
Мутность раствора	GS2/3-18 (2013) «Определение мутности растворов белого сахара»
Водородный показатель pH	GS1-23 (2009) «Определение pH прямым методом»
Флокулообразующая способность раствора	GS2/3-40A (2007) «10-дневный тест ICUMSA для белого сахара на образование хлопьев в подкисленных безалкогольных напитках», GS2/3-40B (2007) «24-часовой тест ICUMSA для белого свекловичного сахара на образование хлопьев в подкисленных безалкогольных напитках»
Массовая доля кальция	Методика ФГБНУ «Курский ФАНЦ»

Флокулообразующую способность растворов сахара оценивали по методикам, распространенным в международной практике, основанным на

визуальном определении наличия любых образовавшихся хлопьев в растворе при подкислении.

По методике ICUMSA GS2/3-40A 600 г исследуемого сахара помещали в прозрачную стеклянную емкость вместимостью 1000 см³, добавляли 500 см³ дистиллированной воды, перемешивали до растворения сахара, смесь подкисляли до pH 1,5 добавлением ортофосфорной кислоты. Емкость оставляли в покое при комнатной температуре на 10 дней.

Через установленный промежуток времени (3-й, 7-й, 10-й дни) емкости осторожно, не взбалтывая содержимого, помещали перед сильным лучом света и рассматривали с передней стороны, визуально оценивая любые образовавшиеся хлопья. Проба считалась прошедшей тест, если наблюдалось полное отсутствие видимых частиц или же раствор был непрозрачный, но не содержал видимых отдельных частиц.

По методике ICUMSA GS2/3-40B 70 г исследуемого сахара помещали в емкость с широким горлом и пластиковой закручивающейся крышкой вместимостью 250 см³, добавляли 163 см³ дистиллированной воды, перемешивали до растворения сахара, смесь подкисляли до pH 2,0 добавлением ортофосфорной кислоты. Емкость с неплотно закрытой крышкой помещали в кипящую водяную баню, выдерживали 15 мин, после извлечения из водяной бани оставляли в покое на 24 часа при комнатной температуре с закрытой крышкой, после истечения времени покоя визуально оценивали любые образовавшиеся хлопья.

Согласно методикам оценка результата флокулообразующей способности дается по величине образовавшихся хлопьев, с ранжированием по четырем диапазонам: 1 – низкая – очень маленькие отдельные частицы, форма которых неразличима, но которые видны в луче света; 2 – средняя – несколько частиц соединены вместе с образованием маленьких ворсистых частиц (примерный размер 0,8 мм); 3 – высокая – пушистые частицы (примерный размер 1,5 мм); 4 – высокая – агломераты коллоидных частиц, образующих крупные пушистые частицы, видимые без луча света (примерный размер 3 мм).

В данном исследовании для удобства сравнения результатов было предложено флокулообразующую способность растворов сахара оценивать в следующей градации: О – отсутствует (раствор прозрачный с отсутствием видимых частиц; раствор непрозрачный, с отсутствием видимых частиц); Н – низкая (в растворе присутствуют очень маленькие отдельные частицы, видимые в луче света); С – средняя (в растворе присутствуют ворсистые частицы размером около 0,8 мм); В – высокая (в растворе наблюдаются крупные пушистые частицы или агломераты до 3 мм, видимые без луча света).

Определение мутности белого сахара в растворе проводили по методике, основанной на нахождении разности определенных фотоэлектроколориметрическим методом при длине волны 420 нм величин цветности раствора белого сахара, полученных без фильтрования раствора и с фильтрованием через мембранный фильтр, с выражением результата в единицах оптической плотности (единицах ICUMSA).

Водородный показатель, рН определяли потенциометрически с помощью рН-метра [182] после калибровки с использованием известных буферных растворов. Измерения проводили в водном растворе сахара при разбавлении его в дистиллированной воде 1:1.

Содержание кальция определяли методом комплексометрического титрования. Проба раствора сахара в буферной щелочной среде титруется комплексоном III (трилоном Б) в присутствии металлоиндикатора хромового темно-синего, образующего с ионами кальция окрашенный комплекс, до изменения окраски титруемого раствора при переходе металлоиндикатора в свободную форму в момент разрушения указанного комплекса и полного связывания ионов кальция с комплексоном III.

ГЛАВА 3 ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛОГО САХАРА

Находясь в постоянном развитии на фоне растущей конкуренции, предприятия по производству пищевой продукции испытывают давление со стороны меняющихся потребительских предпочтений, подстраиваясь под требования рынка. В их современной практике для управления качеством и безопасностью продукции используется все многообразие систем и программ контроля. Преимущество получают различные интегрированные системы, основанные на комплексном подходе для решения различных ситуационных задач [128, 155, 169]. Часто они основаны на многоуровневой системе контроля с применением программы ХАССП [76]. Последними трендами считается интеграция систем ХАССП с новыми системами ТАССП (Анализ угроз и критические контрольные точки) и ВАССП (Анализ уязвимостей и критические контрольные точки), которые в своей основе в большинстве содержат единые принципы и инструменты [23].

Учитывая, что в результате реализации системы контроля на предприятии получают большие объемы данных, как правило, неструктурированных, в последние годы активно развивается их цифровая трансформация. Так, для контроля зерновых дистиллятов и напитков на их основе разработан Модуль мониторинга технологических процессов для интегрирования в комплексную систему контроля [197]. Специализированный программный комплекс позволяет автоматизировать выполнение процедур внутреннего контроля, архивирование результатов, формирование различных отчетов [152]. Такие усовершенствованные системы контроля имеют хороший потенциал использования при реализации систем менеджмента качества и безопасности пищевой продукции.

Свеклосахарное производство – важный сегмент среди перерабатывающих отраслей АПК, который обеспечивает экономику страны важным продуктом

питания и сырьевым ингредиентом. Соответственно, распределенный вклад качества и безопасности сахара в новые продукты с его использованием, высок, что придает вопросу их контроля особую значимость. Учитывая имеющиеся проблемы контроля технологического потока и качества сахара, изложенные в подразделе 1.4, полагаем, что их решение возможно на основе комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара, направленного на решение ряда ситуационных задач: улучшение потребительских свойств продукции, решение конкретных технологических проблем и др. [115, 196]. Под комплексным контролем в данной работе понимается интеграция собственно контроля технологического потока производства сахара; системы ХАССП, как обязательного атрибута работы любого пищевого предприятия; дополненной системой мониторинга и управления, выступающей как элемент дальнейшего улучшения в системе менеджмента [140]. При этом интеграция осуществляется вокруг центрального звена – контроля технологического потока, дополняя и трансформируя получаемую информацию с целью выполнения основного целеполагания.

Построение такой комплексной системы (рисунок 4) осуществляется на основе следующих подходов.

1. При организации комплексного контроля качества и безопасности контроль технологического потока должен быть реформатирован под новую парадигму, в основе которой изменение представлений о целях и конечных результатах системы контроля технологического потока [41, 44, 45, 46, 48]. Предполагается пересборка действующей схемы контроля с уточнением объектов контроля, контролируемых параметров и периодичности контроля, в результате чего будет сформирована базовая схема контроля, предназначенная для достижения нормируемого качества и безопасности готовой продукции. Для достижения качества продукции по дополнительным требованиям потребителей предстоит разработать расширенную схему контроля, в которой ее атрибуты подлежат обоснованию по результатам проведенных исследований.

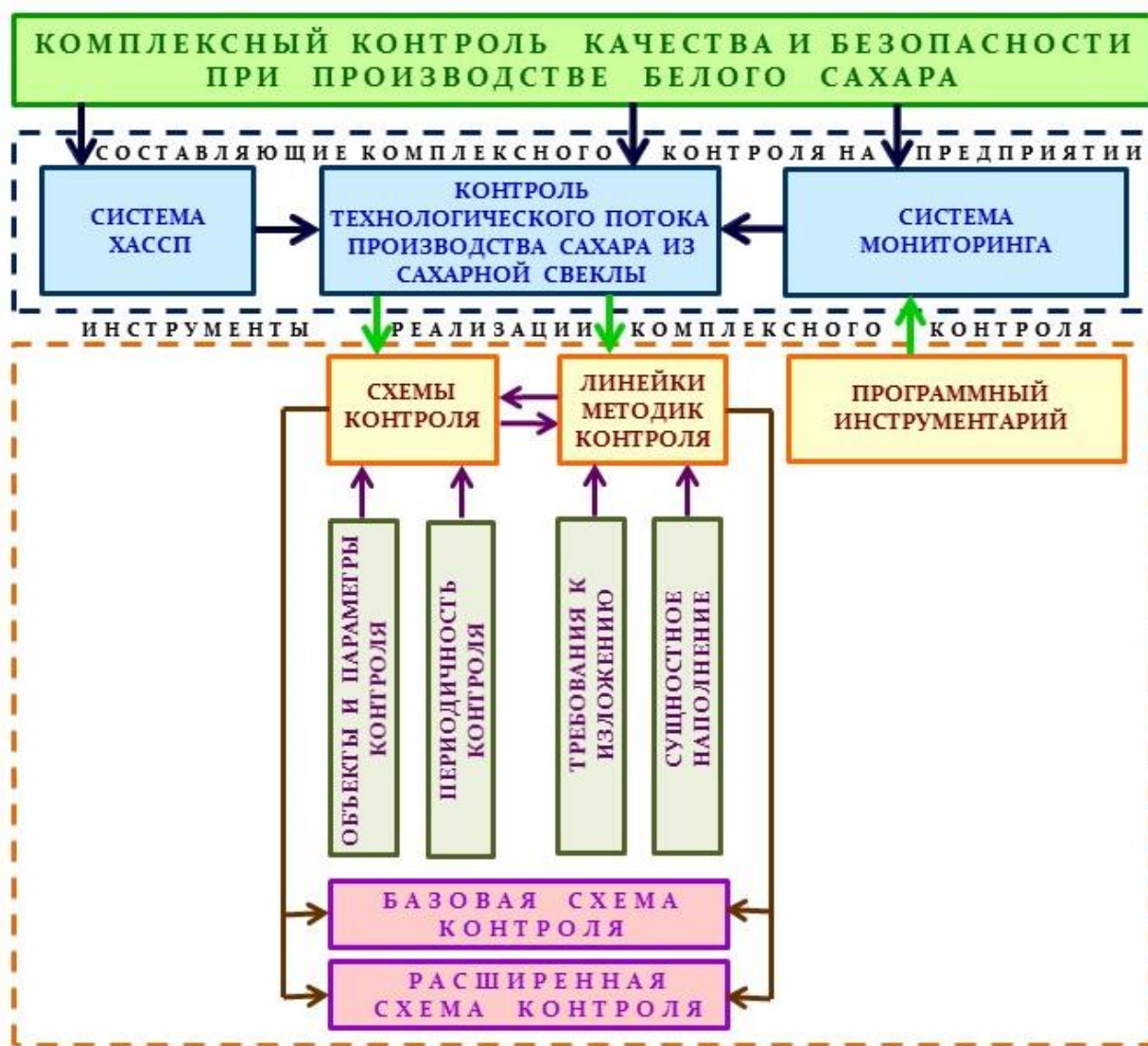


Рисунок 4 – Структура комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара

Принципиальное отличие 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;

- уточнение 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.

В результате актуализации действующей схемы контроля предстоит сформировать базовую блок-схему контроля и разработать расширенную блок-схему контроля, с учетом дополнительных требований к качеству сахара со стороны промышленных потребителей.

При реализации схемы контроля важную роль играет наличие современных методик измерений показателей сырья, полуфабрикатов потока и готовой продукции, позволяющих получить измерительную информацию с требуемым уровнем достоверности и надежности [5], а сами методики должны опираться на надежные инструментальные методы [93, 105]. В этой связи необходимым является совершенствование линейки методик определения показателей качества и безопасности сахарной свеклы, белого сахара, мелассы и полуфабрикатов технологического потока.

2. Функционирование системы ХАССП как основы обеспечения безопасности сахара. Ранее был изучен механизм влияния входных сырьевых, водных, материальных потоков, технологических процессов и оборудования технологической линии производства сахара на перераспределение токсичных веществ и микроорганизмов в полуфабрикатах по стадиям, уточнены потенциальные источники опасности [40, 57]. После законодательно установленной необходимости поддерживать процедуры, основанные на принципах ХАССП, для сахарных заводов были методически разъяснены этапы работ по их внедрению [53].

На данном этапе применительно к комплексному контролю качества и безопасности при производстве белого сахара система ХАССП продолжит действовать в существующем режиме без изменений.

3. Функционирование системы мониторинга. На свеклосахарных заводах контроль за качеством и безопасностью продукции осуществляется специалистами предприятия на основании регистрационных форм в бумажном виде, в которые вносятся измеренные значения параметров продуктов. В случае несоответствия отслеживаемых параметров, персонал применяет управляющие (корректирующие) действия, которые носят аспект индивидуальности, опирающейся на собственный опыт, знания и интуицию. Несмотря на развитость автоматизированных систем управления технологическими процессами, они предназначены для фиксации параметров процесса, а выработка управляющих действий продолжает оставаться за человеком.

Между тем, использование цифровых технологий, особенно с привлечением искусственного интеллекта, открывает новые возможности управления предприятиями АПК при производстве продукции, включая выработку продукции с заданными свойствами [108]. Как отмечено в [15, 38], технологии искусственного интеллекта идеально подходят для производственных операций, от разработки продукта до контроля качества.

В ряде отраслей, производящих продукты питания, все более широко применяются информационные технологии для управления технологическими процессами [113], как правило, в виде интеллектуальных систем поддержки принятия решений [184], имеющих реализацию в виде автономной компьютерной программы или модуля в специализированном программном комплексе [152, 157].

Что касается свеклосахарной отрасли, к настоящему времени известны различные программные продукты, позволяющие главному технологу решать задачи контроля производства, например, «Информационно-аналитическая и справочная система главного технолога» [162], экспертно-информационная система выбора эффективных решений при управлении технологическими

процессами сахарного производства [193], пакет прикладных программ «Анализ функционирования технологических процессов» [83]. Указанные разработки позволяют оперативно проанализировать текущую ситуацию, выявить причины неудачного протекания процесса и выдать соответствующие рекомендации по их устранению, прогнозировать конечные возможные состояния технологической системы при изменении входных параметров или управляющих воздействий и др. Вместе с тем, они не получили широкого распространения на предприятиях свеклосахарной отрасли. К возможным причинам этого, по нашему мнению, следует отнести недостаточную восприимчивость персонала свеклосахарных заводов к новинкам, сложностями в работе с программами, несоответствием предлагаемого продукта ожиданиям и пр. Тем не менее, совмещение технологий искусственного интеллекта и цифровых двойников уже позволяет на практике успешно решать задачи оптимизации процессов кристаллизационного отделения при уваривании утфелей [163, 176].

Нами предлагается в комплексном контроле качества и безопасности при производстве белого сахара систему мониторинга и управления сосредоточить 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; предстоит также дополнительно выделить индикаторные точки качества (ИТК), точки контроля готовой продукции (ТГ). Индикаторная точка качества, по аналогии с контрольной точкой качества (КТК) [123] – точка в производственном процессе, которая решающим образом влияет на ориентированные целевые параметры готового продукта, определяемые дополнительными требованиями потребителей.

Отход от бумажных технологий предлагается осуществить за счет применения информационных технологий. Указанное решается разработкой специализированного программного комплекса – сквозной контрольно-аналитической системы мониторинга безопасности и качества готовой

продукции. Объектом регулирования в данной системе будут данные мониторинга полуфабрикатов в процессе превращений сырья в готовый продукт, а в качестве регулятора выступать исходные требования конкретных потребителей.

Обозначенные подходы находятся в русле современных тенденций управления качеством пищевых продуктов и позволят организовать целостную архитектуру комплексного контроля при производстве белого свекловичного сахара.

Таким образом, подходы к обеспечению комплексного контроля качества и безопасности белого сахара включают:

- формирование базовой и расширенной схем контроля технологического потока;
- поддержание процедур, основанных на принципах ХАССП;
- разработку системы мониторинга параметров, отвечающих за выпуск качественной и безопасной продукции.

ГЛАВА 4 УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БЕЛОГО САХАРА И ПАРАМЕТРОВ ПОЛУФАБРИКАТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕГО ПРОИЗВОДСТВА

4.1 Анализ мониторинга физико-химических показателей сахара, вырабатываемого в регионах РФ

Как отмечено в подразделе 1.1, в настоящее время почти 60 % сахара находит применение в отраслях пищевой промышленности, что приводит к появлению дополнительных требований к данному сырьевому ингредиенту, а при оценке его сырьевой ценности применяются физико-химические показатели, не являющиеся предметом нормирования стандарта на сахар. Однако систематизированные данные о фактических физико-химических показателях белого сахара, производимого в России, отсутствуют, что сдерживает в том числе развитие современных инновационных технологий производства сахара заданного состава по требованиям промышленных потребителей.

Вопросы качества отечественного сахара в глобальном плане длительное время не были актуальными. Лишь в 2005 г. в связи с планируемым вступлением нашей страны во Всемирную торговую организацию впервые Российским НИИ сахарной промышленности (в настоящее время ФГБНУ «Курский ФАНЦ») был проведен мониторинг качества сахара-песка, вырабатываемого в России, по показателям ГОСТ 21-94 «Сахар-песок. Технические условия», действовавшим в то время, с позиции сравнительной оценки его с нормами международных стандартов.

Позднее, когда в России 40 % сахара производилось из сахарной свеклы – отечественного сырья, а 60 % – из импортируемого тростникового сахара-сырца, провел исследования реальных показателей качества сахара, выработанного из различных видов сахароносного сырья.

С 2017 г. импорт тростникового сахара-сырца для переработки прекратился, объемы вырабатываемого белого сахара из сахарной свеклы превышают

собственные потребности, задача продовольственной безопасности страны по сахару решена, развивается его экспорт.

Поэтому в настоящее время проведение исследований фактических характеристик показателей качества белого сахара становится особенно актуальным с точки зрения ориентации его производителей на требования промышленных потребителей, организации системы комплексного контроля технологического потока его производства.

Учитывая, что производство сахара в России осуществляется в 5 федеральных округах: Центральном, Южном, Северо-Кавказском, Приволжском и Сибирском, в выборку были включены репрезентативные регионы и предприятия от каждого федерального округа, всего 18 регионов и 58 предприятий (Приложение А). Перечень федеральных округов, регионов и количество предприятий, включенных в репрезентативную выборку представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Федеральные округа, регионы и предприятия сахарной промышленности России, включенные в репрезентативную выборку

В рамках диссертационной работы были исследованы характеристики 113 образцов белого свекловичного сахара, распределение которых по году выработки и категории представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение образцов белого сахара по году производства и категории

Год выработки	Количество образцов по категориям				Общее количество образцов
	экстра	ТС1	ТС2	ТС3	
2019 г.	10	3	32	5	50
2020 г.	5	-	25	5	35
2021 г.	5	-	20	3	28
Итого:	20	3	77	13	113

Исследование фактических характеристик белого сахара проводилось по 11 показателям, в т.ч. по требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ГОСТ 33222 «Сахар белый. Технические условия». Основными показателями являлись: массовая доля сахарозы, влаги, редуцирующих веществ, золы, диоксида серы, цветность в растворе; дополнительными показателями: мутность раствора, массовая доля солей кальция, водородный показатель, рН, флокулообразующая способность раствора, гранулометрический состав (средний размер кристаллов и коэффициент неоднородности (вариации) кристаллов).

Результаты мониторинга по всем показателям в разрезе категорий и года производства приведены в Приложении Б, а в таблице 8 – средние нормируемые показатели.

С понижением категории сахара в нем нормируемое содержание сахарозы снижалось максимально на 0,30 %. Фактическое содержание сахарозы в исследованных образцах составляло от 99,88 % (Экстра) до 99,64 % (ТС3), что соответствует требованиям стандарта, а снижение – на 0,24 %.

Чистая сахароза не гигроскопична, но присутствующие в ней примеси придают сахару свойство гигроскопичности [58]. Для длительного сохранения сахара необходимо, чтобы его влажность не превышала равновесную, которая при температуре окружающего воздуха 10-30 °С и относительной влажности не более

Таблица 8 – Результаты мониторинга показателей качества белого свекловичного сахара, произведенного в 18 регионах 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

70 % составляет 0,15 %. Такой уровень влаги установлен для сахара категории ТС3, для сахара категории экстра уровень влаги меньше – до 0,10 %. Все исследованные образцы сахара соответствовали требованиям стандарта, их влажность была гораздо ниже установленного норматива, при этом со снижением категории сахара несколько повышалась.

Основными нормируемыми показателями качества белого сахара в мире являются: содержание редуцирующих веществ, золы, цветность в растворе.

Редуцирующие вещества сахара имеют гигроскопические свойства; при перепадах температур и влажности при хранении способствуют образованию пленки воды, в которой может начаться реакция разложения сахарозы с последующим ростом цветности [20]. Поэтому нормируемое содержание редуцирующих веществ составляет от 0,03 % до 0,065 % при понижении категории сахара. Фактическое содержание редуцирующих веществ для всех категорий сахара соответствовало требованиям нормативного документа и составляло для категорий Экстра, ТС1, ТС3 почти в 3 раза ниже нормы, для категории ТС2 – в 2 раза ниже. Контроль сахара по данному показателю имеет большое значение из-за его влияния на гигроскопичность продукта, а следовательно – на его сохранность.

В золе сахара присутствуют неорганические соединения, перешедшие из сахарной свёклы, поступающие в технологический поток с экстрагентом, известковым молоком, используемыми технологическими вспомогательными средствами. Нормируемое содержание золы в сахаре составляет от 0,027 % до 0,050 % при понижении категории сахара. Фактическое содержание золы в белом сахаре было почти в 3 раза меньше для категории экстра, в 2 раза – для категорий ТС1 и ТС2, в 1,5 раза – для категории ТС3. По данному показателю качества предъявляются более жесткие требования производителей алкогольной продукции [84].

Цветность сахара в растворе зависит от качественного и количественного состава содержащихся в нем красящих веществ. Как отмечено в [30] «красящие вещества сахарного производства представляют собой сложные органические соединения различной степени конденсации и полимеризации, имеющие окраску от светло-желтого до темно-коричневого цвета. Они образуются в результате химического взаимодействия некоторых извлеченных вместе с сахарозой нативных веществ сырья между собой и с образовавшимися в ходе превращений в полуфабрикатах технологического потока производства сахара». Основное количество красящих веществ содержится в пленке маточного раствора, находящегося на поверхности кристаллов. Нормируемое значение цветности сахара в растворе составляет от 45,0 ед.опт.пл. до 195,0 ед.опт.пл. при понижении категории сахара. Фактически все проанализированные образцы соответствовали требованиям.

Расширение показателей безопасности сахара вызвало необходимость нормирования содержания диоксида серы, предельное значение содержания которого составляет 15 мг/кг. Назначение диоксида серы как технологического вспомогательного средства состоит в предотвращении реакций образования красящих веществ в полуфабрикатах технологического потока для снижения цветности сахара, корректировке pH экстрагента сахарозы из свекловичной стружки. Попадая в технологический поток, диоксид серы мигрирует до готовой продукции, включаясь в кристаллы сахара. Результаты мониторинга показали, что фактическое

содержание диоксида серы многократно ниже нормы и незначительно увеличивается по мере снижения категории сахара.

Средние данные дополнительных показателей качества белого сахара по результатам мониторинга приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты мониторинга дополнительных показателей качества белого свекловичного сахара, произведенного в 18 регионах 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 солей кальция, мг/кг	13±1,2	26±3,2	41±4,0	75±7,1
3.	Водородный показатель, pH	7,0±0,04	7,2±0,03	7,2±0,05	7,4±0,09
4.	Флокулообразующая способность раствора	O/100	O/100	O/45 H/44 C/9 B/2	O/20 H/69 C/11 B/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

Мутность раствора сахара не входит в перечень нормируемых ГОСТ характеристик, но является одним из важных показателей белого сахара, особенно для производства напитков длительного хранения, кондитерских изделий, алкогольных напитков [16]. Мутность раствора, являющаяся отклонением от прозрачности, определяется наличием в кристаллах белого сахара микровключений и микронутриентов разной степени дисперсности, к которым относятся труднорастворимые соли кальция, оксид кремния, скоагулировавшие частички высокомолекулярных соединений – пектиновых веществ, декстрана, левана, сапонинов и пр. Именно они способствуют образованию осадков и помутнению безалкогольных напитков. В среднем мутность раствора сахара по категориям составила, ед.опт.пл.: экстра – до 9, ТС1 – до 18, ТС2 – до 31, ТС3 – до 50.

Источником мутности и одновременно зольности при сдвиге значения pH в щелочную область растворов сахара является высокое содержание солей кальция.

Катионы кальция поступают в технологический поток в малых количествах с сахароносным сырьем, а в основном – с экстрагентом и известковым молоком, мигрируя в дальнейшем по технологическому потоку. По данным мониторинга содержание кальция увеличивалось по мере снижения категории сахара почти в 2 раза, соответственно, для каждой категории; значение pH варьировало от 7,0 до 7,4 с понижением категории сахара.

Показателем, определяющим качество белого сахара у производителей напитков, считается отсутствие флокулообразующей способности растворов, т.е. неспособность при подкислении раствора сахара образовывать хлопья [203]. В таблице характеристика флокулообразующей способности приведена в виде уровней: отсутствует (О), низкий (Н), средний (С), высокий (В) в числителе; в знаменателе – доля образцов, показавших соответствующий результат, в процентах. Из таблицы видно, что флокулообразующая способность растворов сахара проявилась только для категорий ТС2 и ТС3, причем если в категории ТС2 такую способность проявили 55 % образцов, то в категории ТС3 – 80 %.

Гранулометрический состав сахара важен при использовании его для изготовления различных пищевых продуктов, а также при хранении сахара, особенно длительном и в бестарном виде. Это связано с тем что, чем мельче кристаллы сахара, тем больше у них удельная поверхность пленки межкристального раствора, содержащей повышенное количество редуцирующих веществ, зольных элементов, красящих веществ [80]. Указанное обуславливает повышенную гигроскопичность мелкого сахара. Поэтому при смене температуры на его поверхности конденсируется лишняя влага, что приводит к комкованию сахара и снижению его потребительских свойств [156].

Гранулометрический состав сахара характеризуется дисперсностью и однородностью. В качестве показателей дисперсности сахара используют массовую долю фракций определенного размера и средний размер кристаллов; однородности – коэффициент неоднородности. ГОСТ 33222 регламентирует лишь размер кристаллов сахара в диапазоне от 0,2 до 2,5 мм. По данным мониторинга, средний размер кристаллов сахара, выработанного российскими заводами,

составлял 0,61 мм; коэффициент неоднородности составлял от 26,7 % до 40,9 % с понижением категории сахара.

В таблице 10 приведено относительное увеличение некоторых показателей качества в разрезе категорий сахара по отношению к сахару категории экстра, принятому за эталон (величины его показателей учитывались как 100 %).

Таблица 10 – Относительный рост физико-химических показателей в белом сахаре более низких категорий

Наименование показателя	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
Содержание влаги, %	100	150	100	150
Содержание редуцирующих веществ, %	100	100	200	200
Содержание золы, %	100	170	190	350
Цветность раствора, ед.опт.пл.	100	139	214	300
Мутность раствора, ед.опт.пл.	100	195	343	545
Содержание кальция, мг/кг	100	200	315	577
Содержание диоксида серы, мг/кг	100	121	143	171
рН	100	103	103	106
Флокулообразующая способность раствора	100	100	5500	8000

По мере снижения категории сахара наиболее высокий рост отмечен для содержания кальция – более чем в 5 раз; мутности раствора – более чем в 5 раз; отмечен высокий рост показателя содержания золы – в 3,5 раза и цветности – в 3 раза. Флокулообразующая способность раствора отсутствовала у всех образцов категории ТС1 и проявилась в разной степени у 55 % образцов категории ТС2 и 80 % образцов категории ТС3.

В таблице 11 приведены коэффициенты парной корреляции показателей для каждой категории сахара. Для установления силы взаимосвязи использовали шкалу Чеддока: 0,7 и выше – сильная, 0,3-0,7 – умеренная, ниже 0,3 – слабая.

Как видно, для категории сахара экстра выявлена сильная корреляционная связь между мутностью раствора и содержанием кальция; умеренная связь прослеживалась между цветностью раствора и содержанием золы, содержанием кальция и мутностью раствора.

Таблица 11 – Коэффициенты парной корреляции между физико-химическими показателями белого сахара по категориям

Показатель	Показатель						
	Цв	З	Д	К	М	рН	Ф
Экстра							
Цветность в растворе, ед.опт.пл. (Цв)	1,0						
Содержание золы, % (З)	0,656	1,0					
Содержание диоксида серы, мг/кг (Д)	0,027	0,004	1,0				
Содержание кальция, мг/кг (К)	0,413	0,317	0,056	1,0			
Мутность раствора, ед.опт.пл. (М)	0,434	0,402	0,042	0,726	1,0		
рН	-0,172	-0,128	0,030	0,154	0,336	1,0	
Флокулообразующая способность раствора (Ф)	0	0	0	0	0	0	1,0
ТС1							
Цветность в растворе, ед.опт.пл. (Цв)	1,0						
Содержание золы, % (З)	0,253	1,0					
Содержание диоксида серы, мг/кг (Д)	0,058	0,008	1,0				
Содержание кальция, мг/кг (К)	0,258	-0,176	0,061	1,0			
Мутность раствора, ед.опт.пл. (М)	0,401	0,733	0,022	0,626	1,0		
рН	0,062	0,393	0,016	0,130	0,306	1,0	
Флокулообразующая способность раствора (Ф)	0	0	0	0	0	0	1,0
ТС2							
Цветность в растворе, ед.опт.пл. (Цв)	1,0						
Содержание золы, % (З)	0,797	1,0					
Содержание диоксида серы, мг/кг (Д)	0,074	0,012	1,0				
Содержание кальция, мг/кг (К)	0,615	0,546	0,074	1,0			
Мутность раствора, ед.опт.пл. (М)	0,766	0,780	0,049	0,665	1,0		
рН	-0,005	0,337	0,026	0,350	0,518	1,0	
Флокулообразующая способность раствора (Ф)	0,368	0,348	0,112	0,340	0,404	0,314	1,0
ТС3							
Цветность в растворе, ед.опт.пл. (Цв)	1,0						
Содержание золы, % (З)	0,694	1,0					
Содержание диоксида серы, мг/кг (Д)	0,064	0,009	1,0				
Содержание кальция, мг/кг (К)	0,538	0,280	0,057	1,0			
Мутность раствора, ед.опт.пл. (М)	0,730	0,423	0,039	0,477	1,0		
рН	0,662	0,517	0,041	0,574	0,811	1,0	
Флокулообразующая способность раствора (Ф)	0,602	0,490	0,096	0,237	0,767	0,726	1,0

Для сахара категории ТС1 высокая корреляционная связь выявлена между мутностью раствора и содержанием золы; умеренная между мутностью раствора и цветностью раствора, содержанием кальция, рН раствора и содержанием золы.

Для сахара категории ТС2 выявлена высокая корреляционная связь между содержанием золы и цветностью раствора, мутностью раствора и цветностью

раствора, содержанием золы; умеренная связь между флокулообразующей способностью и цветностью раствора, мутностью раствора, pH раствора, между содержанием золы и содержанием кальция, pH раствора, цветностью, между содержанием кальция и цветностью.

Для сахара категории ТС3 выявлена высокая корреляционная связь между флокулообразующей способностью и мутностью, pH, между мутностью раствора и pH раствора, цветностью раствора; умеренная связь между цветностью раствора и содержанием золы, кальция, pH раствора, флокулообразующей способностью раствора, между содержанием золы и мутностью, pH, флокулообразующей способностью раствора, между содержанием кальция и мутностью, pH раствора.

Полученные результаты подтверждают связь между содержанием золы и цветностью раствора для сахара всех категорий, что вполне обоснованно, т.к. зольные элементы и красящие вещества содержатся в пленке межкристального раствора, находящейся на кристаллах сахара [181]. По другим показателям взаимосвязь для разных категорий сахара отличалась, что может быть объяснено разным уровнем их содержания. Например, для сахара категорий экстра и ТС1 наблюдается умеренная связь между мутностью раствора и цветностью, а для сахара категорий ТС2 и ТС3 эта связь высокая. Для сахара категорий экстра и ТС1 связь между мутностью и солями кальция выражена сильнее, чем у сахара категорий ТС2 и ТС3, очевидно из-за того, что в последнем случае мутность определяется содержанием не только кальциевых солей, но и других компонентов [16]. Флокулообразующая способность сахара категории ТС3 в большей степени связана с мутностью, pH и цветностью. Для сахара категории ТС3 имелаась сильная связь между pH и мутностью, в то время как для других категорий эта связь была неочевидна.

Результаты полученных экспериментальных исследований позволили оценить диапазоны присутствия нес сахаров, формирующих мутность и pH растворов сахара, способность к флокулообразованию. Они по ряду показателей и их величин совпадают с известными, но фрагментарными сведениями из научной литературы [16, 173, 181, 203, 237], а также полученными в ФГБНУ «Курский

ФАНЦ» [158].

Интерес представляет сопоставительный анализ полученных данных по содержанию физико-химических показателей качества белого сахара в зависимости от категории с дополнительными требованиями к его качеству для промышленных потребителей. Для этого на основе приведенных в подразделе 1.2.2 данных, а также собственных исследований были сформированы значения показателей по требованиям различных промышленных потребителей к качеству сахара. В некоторых случаях характеристика была представлена двумя или тремя показателями в связи с разными требованиями производителей различных пищевых продуктов.

В таблице 12 приведены значения указанных показателей, из них 3 показателя – содержание золы, диоксида серы и цветность раствора нормируются стандартом, но имеют более высокие требования промышленных потребителей; 4 дополнительных показателя качества – содержание кальция, мутность, pH, флокулообразующая способность раствора. Также в таблице приведены полученные по результатам экспериментальных исследований средние показатели для сахара разных категорий, при этом флокулообразующая способность была рассчитана как средневзвешенная от всех образцов.

Таблица 12 – Фактические физико-химические показатели белого сахара и показатели, определяющие его качество при производстве продуктов питания

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 раствора, 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
pH	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

Для производства карамелей мутность раствора сахара не должна превышать 20 ед.опт.пл. Следовательно, из исследованных образцов высокой сырьевой ценностью для данного производства обладает сахар категорий экстра и ТС1, среднее значение мутности в образцах которых составляли 9,1 ед.опт.пл. и 17,7 ед.опт.пл. соответственно. Источником мутности и одновременно зольности при сдвиге значения рН в щелочную область растворов сахара является высокое содержание солей кальция, что негативно сказывается на качестве карамели, помадных конфет, зефира, грильяжных изделий и др. [181]. Высокое содержание золы может сократить срок хранения шоколадной продукции; высокое содержание солей кальция и золы – привести к нарушениям в ходе технологического процесса приготовления начинок [173]. Следовательно, по содержанию золы и кальция удовлетворяли требованиям только все образцы образцы сахара категории экстра.

Таблица 12 – Фактические физико-химические показатели белого сахара и показатели, определяющие его качество при производстве продуктов питания

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 раствора, 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

Цветность сахара в растворе при производстве напитков длительного хранения не должна превышать 35 ед.опт.пл., а мутность – 20 ед.опт.пл. [16, 84]. Исходя из этого, по мутности удовлетворяли требованиям все образцы сахара категорий экстра и ТС1. Поскольку мутность образцов сахара категории ТС2

варьировала в диапазоне 11...67 ед.опт.пл., а из 113 образцов количество несоответствующих указанному требованию составило 102 образца, т.е. всего 10 % образцов сахара категории ТС2 удовлетворяли требованиям по мутности. Аналогичным образом, исходя из количества несоответствующих требованиям образцов по отношению к общему количеству протестированных образцов установили, что по цветности удовлетворяют требованиям 27 % образцов сахара категории экстра. Однако, согласно [143], предельными значениями цветности и мутности могут считаться 49 и 32 ед.опт.пл., соответственно. В этом случае, удовлетворить требованиям по мутности могут все образцы сахара категорий экстра, ТС1, а также 45 % образцов сахара категории ТС2; по цветности – только все образцы категории экстра.

Также производители таких напитков предъявляют высокие требования к качеству сахара для исключения мутности и опалесценции в приготовленном продукте [19]. Мутность и опалесценцию напиткам придают флокулообразующие вещества, определяемые посредством флок-теста [9, 16]. Следовательно, удовлетворить требованиям по флокулообразующей способности могут все образцы сахара категорий экстра и ТС1, у которых данная способность отсутствует; 45 % образцов категории ТС2, 20 % образцов категории ТС3.

Для производства ликероводочной продукции непосредственно показатель мутности не регламентируется, но предъявляются требования по цветности в растворе – не более 30 ед.опт.пл., содержанию кальция – не более 1,5 мг/кг, которые косвенно связаны с мутностью [84, 106]. С этой точки зрения по цветности в растворе ни один из протестированных образцов не может быть использован в данном производстве. Для алкогольной продукции высокие требования предъявляются по содержанию золы – не более 0,015 % [106, 203]. В этом случае удовлетворить требованиям могут все образцы сахара категорий экстра, а также 60 % образцов категории ТС1.

Полученные результаты сопоставимы с результатами, полученными ФГБНУ «Курский ФАНЦ», в т.ч. в более поздних исследованиях [134, 158].

Таким образом, впервые выполнены комплексные исследования по 6 нормируемым и 5 дополнительным физико-химическим показателям качества российского сахара на 113 образцах, установлены их диапазоны, показано, что доля несахаров увеличивается по мере снижения категории сахара. Выявлены корреляционные зависимости между отдельными показателями, для сахара всех категорий подтверждена сильная связь между содержанием золы и цветностью раствора, остальные корреляционные зависимости варьируют для сахара разных категорий. Сформированы величины 5 дополнительных физико-химических показателей качества белого сахара для промышленных потребителей и выполнен сопоставительный анализ его фактических характеристик дополнительным требованиям. Установлено, что со снижением категории сахара характеристики его потребительской ценности падают: 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. 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 также подтверждает невозможность обеспечения требуемого качества белого сахара в рамках действующей схемы контроля.

4.1.1 Исследование взаимосвязи флокулообразующей способности белого сахара с другими показателями

Полученные в ходе мониторинга данные показали следующее. Из протестированных 22 образцов белого сахара категории экстра и 15 образцов категории ТС1 флокулообразующую способность не продемонстрировал ни один образец, все растворы были прозрачными с отсутствием видимых частиц. Из 100 образцов белого сахара категории ТС2 67 образцов не проявили

флокулообразующую способность, из них у 44 образцов растворы были прозрачными с отсутствием видимых частиц, у 23 образцов растворы были мутные, но не содержащие видимых частиц. 33 образца обладали флокулообразующей способностью (ФС) от низкой до высокой степени.

Примеры визуализации результатов определения флокулообразующей способности растворов белого сахара категории ТС2 приведены на рисунке 6.

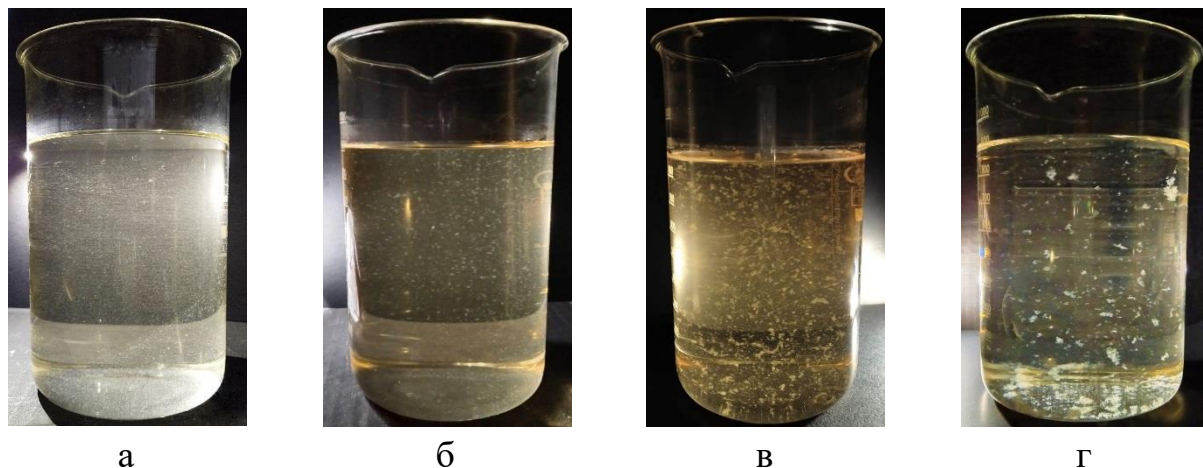


Рисунок 6 – Образование хлопьев в растворах белого сахара категории ТС2, соответствующее флокулообразующей способности: а – низкой; б – средней; в, г – высокой

Данные были сгруппированы по категориям сахара и 5 выделенным группам в категории ТС2 в зависимости от проявлявшейся флокулообразующей способности: 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).

Внутри выделенных групп для каждого из показателей оценивали диапазон варьирования, определяли среднее значение и отклонение. Результаты анализировали с позиции изменения каждого показателя по верхней и нижней границам варьирования, а также средней величине в выделенных группах. Для исследования зависимостей внутри выделенных групп между множествами

переменных, в качестве которых выступали показатели качества сахара, определяли величины индивидуальных коэффициентов парной корреляции. Для установления граничных значений области флокулообразования по уровню содержания сопутствующих показателей в белом сахаре использовали положения информационно-логического анализа.

Данные сопутствующего исследования показателей качества образцов белого сахара, участвовавших в тестировании, приведены в таблице 13, где в числителе даны диапазоны варьирования, в знаменателе – среднее и отклонение. Результаты дифференцированы как для разных категорий белого сахара, так и в выделенных группах с различной флокулообразующей способностью для категории ТС2.

Таблица 13 – Диапазоны показателей белого сахара категорий экстра, ТС1, ТС2 с разной флокулообразующей способностью

Флокуло-образующая способность	Образцы, шт.	Цветность в растворе, ед. ICUMSA	Мутность раствора, ед. ICUMSA	Содержание золы, %	Содержание кальция, мг/кг	pH
экстра						
О – раствор прозрачный	22	$\frac{35...45}{41 \pm 1}$	$\frac{1...18}{8 \pm 1}$	$\frac{0,004...0,015}{0,011 \pm 0,001}$	$\frac{7...36}{15 \pm 4}$	$\frac{6,8...7,2}{7,0 \pm 0,1}$
ТС1						
О – раствор прозрачный	15	$\frac{24...62}{57 \pm 2}$	$\frac{8...17}{13 \pm 2}$	$\frac{0,009...0,025}{0,016 \pm 0,003}$	$\frac{7...43}{24 \pm 6}$	$\frac{6,8...7,2}{7,0 \pm 0,1}$
ТС2						
О – раствор прозрачный (группа 1)	44	$\frac{42...104}{78 \pm 2}$	$\frac{9...40}{20 \pm 2}$	$\frac{0,009...0,028}{0,017 \pm 0,003}$	$\frac{7...64}{24 \pm 6}$	$\frac{6,8...7,5}{7,1 \pm 0,1}$
О – раствор непрозрачный (группа 2)	23	$\frac{62...113}{90 \pm 1}$	$\frac{15...48}{27 \pm 2}$	$\frac{0,009...0,030}{0,019 \pm 0,004}$	$\frac{7...57}{36 \pm 8}$	$\frac{6,4...7,7}{7,2 \pm 0,1}$
Н (группа 3)	23	$\frac{74...129}{100 \pm 1}$	$\frac{20...51}{33 \pm 1}$	$\frac{0,013...0,044}{0,024 \pm 0,001}$	$\frac{14...64}{41 \pm 8}$	$\frac{7,0...7,8}{7,3 \pm 0,1}$
С (группа 4)	6	$\frac{85...110}{96 \pm 1}$	$\frac{25...47}{38 \pm 1}$	$\frac{0,011...0,035}{0,025 \pm 0,003}$	$\frac{21...79}{47 \pm 10}$	$\frac{6,9...7,7}{7,5 \pm 0,1}$
В (группа 5)	4	$\frac{90...128}{104 \pm 2}$	$\frac{25...48}{38 \pm 3}$	$\frac{0,014...0,032}{0,024 \pm 0,002}$	$\frac{29...64}{42 \pm 9}$	$\frac{7,2...7,5}{7,4 \pm 0,1}$

Дан анализ взаимосвязей между показателями качества белого сахара внутри каждой группы образцов сахара категории ТС2 (таблица 14).

Таблица 14 – 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
Отсутствие ФС, раствор прозрачный (группа 1)	сильная ($r = 0,760$)	сильная ($r = 0,653$)	умеренная ($r = 0,457$)	слабая ($r = 0,292$)
Отсутствие ФС, раствор мутный (группа 2)	сильная ($r = 0,610$)	сильная ($r = 0,663$)	сильная ($r = 0,721$)	слабая ($r = - 0,067$)
Низкая ФС (группа 3)	сильная ($r = 0,649$)	умеренная ($r = 0,570$)	умеренная ($r = 0,406$)	умеренная ($r = 0,454$)
Средняя ФС (группа 4)	сильная ($r = 0,650$)	сильная ($r = 0,610$)	сильная ($r = 0,727$)	весьма сильная ($r = 0,853$)
Высокая ФС (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.

Полученные результаты подтверждают сильную связь между содержанием золы и цветностью в растворе для сахара всех категорий и групп, что вполне обоснованно, т.к. зольные элементы и красящие вещества содержатся в пленке межкристального раствора на кристаллах сахара. Независимо от толщины пленки, увеличивающейся со снижением категории сахара, концентрация этих микронутриентов будет пропорциональна объему находящегося на поверхности кристаллов межкристального раствора.

Выявлена сильная связь между мутностью и содержанием кальция для сахара с отсутствующей ФС, т.е. для такого сахара мутность определяется в основном остаточными количествами кальция. Для сахара, обладающего ФС, такая связь ослабляется, переходя от умеренной до слабой, что может свидетельствовать о превалировании как источника мутности других компонентов, преимущественно органического состава. Это же подтверждает ослабление связи между мутностью и содержанием золы. Вероятно, в составе золы по мере ухудшения качества сахара доля кальция уменьшается, уступая

место другим зольным элементам. Подтверждением такой закономерности становится усиление связи между рН и мутностью по мере его перехода в слабощелочную область.

Исходя из полученных результатов был сформирован среднестатистический образ белого сахара категории ТС2, который может обладать флокулообразующей способностью. Для этого величины значений всех исследуемых показателей сахара категории ТС2 ранжировали 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.

На рисунке 7 представлены указанные области.

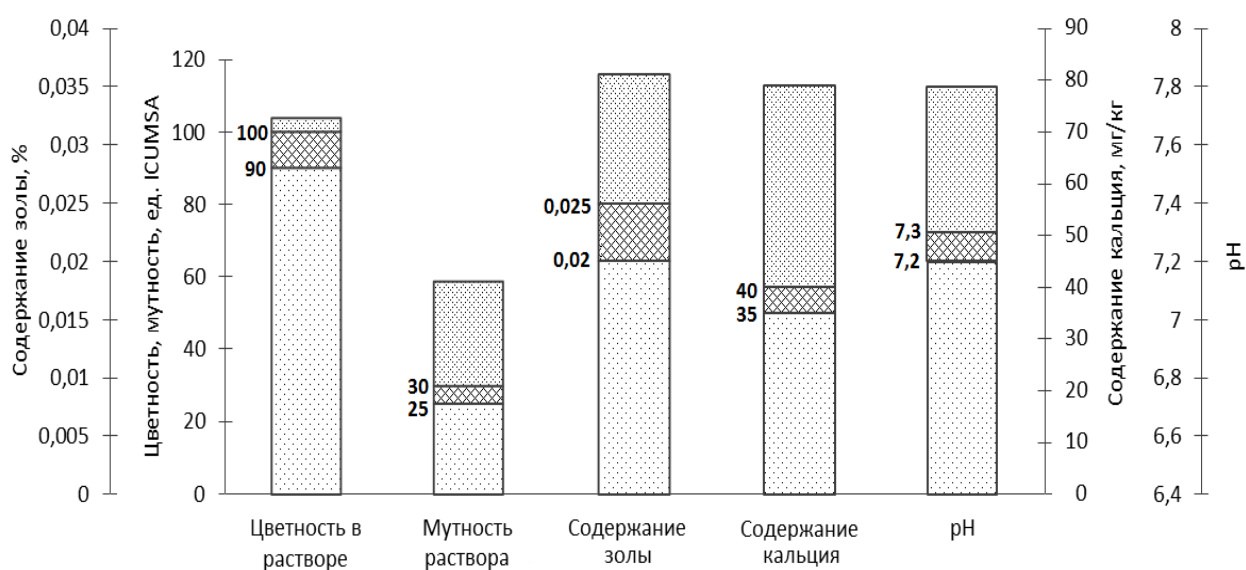


Рисунок 7 – Распределение показателей белого сахара категории ТС2 во взаимосвязи с флокулообразующей способностью: – область отсутствия флокулообразования; – область риска флокулообразования; – область флокулообразования

Они соотнесены с показателями качества белого сахара, при этом предельными значениями параметров области флокулообразования выступают нормативы по ГОСТ 33222-2015 для показателей цветности в растворе и

содержания золы, для мутности раствора, содержания кальция и pH – максимальные значения из полученных по результатам тестирования; нижней границей для показателя pH является минимальное значение из полученных по результатам тестирования ($pH = 6,4$).

Таким образом, на основе экспериментальных данных и информационно-логического анализа результатов был сформирован образ белого сахара категории TC2, который может обладать флокулообразующей способностью: 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 [133]. Полученные данные позволяют, не проводя длительного анализа, предположить наличие или отсутствие флокулообразующей способности раствора белого сахара.

4.2 Выявление взаимосвязи физико-химических показателей качества белого сахара и параметров полуфабрикатов технологического потока

Научной основой современного технологического контроля являются математико-статистические методы [79]. Одним из направлений в подходах при моделировании технологических процессов является направление от целого к частному, когда устанавливаются общие исходные положения с последующим переходом на составляющие. Указанный подход использовался в работе при содержательном наполнении системы контроля технологических процессов в производстве сахара.

Как было показано в подразделе 1.4, схема технологического контроля должна базироваться на номенклатуре показателей качества и безопасности сахара, в т.ч. предъявляемых промышленными потребителями. Однако для того, чтобы ввести соответствующие параметры контроля, необходимо иметь достаточное основание, увязывающее показатели качества сахара с параметрами полуфабрикатов технологического потока. Эмпирические знания дают основания подразумевать такую связь. Например, вызвать мутность растворов сахара могут

слаборастворимые соли кальция, которые включаются в кристаллы из маточного раствора [181]. В свою очередь, катионы кальция в незначительных количествах поступают с сырьем, подавляющая часть – с экстрагентом и известковым молоком. Их дальнейшие превращения зависят от анионного состава кислот сахарной свеклы и режимов ведения процессов. Как правило, повышенное содержание солей кальция в сахаре обуславливает в нем и увеличенное содержание золы, при этом pH раствора сахара переходит в зону щелочных значений, возрастают мутность и цветность [204, 209]. Однако такие эмпирические знания не могут служить основой формирования схемы технологического контроля. Для внесения соответствующих изменений в схему контроля целесообразно установить взаимосвязь между физико-химическими показателями качества белого сахара и параметрами полуфабрикатов технологического потока.

В подразделе 1.2.2 приведены дополнительные требования, предъявляемые к сахару как сырью в отраслях, производящих продукты питания. Эти новые показатели, не нашедшие отражения в стандарте, рассмотрены с позиций потенциальной встроенности в систему контроля, из них для включения в схему отобраны 8 показателей: содержание солей кальция, содержание взвешенных частиц, мутность раствора, pH раствора, флокулообразующая способность раствора, содержание продуктов деструкции крахмала, содержание сапонинов, гранулометрический состав. Поскольку закономерности взаимосвязи новых показателей качества сахара с параметрами полуфабрикатов технологического потока отсутствуют, для их установления было выполнено анкетирование экспертов 25 предприятий отрасли (Приложение В).

В качестве инструмента, позволяющего опросить экспертов – ведущих специалистов сахарных заводов, расположенных в разных регионах России, учесть анонимное, независимое мнение и тем самым повысить достоверность получаемых результатов, использовали метод Дельфи [28]. Опрос по методу Дельфи заключался в заочном (без личных контактов и коллективных обсуждений) анкетировании 25 главных технологов предприятий в три тура с

обработкой результатов анкетирования в каждом туре. В первом туре опроса группе экспертов для заполнения предлагались табличные формы анкеты (Приложение Г), содержащие перечень показателей качества сахара из 8 позиций и перечень параметров полуфабрикатов технологического потока из 39 позиций, из которых 31 пересекающийся параметр, для 12 объектов исследования, взятых из действующей схемы контроля. Использовали шкалу балльных оценок от 0 до 9 (где 0 – полное отсутствие влияния; 9 – критичное влияние) [86]. Эксперты характеризовали степень влияния параметров полуфабрикатов на новые показатели сахара исходя из предполагаемых закономерностей, полученных в оптимальный производственный период (без учета пусковых и завершающих декад, показатели которых часто сопряжены с отклонениями ввиду поступления незрелого или загнившего сырья, необходимости отработки пускового режима и ликвидации обнаруженных недостатков в технологической линии и т.д.), что способствовало повышению достоверности результатов.

В первом туре полученные ответы, которые представлялись без аргументирования, обрабатывались с целью выявления среднего и крайних мнений, которые сообщались экспертам, после чего проводился второй тур опроса, в ходе которого эксперты могли изменить ответы, данные в первом туре. Кроме того, они объясняли, почему изменили или не изменили ответы в тех случаях, в которых наблюдались расхождения мнений более 2 баллов. По факту анкетирования во втором туре изменили ответы 4 респондента по 7 позициям. Вновь полученные средние и крайние мнения, а также вся аргументация с сохранением анонимности сообщались экспертам и проводился третий тур опроса по методике второго тура. По факту анкетирования в третьем туре изменили ответы 2 эксперта по 1 позиции.

Совокупность данных экспертов подвергалась математической обработке для вычисления коэффициентов весомости влияния параметров полуфабрикатов технологического потока на новые показатели сахара, нормированные оценки суммировались, полученные суммы делились на количество экспертов. Средние значения оценок заносились в таблицу (таблица 15).

Таблица 15 – Влияние параметров полуфабрикатов технологических процессов на дополнительные показатели качества белого свекловичного сахара

Этап техно-логи-ческого потока	Объект исследования (полуфабрикат)	Параметр контроля	Дополнительный показатель качества сахара								Показатель влияния единичного параметра полуфабриката (ПВ)
			взвешенные частицы	рН	соли кальция	мутность	флок-потенциал	сапонин	крахмал	гранулометрич-еский 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	рН	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
		Содержание сахарозы, %	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
		рН	0	3,3	1	0	0	3	0	0	7,3
Очистки диффузионного сока	Преддефекованный сок	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
		рН	0	7,5	5	9,3	9,1	7	0	0	37,9
	Дефекованный сок	Общее содержание СаО, %	3,7	3,4	6,6	9,5	3,5	6,2	0	0	32,9
		Щелочность, % СаО	3,5	3	5,2	9,8	3,9	6,3	0	0	31,7
	Сок I насыщенности фильтрованный	Щелочность, % СаО	3,2	3,2	6,4	9,1	3,4	6,7	0	0	32
		рН	0	7	5,1	9,3	9,2	7,3	0	0	37,9
	Сок II насыщенности	Щелочность, % СаО	3,5	3,1	6,8	9,4	3,5	6,2	0	0	32,5
		рН	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
		Цветность	0	1,8	2,3	6,5	0	0	0	0	10,6
	Сироп из выпарной установки	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
		Щелочность, % СаО	3,8	3	6,5	6,1	6	8,4	0	0	33,8
	рН	0	8,3	5,4	6,2	9,5	6,1	0	6,7	42,2	
Кристаллизация сахарозы	Утфель I кристаллизации	Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	1,4	1,4
		рН	0	9,1	2,3	3,3	0	0	0	5,3	20
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Межкристалльный раствор утфеля I кристаллизации	Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	1,9	1,9
	Оттеки I и II утфеля I кристаллизации	Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	2,1	2,1
		Содержание сахарозы, %	0	0	0	0	0	0	0	4,2	4,2
	Утфель II кристаллизации	Содержание сухих веществ, %	0	0	0	0	0	0	0	2,7	2,7
		рН	0	9,2	2,8	3,9	0	0	0	5,2	21,1
		Комплексный показатель влияния технологических параметров (К)		35,7	85,3	86	129,1	80	85	12,1	38,2
Уровень значимости показателя качества сахара (Р)		0.065	0.155	0.156	0.234	0.145	0.154	0.022	0.069		

Суммарные комплексные показатели (К) влияния параметров полуфабрикатов на конкретный дополнительный показатель качества сахара, представляющие собой безразмерные величины, получены путем суммирования значений в столбцах. Отношение каждого из комплексных показателей влияния

параметров к сумме всех элементов являлось уровнем значимости P конкретного показателя качества сахара в их общей совокупности, исходя из полученных данных взаимосвязи между показателями потребительских свойств и параметрами полуфабрикатов.

Ранжирование по убыванию полученных значений P позволило сделать вывод о том, каким показателям качества сахара необходимо уделить особое внимание при контроле: мутность раствора (уровень значимости 0,234), содержание солей кальция (уровень значимости 0,156), pH (уровень значимости 0,155), содержание сапонинов (уровень значимости 0,154), флокк-потенциал (уровень значимости 0,145). Гранулометрический состав и взвешенные частицы демонстрируют низкий уровень значимости ($<0,069$).

Суммирование значений показателя влияния технологических параметров в строках дает числовой ряд показателей влияния (ПВ) единичных параметров полуфабрикатов на показатели качества сахара. Ранжирование по убыванию значений ряда ПВ позволило сделать вывод об уровне значимости конкретного параметра полуфабриката во вклад в формирование совокупности дополнительных показателей качества сахара. Соответственно, особое внимание при контроле следует уделять таким параметрам: pH полуфабрикатов технологического потока (показатель влияния 42,2...21,1), щелочность (показатель влияния 33,8...31,7), содержание солей кальция (показатель влияния 24), содержание редуцирующих веществ (показатель влияния 20,4), а основной контроль необходимо сосредоточить на этапе очистки диффузионного сока, где ПВ дифференцируется в диапазоне 42,2...10,6 со средним значением 26,6 в отличие от других этапов, где ПВ варьирует от 0,3 (свекловичная стружка) до 9,9 (диффузионный сок).

Указанная таблица по своей сути отражает основные взаимосвязи дополнительных показателей качества сахара и параметров полуфабрикатов технологического процесса его производства, являясь информационной моделью [119].

Таким образом, установлено, что группа показателей качества из 8 позиций,

предъявляемых к сахару со стороны промышленных потребителей, имела взаимосвязь с параметрами полуфабрикатов технологического процесса. Однако, по мнению экспертов, параметры содержание сахарозы и сухих веществ не имеют прямой взаимосвязи с дополнительными показателями качества сахара.

4.3 Структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса

Для подтверждения полученных результатов и установления характера взаимосвязи между параметрами полуфабрикатов технологического процесса и дополнительных показателей качества сахара проводили структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса производства сахара путем построения матриц взаимосвязей между сгруппированными параметрами полуфабрикатов технологического процесса и данными показателей качества сахара. Возможность указанного вытекает из следующего.

Ранее был формулирован подход к моделированию и идентификации аномальных ситуаций в больших системах, опирающийся на формализованное описание в матричной форме влияния различных факторов на критерий достижения цели [62]. Позднее автор развил свой подход, уточнив, что коэффициенты связей в виде сопоставимых количественных характеристик могут быть найдены известными методами факторного анализа, экспертных оценок [63]. Аналогичный тезис выдвинут в работе другого автора, согласно которому структурно-параметрическое моделирование систем любой физической и социальной природы сводится к построению матриц взаимосвязей между сгруппированными параметрами состояния и цели отдельных функциональных блоков системы, причем главной задачей является отыскание сопоставимых характеристик связей между параметрами состояния технологической системы [154].

Технология сахара – сложный мегатехнологический процесс, в котором происходят превращения свойств сахароносного растительного сырья – сахарной

свеклы в свойства кристаллического сахара. Составляющие его локальные процессы представляют определенную совокупность и последовательность во времени многообразных физико-химических, механических, теплообменных и других процессов, обладающих соответствующими закономерностями. Причем локальные процессы формируют определенные свойства сахара, которые затем преломляются в его потребительские (сырьевые) свойства, совпадающие или вступающие в противоречие с ожиданиями промышленных переработчиков – предприятий кондитерской промышленности, производителей безалкогольных напитков длительного хранения, алкогольной продукции и др.

Соответственно, к технологии сахара может быть применено структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса путем построения матриц взаимосвязей между сгруппированными параметрами технологического процесса и данными показателей потребительских свойств сахара.

Характеристики связей между наблюдаемыми параметрами задаются экспертным путем с последующим уточнением в результате обработки статистических данных методами корреляционного и регрессионного анализа, т.е. исходные данные формируются в виде массива случайных наблюдений [154].

В качестве исходного материала выступали результаты мониторинга технологического процесса из журналов контроля. Данные массива наблюдений формировали за оптимальный производственный период (без учета пусковых и завершающих декад), при этом из обрабатываемых были исключены три показателя качества сахара: флокк-потенциал, содержание крахмала, гранулометрический состав. Объясняется это следующими причинами: флокк-потенциал выражается степенью флокулообразования, которая определяется как незначительная, слабая, умеренная и значительная, т.е. относится к безразмерным величинам и не может быть математически обработана. Содержание крахмала в сахаре определяется исходным сырьем, как известно, он содержится в сахарном тростнике и продуктах его переработки, поэтому зная источник происхождения сырья можно определить порядок проведения контроля по данному показателю

[64]. Характеристики гранулометрического состава сахара выражаются средним размером кристаллов и коэффициентом вариации, которые имеют широкие пределы варьирования в зависимости от требования конкретных потребителей [210].

Структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса было выполнено на предприятии ООО «Промсахар». Оно включало 12 объектов исследований – полуфабрикатов технологического потока и относящихся к ним параметров, приведенных в таблице 15, из которых формировали массив исходных данных, включавший в себя до 720 результатов исследований.

В качестве примера в таблице 16 представлен фрагмент массива данных, полученных в результате измерений на этапе очистки диффузионного сока при исследовании сока II ступени сатурации. Исходными параметрами, отражающими протекание технологического процесса, выступали: X_1 – щелочность, % СаО; X_2 – рН; X_3 – содержание сахарозы, %; X_4 – содержание сухих веществ, %; X_5 – цветность, ед. ICUMSA; X_6 – содержание солей кальция, %. Выходными параметрами являлись дополнительные показатели сахара: Y_1 – содержание взвешенных частиц, мг/кг; Y_2 – рН раствора; Y_3 – содержание солей кальция, %; Y_4 – мутность раствора, ед. ICUMSA; Y_5 – содержание сапонинов, мг/кг.

Таблица 16 – Фрагмент образца массива исходных данных

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
0,018	9,6	12,7	13,6	248	0,019	0,0001	7,0	0,002	20,0	8
0,019	9,4	12,2	13,0	244	0,028	0,0001	7,0	0,007	13,5	7,8
0,019	9,4	12,8	13,6	252	0,021	0,0003	7,1	0,003	7,6	8,0
0,020	9,5	11,9	12,8	256	0,022	0,0001	6,8	0,005	20,2	12
0,022	9,6	11,5	12,4	228	0,024	0,0002	7,2	0,007	7,4	13
0,025	9,6	13,2	14,0	256	0,022	0,0002	6,9	0,007	7,3	11,8
X_{1n}	X_{2n}	X_{3n}	X_{4n}	X_{5n}	X_{6n}	Y_{1n}	Y_{2n}	Y_{3n}	Y_{4n}	Y_{5n}

Массив исходных данных трансформировали в матрицу корреляционных связей, отражающую глубину статистической связи между параметрами, путем

определения коэффициентов корреляции по формуле [137]:

$$r_{km} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(x_{ki} - \bar{x}_k)}{\sigma(x_k)} \cdot \frac{(x_{mi} - \bar{x}_m)}{\sigma(x_m)}, \quad (1)$$

где r_{km} – коэффициент корреляции между k -ой и m -ой переменными;

x_{ki} и x_{mi} – i -ые значения k -ой и m -ой переменных в области исследования;

\bar{x}_k и \bar{x}_m – средние значения k -ой и m -ой переменных;

$\sigma(x_k)$, $\sigma(x_m)$ – стандартные отклонения k -ой и m -ой переменных.

Фрагмент матрицы корреляционных связей, рассчитанных по критерию Пирсона с доверительной вероятностью 0,95, представлен на рисунке 8, в таблице 17.

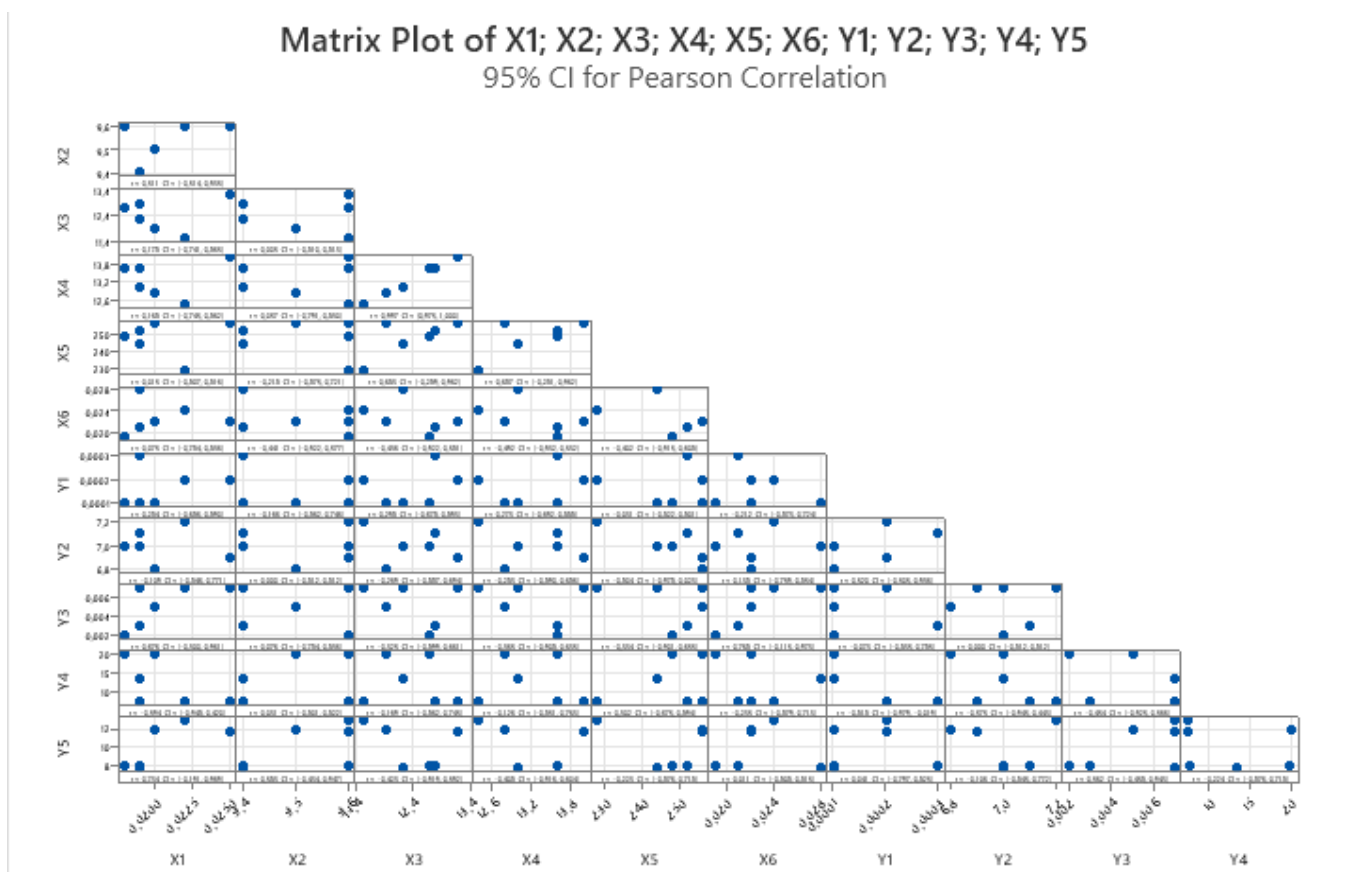


Рисунок 8 – Графическое представление фрагмента матрицы корреляционных связей

Для анализа силы взаимосвязи между параметрами применяли интерпретацию величины коэффициента корреляции по шкале Чеддока. Из представленных данных в таблице 17 видно, что имеется очень высокая

Таблица 17 – Фрагмент матрицы корреляционных связей по Пирсону

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
X_1	1										
X_2	0,511	1									
X_3	0,178	0,005	1								
X_4	0,168	0,057	0,997	1							
X_5	0,015	-0,218	0,683	0,687	1						
X_6	0,075	-0,441	-0,436	-0,492	-0,402	1					
Y_1	0,284	-0,166	0,298	0,273	-0,031	-0,212	1				
Y_2	-0,109	0	-0,269	-0,283	-0,804	0,138	0,520	1			
Y_3	0,676	0,076	-0,325	-0,365	-0,334	0,768	-0,073	0	1		
Y_4	-0,594	0,031	-0,169	-0,126	0,302	-0,235	-0,818	-0,575	-0,454	1	
Y_5	0,734	0,583	-0,423	-0,408	-0,223	0,011	0,041	-0,106	0,562	-0,224	1

корреляция между входными параметрами X_3 и X_4 , так как $r_{3,4} = 0,997$, что фактически соответствует линейной взаимосвязи. Это означает, что в уравнениях регрессии следует рассматривать только один из них. Тогда, для откликов можно получить два выражения регрессий, одно из которых содержит параметр X_3 , а другое X_4 . Имеется также высокая корреляционная связь между выходными параметрами (откликами) Y_1 и Y_4 так как $r_{7,10} = -0,818$. Это позволяет при экспресс-контроле данного этапа технологического процесса рассматривать значение только одного из откликов.

Из данных таблицы 17 также видно, что значения коэффициентов корреляции между Y_1 и X_1 - X_6 достаточно малы и соответствуют очень слабым связям, что будет вызывать проблемы в дальнейшем при оценке значимости уравнения регрессии. Поскольку критерий Пирсона применяется при наличии линейных связей, то рассчитывали матрицу корреляций по критерию Спирмена, применяемого при наличии нелинейных связей. Фрагмент матрицы корреляционных связей, рассчитанных по критерию Спирмена с доверительной вероятностью 0,95, представлен в таблице 18.

Рассматривали отдельно изменение силы связи между параметрами Y_1 и X_1 - X_6 , соответствующие значения коэффициентов корреляции, рассчитанные по

критериям Пирсона и Спирмена, представлены в таблице 19.

Таблица 18 – Фрагмент матрицы корреляционных связей по Спирмену

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
X_1	1										
X_2	0,376	1									
X_3	-0,029	-0,031	1								
X_4	-0,074	0,078	0,986	1							
X_5	0,265	-0,031	0,551	0,529	1						
X_6	0,441	-0,219	-0,493	-0,529	-0,412	1					
Y_1	0,376	-0,033	0,370	0,250	0,047	-0,141	1				
Y_2	-0,162	-0,016	-0,232	-0,279	-0,794	0,088	0,532	1			
Y_3	0,739	0,066	-0,213	-0,246	-0,216	0,893	0,098	0,031	1		
Y_4	-0,638	-0,309	-0,371	-0,319	0,116	-0,232	-0,741	-0,406	-0,577	1	
Y_5	0,691	0,579	-0,464	-0,471	0,088	0,088	0,219	0,015	0,246	-0,203	1

Таблица 19 – Сравнение значений коэффициентов корреляции

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
критерий Пирсона						
Y_1	0,284	-0,166	0,298	0,273	-0,031	-0,212
критерий Спирмена						
Y_1	0,376	-0,033	0,370	0,250	0,047	-0,141

Из данных, представленных в таблице 19, следует, что изменение силы связи с «очень слабой» на «слабую» происходит только для коэффициентов корреляции между откликом Y_1 и входными параметрами X_1 и X_3 . Считая, что такое изменение является незначительным, далее определяли уравнения множественной линейной регрессии для всех выходных параметров. Для каждого из выходных параметров определяли уравнения регрессии с использованием критериев R^2 (коэффициент детерминации) и R^2_k (скорректированный коэффициент детерминации) (Приложение Д).

Для параметра Y_1 среди рассмотренных моделей-претендентов наилучшие характеристики имеет уравнение (5). В модели (3) были рассмотрены два коррелирующих входных параметра X_3 и X_4 , несмотря на наибольшее значение критерия $R^2 = 0,89$, значение критерия $R^2_k = 0,43$. Это означает, что доля

дисперсии параметра Y_1 , объясняемая данной моделью, составляет всего лишь 43 %. Высокое значение коэффициента взаимной корреляции между параметрами X_3 и X_4 , $r_{3,4} = 0,997$, здесь привело к проявлению эффекта мультиколлинеарности. Поэтому, для всех последующих моделей-претендентов будем учитывать только параметр X_4 .

Для параметра Y_2 наилучшие характеристики среди рассмотренных имеют модели без постоянного члена, а среди них лучшей является модель (11), поскольку при практически одинаковых значениях критериев содержит только один входной параметр. Уравнение (20) имеет наилучшие характеристики для параметра Y_3 . Для параметра Y_4 наилучшие характеристики имеют модели без постоянного члена, а среди них лучшей является модель (27). Для параметра Y_5 наилучшие характеристики имеет уравнение (34).

Полученные модели взаимосвязи дополнительных показателей качества белого сахара и параметров полуфабрикатов технологического процесса его производства приведены в Приложении Е. Из всех полученных 41 уравнения регрессии, только в зависимостях Y_5 для диффузионного сока и Y_1 для сока второй ступени сатурации значения $R^2 = 0,89$ и $0,86$, соответственно; $R^2_k = 0,79$ и $0,72$, соответственно; для всех остальных 39 уравнений, они соответствуют $R^2 \geq 0,9$ и $R^2_k \geq 0,8$, что позволяет использовать их для контроля.

Обобщенно данные о взаимосвязи дополнительных показателей качества белого свекловичного сахара с конкретными параметрами полуфабрикатов приведены в таблице 20.

Из таблицы 20 видно, что дополнительные показатели сахара взаимосвязаны с параметрами полуфабрикатов всех этапов технологического потока его производства. Как следует из обобщенных моделей взаимосвязи (Приложение Е), наибольшее влияние на качество белого сахара по рассматриваемым дополнительным показателям оказывают следующие полуфабрикаты: свекловичный сок, диффузионный сок, преддефекованный сок, сок первой ступени сатурации, сок второй ступени сатурации, сироп после выпарной установки.

Таблица 20 – Взаимосвязь дополнительных показателей качества белого сахара и конкретных параметров полуфабрикатов

Дополнительный показатель качества белого сахара	Параметр полуфабриката, с которым имеется взаимосвязь
содержание взвешенных частиц	содержание брака свекловичной стружки; содержание высокомолекулярных соединений в свекловичном соке; содержание мезги, высокомолекулярных соединений в диффузионном соке; общее содержание СаО, щелочность в преддефектованном соке, дефектованном соке; рН сока I сатурации; щелочность, содержание кальция сока II сатурации; щелочность сиропа из выпарной установки
рН	щелочность, рН сока I сатурации; щелочность, рН сока II сатурации; щелочность, рН сиропа из выпарной установки; рН утфеля I кристаллизации; рН утфеля II кристаллизации
содержание кальция	содержание редуцирующих веществ, высокомолекулярных соединений в диффузионном соке; общее содержание СаО, щелочность, рН в преддефектованном соке; общее содержание СаО, щелочность в дефектованном соке; щелочность, рН сока I сатурации; щелочность, содержание кальция сока II сатурации, щелочность; рН сиропа из выпарной установки; рН утфеля I кристаллизации; рН утфеля II кристаллизации
мутность раствора	рН, содержание сапонинов в свекловичном соке; содержание редуцирующих веществ, высокомолекулярных соединений в диффузионном соке; щелочность, рН сока I сатурации; щелочность сока II сатурации; щелочность, рН сиропа из выпарной установки; рН утфеля I кристаллизации; рН утфеля II кристаллизации
содержание сапонинов	рН, содержание сапонинов в свекловичном соке; содержание сапонинов в диффузионном соке; общее содержание СаО, щелочность, рН в преддефектованном соке; щелочность, рН сока I сатурации; щелочность сока II сатурации

Таким образом, полученные результаты экспертной оценки и структурно-параметрического моделирования этапов технологического процесса подтверждают взаимосвязь показателей качества белого сахара и параметров полуфабрикатов. Указанное позволило в дальнейшем выполнить обоснование объектов и параметров в схемах контроля при построении системы комплексного контроля качества и безопасности при производстве белого сахара, в т.ч. по дополнительным показателям качества.

Глава 5 ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛОГО САХАРА

5.1 Совершенствование схемы контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара

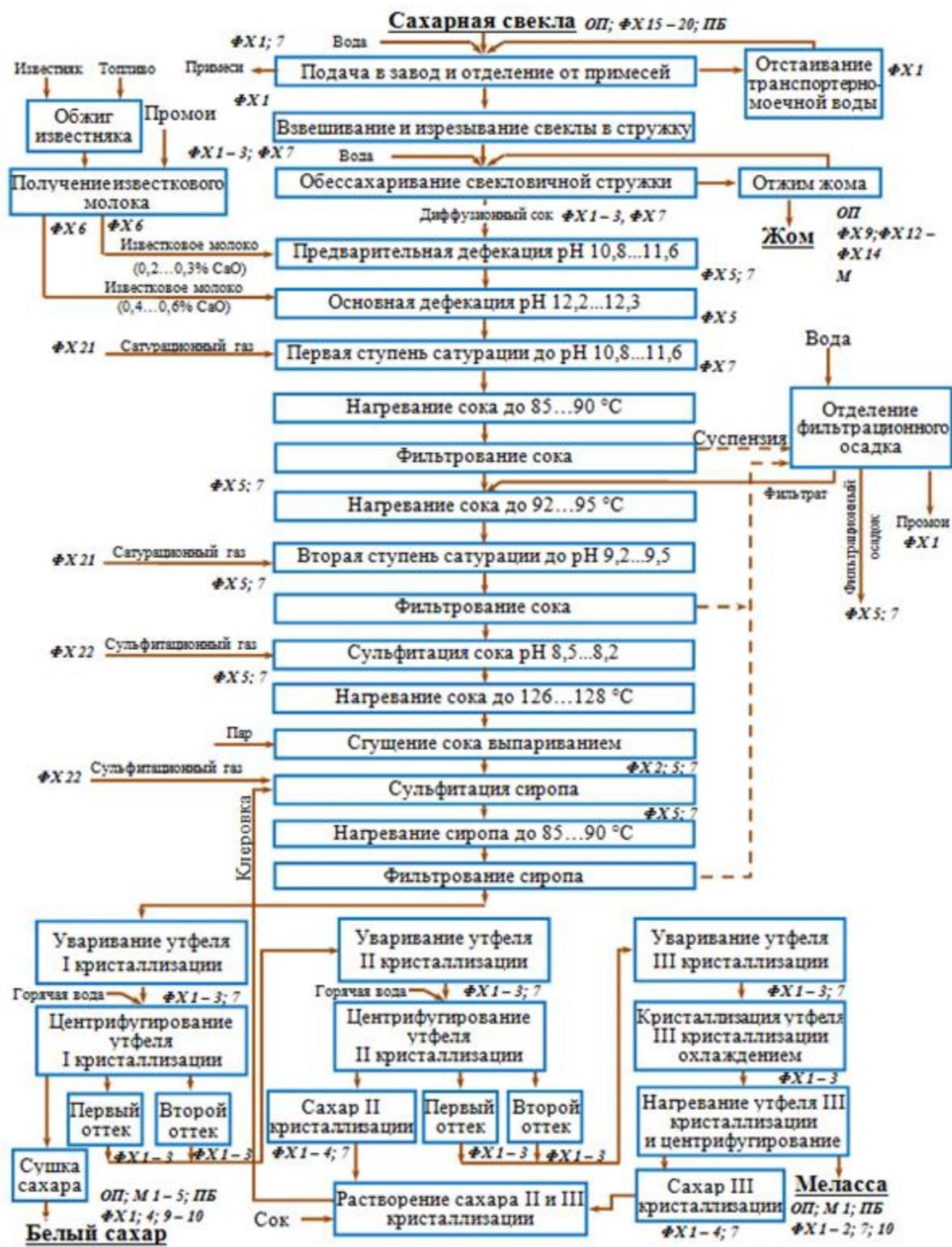
5.1.1 Обоснование объектов, параметров и периодичности контроля

При осуществлении операционного контроля технологических процессов центральная производственная лаборатория анализирует различные продукты сахарного производства [13, 68] в условно выделенных отделениях сахарного завода: сахарную свеклу, диффузионный сок, жом, жомопрессовую воду; известковое молоко, преддефекованный, дефекованный, сатурационный и сульфитированный соки, сатурационный газ, фильтрационный осадок, сироп; утфели всех ступеней кристаллизации, межкристальные растворы, оттеки, сахара всех ступеней кристаллизации, белый сахар, клеровку, сироп с клеровкой, мелассу.

Основными контролируемыми параметрами в продуктах сахарного производства являются [37, 182]: содержание сухих веществ, сахарозы, цветность продуктов, плотность, чистота продуктов, содержание солей кальция, щелочность, рН. Углубленные методы исследования продуктов сахарного производства предусматривают определение азотсодержащих несахаров, веществ коллоидной дисперсности, пектиновых веществ, остаточных количеств формальдегида, определение скорости осаждения осадка сока I сатурации, определения оптимальной щелочности сока II сатурации и др. [22]. Нормативные требования и показатели, по которым анализируется белый сахар как готовая продукция, приведены в разделе 1.2.1.

Действующая блок-схема контроля технологических процессов производства кристаллического белого сахара из сахарной свеклы с указанием

объектов и параметров контроля представлена на рисунке 9.



Условные обозначения:

ОП – органолептические показатели; ПБ – показатели безопасности;

ФХ – физико-химические показатели: 1 – массовая доля сахарозы, 2 – массовая доля сухих веществ, 3 – чистота, 4 – цветность, 5 – щелочность, 6 – плотность, 7 – рН, 8 – массовая доля солей кальция, 9 – массовая доля влаги, 10 – массовая доля редуцирующих веществ, 11 – массовая доля золы, 12 – массовая доля ферропримесей, 13 – массовая доля сырого протеина, 14 – массовая доля механических примесей, 15 – сахаристость, 16 – загрязненность, 17 – содержание зеленой массы, 18 – содержание увядших корнеплодов, 19 – содержание корнеплодов с сильными механическими повреждениями, 20 – содержание цветущих корнеплодов, 21 – содержание диоксида углерода, 22 – содержание диоксида серы; М – микробиологические показатели: 1 – КМАФАнМ, 2 – плесневые грибы, 3 – дрожжи, 4 – БГКП, 5 – патогенные микроорганизмы (Salmonella)

Рисунок 9 – Блок-схема контроля технологического процесса производства белого сахара из сахарной свеклы

Она опирается на методологию операционного контроля, изложенную в «Инструкции по химико-техническому контролю и учету сахарного производства», базовые положения которой были разработаны в 80-е годы XX в. Всего в действующей схеме контроля предусмотрено 59 объектов контроля и 32 пересекающихся параметра, по которым контролируются сырье, полуфабрикаты, готовая продукция.

Согласно сформулированным научным положениям организации системы контроля технологического потока производства сахара из сахарной свеклы выполнена актуализация схемы контроля, включая пересмотр объектов, параметров и периодичности 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. Ниже кратко рассмотрены основные этапы технологического потока и показано формирование структуры схемы контроля.

Этап экстрагирования сахарозы начинается с поступления в поток отмытой сахарной свеклы, включает операции измельчения сахарной свеклы в свекловичную стружку, противоточное экстрагирование из нее сахарозы в раствор экстрагента с получением диффузионного сока и жома, разделение диффузионного сока и жома, отжатие жома; на этом этапе присутствуют также водные потоки, подлежащие контролю в виде отработавшей транспортерно-моечной воды и осветленной транспортерно-моечной воды, которые циркулируют в оборотной системе; жомопрессовой воды, получаемой при отжатии жома и направляемой в состав экстрагента.

На данном этапе технологические качества сахарной свеклы претерпевают превращения в технологические качества образующихся диффузионного сока и жома, которые продолжают движение по потоку для образования конечных продуктов – сахара и сушеного жома. Поскольку состав диффузионного сока

оказывает влияние на качество сахара и мелассы за счет содержащихся в нем несахаров, все операции и состав полуфабрикатов подлежат контролю с целью соответствия их технологической цели.

Действующая «Инструкция по химико-техническому контролю и учету сахарного производства» предусматривает на данном этапе 11 объектов контроля, контролируемых по 14 пересекающимся параметрам. Согласно проведенной актуализации в соответствии со сложившимися современными локальными технологиями рекомендуется 12 объектов контроля.

Для формирования массива контролируемых величин проводили уточнение необходимости контроля известных параметров и вновь предложенных исходя из следующей альтернативы: 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. На рассматриваемом этапе для контроля был определен массив 39 пересекающихся параметров.

Для базовой схемы применительно к 8 объектам контроля сочтено необходимым оставить известные параметры контроля; для одного объекта контроля – отмытой сахарной свеклы – дополнительно к известным параметрам предложено включить новый параметр в виде органолептических показателей. Указанные показатели впервые появились в ГОСТ 33884-2016 «Свекла сахарная. Технические условия», они предполагают проводить оценку по внешнему виду и запаху, соответственно и оценку отмытой свеклы логично проводить по современным нормируемым показателям.

Для расширенной схемы применительно к 6 объектам контроля сочтено необходимым оставить известные параметры контроля; применительно к 3 объектам контроля – отмытой сахарной свекле, свекловичному соку, диффузионному соку – дополнительно к известным параметрам предложено включить 12 новых параметров.

Связано это с тем, что как показано ранее, промышленные потребители

предъявляют жесткие требования к микронутриентному составу сахара, которые могут быть обеспечены из сырья определенного качества, при ведении процессов таким образом, чтобы не происходило накопления нежелательных соединений в полуфабрикатах.

Так, повышенное содержание золы в сахаре может быть обусловлено поступлением в технологический поток сахарной свеклы с высоким содержанием золы, наличием большого количества загнивших корнеплодов; развитием микробиологического инфицирования на диффузии. Повышенное содержание редуцирующих веществ в сахаре является следствием неправильного технологического режима. Красящие вещества формируются при получении очищенного сока, его выпаривании, при кристаллизации сахарозы, причем каждый последующий процесс только добавляет прирост цветности. Причиной высокой цветности полуфабрикатов может быть высокое содержание аминокислот, амидов и редуцирующих веществ в сырье и диффузионном соке (как из-за качества сырья, так и качества ведения процесса, при микробиологической зараженности сока).

Исходя из накопленных знаний о влиянии технологических качеств сахарной свеклы, состава полуфабрикатов на качество сахара, вытекает следующее: для поступающей в поток сахарной свеклы важна идентификация болезней как фактора снижения выхода и ухудшения качества сахара; уровень редуцирующих веществ в сахарной свекле позволяет оценить состояние баланса в углеводном комплексе и величину распада сахарозы; содержание микронутриентов калия, натрия, α -аминного азота, раффинозы, коллоидов совокупно характеризует технологическую адекватность сырья. Поэтому в качестве новых параметров для отмытой сахарной свеклы предложено ввести органолептические показатели с идентификацией болезней – данный параметр впервые войдет в систему контроля; показатели содержания микронутриентов калия, натрия, α -аминного азота, раффинозы, коллоидов.

Для свекловичного сока предложены 2 новых параметра контроля в виде содержания оптически активных соединений и микробиологического статуса

сока. Содержание оптически активных соединений косвенно позволяет охарактеризовать уровень начавшихся процессов гидролиза, в первую очередь сахарозы, что в последующем негативно скажется на выходе и качестве сахара. Микробиологический статус дает возможность определить присутствие молочнокислых, слизиобразующих и гнилостных бактерий, уточнить степень инфицированности, важно, что данный анализ осуществляется быстро путем микроскопирования с использованием специальных красителей.

Для диффузионного сока рекомендованы 3 дополнительных параметра контроля в виде содержания молочной кислоты, коллоидов и оценки микробиологического статуса сока. Содержание молочной кислоты является показателем степени гидролиза сахарозы, коллоидов – показателем перехода нерастворимых соединений в растворимые; вместе комплекс данных показателей позволяет оценить потенциальную пригодность диффузионного сока для получения сахара высокого качества.

В целом структура базовой схемы для контроля этапа экстрагирования сахарозы включает линейку из 39 параметров, предназначенную для 12 объектов контроля; структура расширенной схемы – линейку из 51 параметра, предназначенную для тех же 12 объектов контроля.

Этап очистки сахаросодержащих растворов включает собственно очистку диффузионного сока, выпаривание очищенного сока с получением сиропа, подготовку сиропа к кристаллизации. На данном этапе технологические качества диффузионного сока претерпевают превращения в технологические качества образующихся очищенного сока и сиропа, который продолжит движение по потоку для образования конечного продукта – сахара. Поскольку состав очищенного сока и затем сиропа оказывают влияние на качество сахара и мелассы за счет оставшихся и образовавшихся в нем несахаров, все операции и состав полуфабрикатов подлежат контролю с целью соответствия их технологической цели.

Действующая Инструкция по контролю предусматривает на данном этапе 11 объектов контроля, контролируемых по 14 пересекающимся параметрам.

Согласно проведенной актуализации, в соответствии со сложившимися современными локальными технологиями, рекомендуется 18 объектов контроля.

Для базовой схемы применительно к 18 объектам контроля оценки сочтено необходимым оставить известные параметры контроля. Для расширенной схемы применительно к 10 объектам контроля сочтено необходимым оставить известные параметры контроля; применительно к 5 объектам контроля – преддефектованному соку, фильтрованному соку второй ступени сатурации, очищенному соку, сиропу, фильтрованной смеси сиропа с клеровкой – дополнительно к известным параметрам предложено включить 13 новых параметров.

Связано это с тем, что в международной практике получили распространение критерии, которые характеризуют удаление несахаров в процессе очистки: общий эффект очистки, индекс несахаров, индекс щелочной золы, индекс кальциевых солей, коэффициент правильности проведения процесса очистки.

Причем как показывает практика, они дают возможность расширить диапазон контролируемых показателей, оперативно оценить работу этапа очистки диффузионного сока по выведению общих и отдельных групп несахаров; прогнозировать качество белого сахара [195]. Поскольку для расчетов вышеприведенных показателей используются значения содержания кондуктометрической золы, α -аминного азота, редуцирующих веществ, в качестве новых параметров предложено ввести их для контроля очищенного сока и сиропа, а в составе золы выделить отдельные микроэлементы калий и натрий.

Исходя из накопленных знаний о требованиях промышленных потребителей к сахару в части мутности его растворов, вытекает необходимость контроля мутности полуфабрикатов этапа очистки сахаросодержащих растворов. Поэтому в качестве нового параметра для фильтрованного сока второй ступени сатурации, очищенного сока, сиропа, фильтрованной смеси сиропа с клеровкой введены показатели их мутности.

В целом структура базовой схемы контроля этапа очистки сахаросодержащих растворов включает 60 параметров, предназначенных для 18

объектов контроля; структура расширенной схемы – 73 параметра, предназначенных для тех же 18 объектов контроля.

На этапе кристаллизации сахарозы технологические качества фильтрованного сиропа с клеровкой претерпевают превращения в технологические качества образующихся белого сахара и мелассы, которые подлежат выходному контролю по нормируемым показателям в соответствии с ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия» и ГОСТ 30561-2017 «Меласса свекловичная. Технические условия». Поскольку состав сиропа с клеровкой оказывает влияние на качество сахара и мелассы за счет находящихся в нем и образующихся несахаров, все операции и состав полуфабрикатов подлежат контролю с целью соответствия их технологической цели.

Действующая Инструкция по контролю предусматривает на данном этапе 14 объектов контроля, контролируемых по 14 пересекающимся параметрам. Согласно проведенной актуализации, в соответствии со сложившимися современными локальными технологиями были исключены 5 полуфабрикатов, которые отсутствуют в современных технологических схемах; при этом введены 8 новых объектов контроля в виде полуфабрикатов и готовой продукции; таким образом, на данном этапе рекомендуется 17 объектов контроля.

Для базовой схемы применительно к 17 объектам контроля сочтено необходимым оставить известные параметры контроля. Для расширенной схемы применительно к 15 объектам контроля сочтено необходимым оставить известные параметры контроля; применительно к 2 объектам контроля – белому сахару, мелассе – дополнительно к известным параметрам предложено включить 20 новых параметров; дополнить схему 1 объектом контроля (сушеный жом) с 6 параметрами контроля. Связано это с переориентацией производства на требования потребителей, которые определяются условиями рынка [229, 228], выдвигая дополнительные показатели, не являющиеся предметом стандартов на сахар и мелассу.

Поэтому предприятиям, поставляющим свою продукцию производителям продуктов питания, предъявляющим повышенные требования к качеству сахара и

мелассы, следует, в первую очередь, определить глубину контроля, т.е. отклонение от стандартной схемы в части расширения параметров контроля.

Для выпуска сахара или мелассы заданного состава необходимо дополнительно включить в схему контроля оценку сахарной свеклы, поступающей в технологический поток, на наличие и идентификацию болезней, степень отделения примесей и отмывки от прилипшей почвы, наличие зольных элементов; в полуфабрикатах вести контроль мутности фильтрованных растворов, содержания щелочных элементов и солей кальция; в сахаре ввести контроль pH, содержания солей кальция, взвешенных частиц, мутности, флокулообразующей способности, гранулометрического состава; в мелассе ввести контроль содержания солей кальция, золы, α -аминного азота, ВМС, калия, натрия, диоксида серы. В этом случае фактические параметры сырья, полуфабрикатов могут предоставить информацию о состоянии технологического потока и возможностях выпуска белого сахара заданного состава по требованиям промышленных потребителей.

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).

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.

Обоснование периодичности контроля выполнялось для условий стабильности технологического потока производства сахара. При этом под стабильным процессом понимали процесс, утвердившийся на определенном уровне устойчивости [112]. В свою очередь, устойчивость функционирования

технологического потока – свойство системы сохранять точность показателей качества продукции во времени.

Изучение устойчивости функционирования технологического потока производства сахара показало, что в нем имеют место систематические и случайные производственные погрешности, определяемые качеством сырья [43, 55]. Соответственно, чтобы обеспечить стабильность каждой операции и конечного продукта, необходимо исключить использование сырья и технологических вспомогательных средств нестандартного качества, нарушения технологического режима, обслуживание линии неквалифицированным персоналом [42].

Поскольку в технологии производства сахара показатели качества и безопасности сырьевых, водных и материальных потоков являются вариативными, от их совокупного воздействия зависит уровень потенциальной опасности выпускаемой продукции. При обосновании периодичности контроля технологического потока учитывали специфические особенности протекания процессов производства белого сахара, виды и атрибуты контроля, рассмотренные ниже.

1. Характерные черты технологического потока: в его составе находится множество подсистем и элементов, разнообразных связей, наличие параллельно включенных аппаратов периодического действия и малой мощности, большое число факторов, влияющих на ход процессов (по потоку контролируется более 250 параметров), качество выполнения многих операций напрямую зависит от опыта и квалификации оператора. При этом химический состав сахарной свеклы во многом определяет последовательность и включение тех или иных операций в технологический процесс, а колебания даже в сотых долях процента содержания нутриентов сахарной свеклы вызывают изменения параметров протекания процессов.

2. Специфику технологического потока производства сахара определяет то, что все операции с момента поступления сырья распределены с определенным лагом во времени, каждая локальная операция имеет оптимальную

продолжительность [67, 199]. При этом большинство процессов имеет продолжительность около 10...15 мин; более длительны по времени экстрагирование сахарозы и выпаривание очищенного сока 40...60 мин; еще более длительны процессы уваривания утфелей – в зависимости от ступени кристаллизации 2,5...8,0 час, наиболее длительным процессом является кристаллизация утфеля последней ступени охлаждением – до 32 час.

3. Учитывалось, что современный свеклосахарный завод представляет собой промышленное предприятие с максимальным использованием автоматизации и компьютеризации технологических процессов [131]. Все основные участки в обязательном порядке имеют локальные схемы автоматизации, как правило, объединенные в общую схему [34]. Это позволяет оператору отслеживать в режиме онлайн различные параметры процесса: температуру, давление, pH, расход и т.д. В то же время отслеживание в потоке таких показателей как щелочность, содержание солей кальция, сахарозы представляет сложную техническую и научную задачу и пока не получило распространения. Исходя из этого, можно принять, что периодичность контроля показателей следует ранжировать в зависимости от наличия возможности их контроля в потоке.

4. При обосновании периодичности контроля приемлемы подходы, связанные с видами контроля в виде нормального и усиленного, а также логикой термина «план выборочного контроля» в той его части, которая определяется объемом выборки [32]. Учитывая непрерывность потока, применяли понятие «нештучная продукция» – вещество или материал, в котором выборочные единицы изначально не различимы на макроскопическом уровне [33]. Этому понятию удовлетворяют как сырье, полуфабрикаты технологического потока, так и готовая продукция.

Выборочный контроль нештучной продукции условно различают как контроль из совокупности нештучной продукции и контроль на предприятии. При этом основной целью применения выборочного контроля на предприятии является управление производственным процессом и подтверждение качества

продукции. Т.е. применение выборочного контроля нештучной продукции вполне отвечает методологическим задачам данной работы.

5. В технологическом потоке учитывали определение термина «слой» [33] – «часть совокупности, рассматриваемая как более однородная по отношению к исследуемым характеристикам качества (слои являются взаимно непересекающимися и полными)»; причем различают слои на основе времени, массы и пространства, связанные с периодами времени, изготовленной массой, грузоподъемностью транспортного средства.

В нашем случае имеет место непрерывный поток, который предпочтительнее различать по слоям на основе времени, ибо корреляции между массой (фактически объемом полуфабрикатов на потоке) и параметрами нет – для потока большой производительности, также как и для потока малой производительности могут иметь место стабильные и нестабильные показатели. В свою очередь технологический поток производства сахара представляет собой последовательность в основном жидких продуктов, а в процессе отбора выборки из жидкости изменчивость в пределах объединенной пробы сравнительно мала и процесс подготовки пробы практически отсутствует.

Единственным объектом контроля, для которого, предположительно, следует применить слой на основе массы, является меласса. Связано это с тем, что выпуск готовой побочной продукции – мелассы происходит через порционное взвешивание на бункерных весах.

6. Поскольку план контроля выполняется персоналом лаборатории, работающей непрерывно по сменному режиму, в качестве выборочного контроля (периодичности контроля) могут быть приняты слои на основе времени, такие выборки будут иметь равнозначность в потоках разной производительности. Методологически применительно к жидким продуктам применяется отбор сквозной выборки, предусматривающий в т.ч. объединение или накопление разовых проб.

Что касается ранжирования слоев по иерархии временных периодов, нами предложена следующая конфигурация: при отборе простой случайной выборки,

где выборочной единицей является разовая проба, применить слой ежечасный, слой с интервалом 2 час, слой с интервалом в 4 час, слой с интервалом 8 час; при отборе простой расслоенной случайной выборки, где из каждого слоя отбирают простую случайную выборку, выборочной единицей служит объединенная проба, в этом случае применить слой с интервалом в 2 час, слой с интервалом 8 час (длительность смены).

Указанная периодичность относится ко всем полуфабрикатам технологического потока, за исключением утфелей всех ступеней кристаллизации, увариваемых в периодическом режиме. При этом длительность уваривания не является постоянной величиной для утфеля каждой ступени кристаллизации, варьируя от аппарата к аппарату для одной ступени кристаллизации: для утфеля первой ступени в диапазоне 2,5...4,0 час; для утфеля второй ступени в диапазоне 6,0...8,0 час; для утфеля третьей ступени в диапазоне 9,0...12,0 час. Соответственно, если отбор проб следует осуществлять из готового утфеля, слои следует различать по времени опосредованно – не через определенный интервал времени, а через определенный интервал сваренных аппаратов, например, слой каждого второго или третьего аппарата.

Ранжирование слоев следует осуществлять в зависимости от схемы уваривания: для утфелей первой ступени кристаллизации при применении затравочного материала – из каждого 3-го аппарата; при применении стандарт-сиропа и маточного утфеля – из каждого 5-го аппарата; для утфелей второй ступени кристаллизации, соответственно, из каждого 2-го и 4-го аппарата; для утфелей третьей ступени кристаллизации – из каждого аппарата.

Применение того или иного слоя для выборки обуславливается характеристикой объекта контроля, возможностью технологического потока стабильно поддерживать его заданные параметры, уровнем взаимосвязи с качественными характеристиками сахара и побочной продукции.

Так, ранее фильтрационный осадок выводился из завода в разжиженном состоянии, поэтому его контроль на содержание сахарозы как потерь в производстве осуществлялся в средней пробе, собираемой из всех фильтров через

2 час; в настоящее время заводы оснащены камерными фильтр-прессами, откуда осадок выводится в полусухом виде, причем работа фильтров автоматизирована, а промывка осадка от сахарозы ведется сжатым воздухом (продувка), что стабилизирует ее содержание в нем на минимальном уровне; поэтому нет необходимости часто контролировать данный объект, в связи с чем принято решение о выборочном контроле разовых проб с интервалом 4 час.

Аналогичным образом может быть объяснена периодичность отбора проб утфеля – ранее утфеля уваривались при вводе в качестве затравочного материала сахарной пудры, которая имела большую неоднородность, в качестве растворов в аппараты поступали сиропы, отличающиеся по качеству, ввиду этого утфеля также отличались по качеству и их анализировали из каждого аппарата.

В настоящее время практикуется использование специальных затравочных материалов с заданным размером микрокристаллов, в качестве раствора применяют стандарт-сироп с заданным качеством, процесс автоматизирован, это позволило унифицировать качество утфеля. Соответственно, отпадает необходимость частого контроля данного объекта, в связи с чем принято решение об изменении выборок утфеля, категоризовав их в зависимости от ступени кристаллизации и количества сваренных аппаратов.

Таким образом, совокупность вариаций периодичности контроля технологических процессов производства сахара с учетом автоматического отслеживания в потоке исключительно величин расхода, температуры, pH, может быть представлена в следующем виде (рисунок 10).

Как видно, периодичность контроля включает все применяемые выборки слоев на основе времени и массы, дифференцируется для полуфабрикатов технологического потока, получаемых в непрерывном и периодическом режимах, по выборочным единицам в виде простой случайной или расслоенной выборки, по выборочной единице в виде разовой или объединенной пробы.

Подтверждение необходимости введения дополнительных объектов и параметров контроля проводилась путем оценки рисков отклонения качества белого сахара по ряду показателей [47, 236] в технологическом потоке его

производства с использованием положений FMEA-методологии [101].

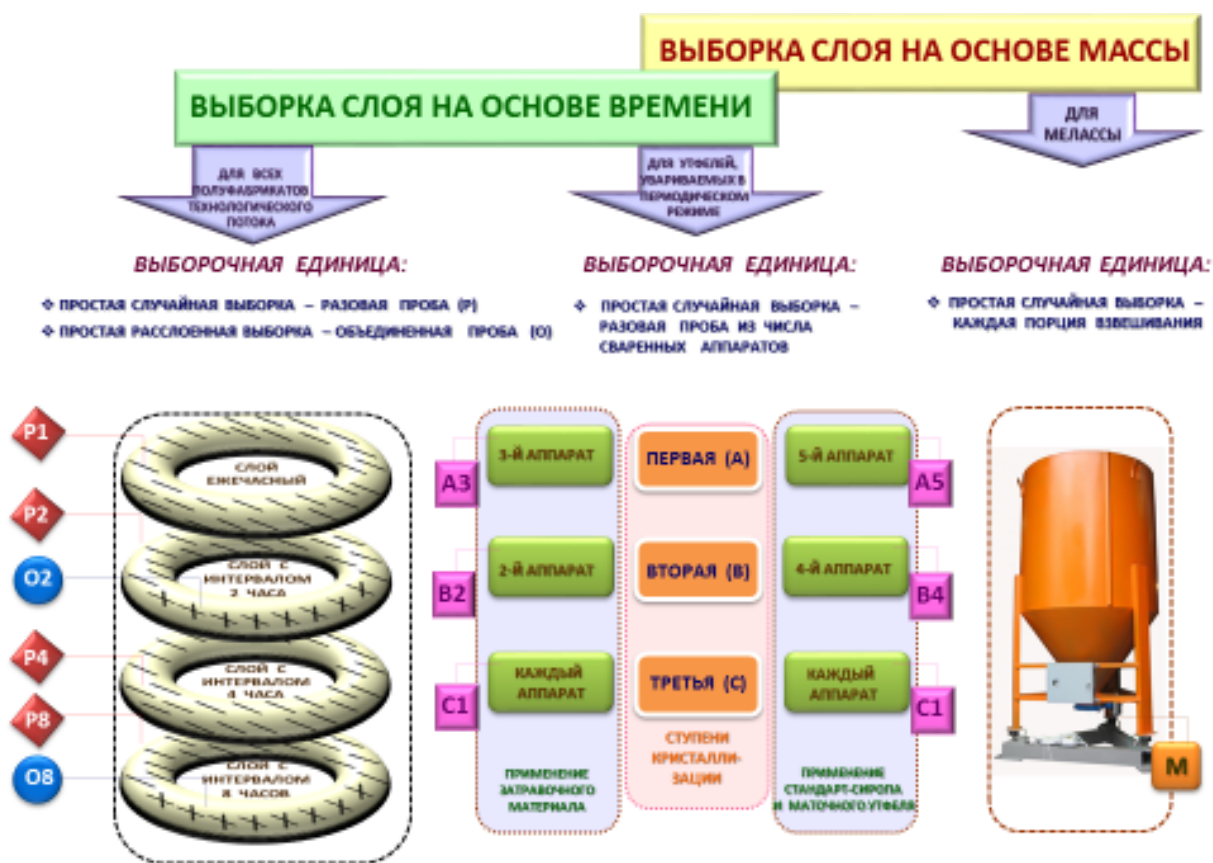


Рисунок 10 – Периодичность контроля параметров объектов контроля в технологическом потоке производства сахара

Руководствовались ГОСТ Р 27.303-2021 (МЭК 60812:2018) «Надежность в технике. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов». Инструментом идентификации рисков служил метод экспертных оценок, выполняемый командой из 6 человек, имеющих опыт работы в отрасли от 10 до 40 лет. Расчетное значение ранга риска сравнивали с граничным значением, принятым 125. Превышение расчетного значения ранга риска над граничным означает высокий уровень риска. Ранг риска до 50 определяли как незначимый, от 51 до 90 – низкий, от 91 до 125 – средний.

Этапы технологического потока производства сахара с механизмами отказа по показателю мутности раствора белого сахара приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Этапы технологического потока производства сахара с механизмами отказа по показателю мутности раствора сахара

Этап технологического потока	Функция	Вид отказа	Механизм отказа
А – центрифугирование утфеля I кристаллизации	Выделение кристаллов сахара из утфеля и их промывка	Мутность раствора сахара более 20 ед. ICUMSA	Недостаточная промывка кристаллов сахара водой
Б – уваривание утфеля I кристаллизации	Кристаллизация сахарозы из сиропа	Мутность раствора сахара более 20 ед. ICUMSA	Инклюзия и окклюзия несахаров сиропа в кристаллы сахара
В – фильтрование сиропа	Получение фильтрата с мутностью менее 30 мг/дм ³	Мутность сиропа более 30 мг/дм ³	Наличие грубо- и тонкодисперсных частиц в сиропе
Г – образование сиропа путем сгущения очищенного сока	Получение сиропа с содержанием ВКД менее 0,4 %	Содержание ВКД более 0,4 % Нарастание красящих веществ (ВКД) в процессе сгущения Увеличение растворимых и диспергированных солей кальция Коагуляция ВМС в процессе сгущения	Поступление ВКД с очищенным соком Образование ВКД Образование ВКД Образование ВКД
Д – фильтрование очищенного сока	Получение сока с мутностью менее 100 мг/дм ³	Мутность очищенного сока более 100 мг/дм ³	Наличие грубо- и тонкодисперсных частиц в соке
Е – очистка диффузионного сока	Получение очищенного сока с содержанием ВКД менее 0,08 %	Содержание ВКД более 0,08 % Применение известкового молока с высоким содержанием силикатов	Недостаточная степень удаления ВКД Поступление ВКД с известковым молоком
Ж – получение диффузионного сока	Получение диффузионного сока с содержанием ВКД менее 0,4 %	Содержание ВКД более 0,4 % Увеличение растворимых ВКД при экстрагировании сахарозы	Поступление ВКД из свекловичного сока Образование ВКД
З – поступление сахарной свеклы в технологический поток	Поступление сахарной свеклы с содержанием ВКД в свекловичном соке менее 0,4 %	Содержание ВКД более 0,4 %	Технологически неадекватная сахарная свекла

По каждому механизму отказа рассмотрены и представлены причины отказа, количество которых варьирует от 1 до 5; всего для технологического

потока задокументирована 31 причина. В качестве причин отказа фигурируют как факторы, связанные с нарушением работоспособности оборудования (6 факторов) и нарушением работы персонала (10 факторов), но подавляющую часть составляют связанные с протеканием реакций в пищевой системе (15 факторов). Причины отказа и ранги приоритета риска недостижения показателя мутности раствора сахара представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Причины отказа и ранги приоритетности риска недостижения показателя мутности раствора белого сахара

Этап	Причина отказа	S	O	D	Ранг рис-ка
А	Несоблюдение цикла промывки	7	2	1	14
	Недостаточный объем промывной воды из-за загрязнения форсунок центрифуги	8	2	3	48
	Недостаточный объем промывной воды из-за слабого напора в коммуникации подачи	8	2	2	32
	Вода для промывки ненадлежащего качества	8	3	5	120
Б	Содержание взвешенных веществ в сиропе более 30 мг/дм ³	8	2	2	32
В	Нарушение целостности фильтровальной ткани	8	3	1	24
	Отсутствие герметичности фильтрующих элементов	7	2	1	14
	Диаметр пор ткани более 0,45 мкм	8	1	1	8
	Превышение предельного значения давления фильтрования	7	1	1	7
	Наличие суспендированных частиц солей кальция, удерживаемых антинакипинами	8	7	3	168
Г	Мутность очищенного сока более 100 мг/дм ³	9	4	1	36
	Нетермоустойчивый очищенный сок	6	4	3	72
	Выпадение в осадок труднорастворимых солей кальция	8	5	6	240
	Применение антинакипинов	9	5	2	90
Д	Содержание ВКД в очищенном соке более 0,08 %	8	5	3	120
	Нарушение целостности фильтровальной ткани	8	3	1	24
	Отсутствие герметичности фильтрующих элементов	7	2	1	14
	Диаметр пор ткани более 0,45 мкм	8	1	1	8
	Превышение предельного значения давления фильтрования	7	1	1	7
Е	Содержание ВКД в диффузионном соке более 0,4 %	7	4	2	56
	Содержание мезги в диффузионном соке более 1 г/дм ³	8	5	2	80
	Недостаточный расход извести на очистку	9	2	2	36
	Активность известкового молока ниже 90 %	9	2	2	36

Продолжение таблицы 22

	Переход растворимых силикатов в очищенный сок из известкового молока более 0,3 %	5	2	8	80
Ж	Содержание ВКД в свекловичном соке более 0,4 %	4	5	3	60
	Нарушение технологического режима экстрагирования	4	2	1	8
З	Высокое содержание растворимого пектина в свекловичном соке	4	2	2	16
	Заражение сахарной свеклы корневыми гнилями	10	5	1	50
	Заражение сахарной свеклы лейконостоком	4	4	1	16
	Длительное хранение сахарной свеклы	8	4	1	32
	Развитие слизистого бактериоза у сахарной свеклы	10	5	1	50

Причины отказов, связанные с протеканием реакций в пищевой системе, для большинства факторов имеют ранг риска от 16 до 80, что характеризует риск как незначимый и низкий; для двух факторов превышают его – 168 и 240. Высокий риск с рангом 168 связан с наличием в сиропе суспендированных частиц кальция, удерживаемых антинакипинами. Связано это с влиянием остаточных количеств действующего вещества антинакипина на соли кальция, удерживающего их в диспергированном виде в сиропе [151]. Наиболее высокий риск с рангом 240 связан с химизмом реакций при очистке диффузионного сока, а именно с выпадением в осадок труднорастворимых солей кальция [139].

Указанное подтверждает правильность введения в схему контроля параметров мутности соков и сиропа, а также дозы антинакипина.

Этапы с описанием механизмов отказа по показателям цветности сахара и полуфабрикатов, превышающих норматив, а также содержания потенциальных продуцентов красящих веществ для технологического потока производства сахара категории экстра (объект 1) и категории ТС2 (объект 2) и приведены в таблице 23.

Всего для технологического потока определено 27 причин отказа. Причинами отказа являлись факторы, связанные с нарушением работоспособности оборудования (2 фактора), нарушением работы персонала (8 факторов), однако подавляющую часть составляли причины, связанные с протеканием реакций в пищевой системе (17 факторов).

Таблица 23 – Этапы технологического потока производства сахара с механизмами отказа по показателю цветности раствора сахара

Этап технологического потока	Функция	Вид отказа	Механизм отказа
А – центрифугирование утфеля I кристаллизации	Отделение межкристального раствора от кристаллов сахара	Цветность раствора сахара: более 45 ед. ICUMSA (объект 1); более 104 ед. ICUMSA (объект 2)	Недостаточная промывка кристаллов сахара водой
В – уваривание утфеля I кристаллизации	Кристаллизация сахарозы из сиропа с клеровкой	Цветность раствора сахара: более 45 ед. ICUMSA (объект 1); более 104 ед. ICUMSA (объект 2)	Инклюзия и окклюзия красящих веществ сиропа с клеровкой в кристаллы сахара Нарастание красящих веществ в сиропе с клеровкой при уваривании
С – образование сиропа путем сгущения очищенного сока	Получение сиропа с: цветностью не более 400 ед. ICUMSA (объект 1); не более 550 ед. ICUMSA (объект 2); содержанием редуцирующих веществ не более 0,5 % (объекты 1, 2)	Цветность сиропа более 400 ед. ICUMSA (объект 1); более 550 ед. ICUMSA (объект 2); содержание редуцирующих веществ более 0,5 % (объекты 1, 2)	Поступление красящих и редуцирующих веществ в сироп с очищенным соком Нарастание красящих и редуцирующих веществ в процессе сгущения сока
Д – очистка диффузионного сока	Получение очищенного сока с: цветностью не более 250 ед. ICUMSA (объект 1); не более 400 ед. ICUMSA (объект 2); содержанием редуцирующих веществ не более 0,02 % (объекты 1, 2)	Цветность очищенного сока более 250 ед. ICUMSA (объект 1); более 400 ед. ICUMSA (объект 2); содержание редуцирующих веществ более 0,1 % (объекты 1, 2)	Недостаточная степень удаления красящих веществ Нарастание красящих веществ в процессе очистки Нарастание редуцирующих веществ в процессе очистки
Е – получение диффузионного сока	Получение диффузионного сока с содержанием: редуцирующих веществ не более 0,15 % (объект 1); не более 0,25 % (объект 2);	Диффузионный сок с содержанием: редуцирующих веществ более 0,15 % (объект 1); более 0,25 % (объект 2); α -аминного азота более	Поступление редуцирующих веществ азота, пектиновых веществ из свекловичного сока Увеличение содержания редуцирующих веществ при

Продолжение таблицы 23

	α-аминного азота не более 0,02 % (объект 1); не более 0,04 % (объект 2); растворимых пектиновых веществ не более 0,1 % (объект 1); не более 0,2 % (объект 2);	0,02 % (объект 1); более 0,04 % (объект 2); мезги не более 20 мг/дм ³	экстрагировании сахарозы Увеличение содержания растворимых пектиновых веществ при экстрагировании сахарозы
Г – поступление сахарной свеклы в технологический поток	Поступление в технологический поток сахарной свеклы с содержанием: редуцирующих веществ не более 0,07 % (объект 1); не более 0,15 % (объект 2); α-аминного азота не более 0,02 % (объект 1); не более 0,04 % (объект 2); растворимых пектиновых веществ не более 0,1 % (объект 1); не более 0,2 % (объект 2)	Сахарная свекла с содержанием: редуцирующих веществ более 0,07 % (объект 1); более 0,15 % (объект 2); α-аминного азота более 0,02 % (объект 1); более 0,04 % (объект 2); растворимых пектиновых веществ более 0,1 % (объект 1); более 0,2 % (объект 2)	Технологически неадекватная сахарная свекла

Причины отказа и ранги приоритета риска недостижения норматива цветности раствора сахара представлены в таблице 24.

Причины отказов, связанные с протеканием химических реакций в пищевой системе, для большинства факторов имели ранг риска от 36 до 105, что характеризует риск как незначимый и низкий; для пяти факторов превышали его – от 140 до 210. Высокий риск с рангом 140 на этапе D связан с повышенным содержанием α-аминного азота в диффузионном соке, которое определяется качеством сахарной свеклы [216]. Риск с рангом 180 отмечен на этапах C и D по причинам образования нетермоустойчивого очищенного сока и содержания редуцирующих веществ в сиропе более 0,5 %.

Таблица 24 – Причины отказа и ранги приоритетности риска недостижения норматива цветности раствора белого сахара

Этап	Причина отказа	S	O	D	Ранг риска
А	Несоблюдение цикла промывки	8	2	1	16
	Недостаточный объем промывной воды из-за загрязнения форсунок центрифуги	7	1	2	14
	Недостаточный объем промывной воды из-за слабого напора в коммуникации подачи	7	1	2	14
В	Цветность сиропа с клеровкой более 400 ед. ICUMSA (объект 1); более 550 ед. ICUMSA (объект 2)	6	7	2	84
	Длительная трудная варка из-за образования корки на поверхности нагрева вакуум-аппарата	7	3	3	63
	Содержание редуцирующих веществ в сиропе более 0,5 %	9	5	4	180
С	Цветность раствора очищенного сока более 250 ед. ICUMSA (объект 1); более 400 ед. ICUMSA (объект 2)	7	5	3	105
	Содержание редуцирующих веществ в очищенном соке более 0,1 % (объекты 1, 2)	9	4	3	108
	Нетермоустойчивый очищенный сок	9	5	4	180
D	Недостаточный расход извести на очистку	7	5	3	105
	Содержание свободных сульфитов менее 0,001 %	8	5	5	200
	Десорбция красящих веществ при пересатурировании сока	8	5	3	120
	Содержание редуцирующих веществ в дефектованном соке более 0,01% (объект 1); более 0,02 % (объект 2)	7	5	3	105
	Содержание α-аминного азота в диффузионном соке более 0,02 % (объект 1); более 0,04 % (объект 2)	7	5	4	140
	Содержание растворимых пектиновых веществ в диффузионном соке более 0,1 % (объект 1); более 0,2 % (объект 2)	7	5	6	210
	Содержание мезги в диффузионном соке более 20 мг/дм ³	6	5	3	90
	Нарушение технологического режима очистки (рН, температура, длительность)	7	4	4	112
Е	Содержание редуцирующих веществ в свекловичном соке более 0,07 % (объект 1); более 0,15 % (объект 2)	6	5	3	90
	Содержание α-аминного азота в свекловичном соке более 0,02 % (объект 1); более 0,04 % (объект 2)	8	6	2	96

Продолжение таблицы 24

	Содержание растворимых пектиновых веществ в свекловичном соке более 0,1 % (объект 1); более 0,2 % (объект 2)	6	5	3	90
	Инфицированность диффузионного сока микроорганизмами	5	4	2	40
	Нарушение технологического режима экстрагирования (рН, температура)	5	2	2	20
F	Содержание растворимых пектиновых веществ в свекловичном соке более 0,3 %	5	3	3	45
	Заражение сахарной свеклы корневыми гнилями	6	5	3	90
	Заражение сахарной свеклы лейконостоком	6	3	2	36
	Длительное хранение сахарной свеклы	6	6	2	72
	Развитие слизистого бактериоза у сахарной свеклы	6	4	2	48

Указанные риск-факторы возникают за счет сдвига вектора химических реакций очистки сока при отрицательной натуральной щелочности сырья и нарастания редуцирующих веществ в процессе сгущения нетермоустойчивого сока [74]. Максимальные ранги риска 200 и 210 зафиксированы на этапе D. Риск с рангом 200 связан с пониженным содержанием свободных сульфитов, вызванным недостаточным для протекания реакций обесцвечивания красящих веществ поступлением сульфитов в пищевую систему [36]. Риск с рангом 210 связан с повышенным содержанием растворимых пектиновых веществ в диффузионном соке. Указанное обусловлено переходом нерастворимой формы пектиновых веществ в растворимую при сдвиге рН процесса экстрагирования сахарозы в более щелочную область [19].

Следовательно, указанное подтверждает правильность включения в схему контроля таких параметров как содержание редуцирующих веществ, α -аминного азота, ВМС полуфабрикатов.

Таким образом, полученные результаты анализа, подтверждающие сведения о возможности возникновения риска недостижения заданных параметров белого сахара по требованиям промышленных потребителей, диктуют необходимость предупреждения данных рисков в виде внесения дополнительных параметров контроля полуфабрикатов в технологическом потоке.

5.1.2 Формирование базовой блок-схемы контроля

Для базовой схемы контроля определены 47 объектов контроля:

- сырье – корнеплоды сахарной свеклы, подаваемые в переработку;
- полуфабрикаты технологического потока на этапе подготовки сырья к переработке в количестве 4 – осветленная транспортерно-мочная вода, свежая вода, сахарная свекла отмытая, отработавшая мочная вода;
- полуфабрикаты на этапе получения диффузионного сока в количестве 7 – свекловичная стружка, свекловичный сок, экстрагент, диффузионный сок, сырой жом, отжатый жом, жомопрессовая вода;
- полуфабрикаты на этапе очистки диффузионного сока в количестве 12 – преддефекованный сок, известковое молоко $\text{Ca}(\text{OH})_2$, сгущенная суспензия сока первой или второй ступеней сатурации, дефекованный сок, сатурационный газ, фильтрованный сок первой ступени сатурации, фильтрационный осадок, дефекованный сок первой ступени сатурации, фильтрованный сок второй ступени сатурации, суспензия сока второй ступени сатурации, сульфитационный газ, очищенный сок;
- полуфабрикаты на этапе сгущения очищенного сока в количестве 6 – сироп, клеровка сахара II и III кристаллизации, сульфитированная смесь сиропа с клеровкой, фильтрованная смесь сиропа с клеровкой, доза антинакипина, конденсат выпарной установки;
- полуфабрикаты на этапе кристаллизации сахарозы в количестве 17 – утфель I ступени кристаллизации, межкристальный раствор утфеля I ступени кристаллизации, первый оттек утфеля I ступени кристаллизации, второй оттек утфеля I ступени кристаллизации, утфель II ступени кристаллизации, межкристальный раствор утфеля II ступени кристаллизации, оттек утфеля II ступени кристаллизации, клеровка сахара утфеля II ступени кристаллизации, утфель III ступени кристаллизации, межкристальный раствор утфеля III ступени кристаллизации, утфель III ступени кристаллизации после кристаллизации охлаждением, межкристальный раствор утфеля III ступени кристаллизации после

кристаллизации охлаждением, клеровка сахара утфеля III ступени кристаллизации, меласса, холодная вода, отработавшая вода; готовая продукция на этапе сушки и упаковки сахара – белый сахар.

В качестве известных и применяемых ранее параметров определен массив 37 пересекающихся параметров:

- для сахарной свеклы – сахаристость, загрязненность, содержание зеленой массы, фитопатологическое состояние (по 15 параметрам), содержание впитанной влаги;

- для полуфабрикатов технологического потока – содержание сухих веществ, содержание сахарозы, чистота, pH, температура, длина 100 г свекловичной стружки, содержание мезги и брака в свекловичной стружке, фактор стружки, содержание мезги в диффузионном соке, содержание редуцирующих веществ в диффузионном соке, содержание ВМС в диффузионном соке, содержание оптически активных веществ в свекловичном соке, соковый коэффициент, плотность, активность известкового молока, общее содержание СаО, щелочность, прозрачность, содержание солей кальция, содержание СО₂ в сатурационном газе, содержание SO₂ в сульфитационном газе, цветность;

- для белого сахара – массовая доля сахарозы по прямой поляризации, массовая доля влаги, массовая доля редуцирующих веществ, массовая доля золы, массовая доля ферропримесей, цветность в растворе, органолептические показатели (цвет, внешний вид, запах и вкус, чистота раствора);

- для мелассы – массовая доля сухих веществ, массовая доля сахарозы по прямой поляризации, массовая доля редуцирующих веществ, pH, органолептические показатели (внешний вид, цвет, запах, растворимость в воде).

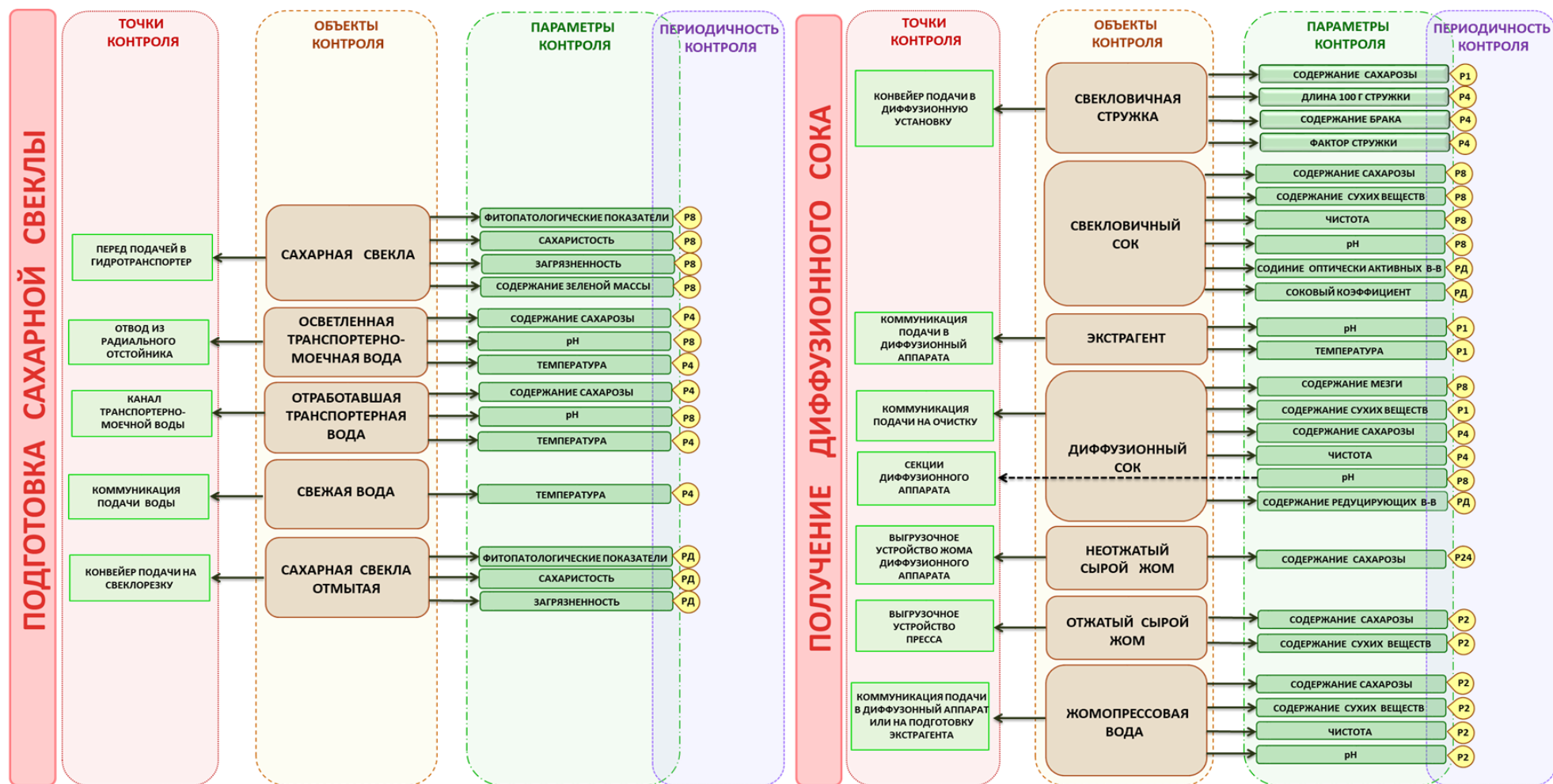
Для одного объекта контроля – отмытой сахарной свеклы – дополнительно к известным параметрам предложено включить новый параметр в виде органолептических показателей. Указанные показатели впервые появились в ГОСТ 33884-2016 «Свекла сахарная. Технические условия», они предполагают проводить оценку по внешнему виду и запаху, соответственно и оценку отмытой свеклы логично проводить по современным нормируемым показателям.

Дополнительно в схему контроля для белого сахара введены показатели безопасности по причине нормирования остаточных количеств диоксида серы и формальдегида техническим регламентом ТР ТС № 029/2011.

Данная блок-схема является базовой, т.е. может служить ориентиром на предприятии для разработки собственной схемы контроля технологического потока в зависимости от его особенностей, целеполагания в работе при выпуске готовой и побочной продукции.

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: подготовка сахарной свеклы, получение диффузионного сока, очистка диффузионного сока, сгущение очищенного сока, кристаллизация сахарозы, сушка сахара, с которыми сопряжены структурные характеристики контроля – объекты контроля, точки контроля, параметры контроля, периодичность контроля (рисунок 11, 12, 13, 14).

Каждый объект контроля представлен в виде оператора, отражающего полуфабрикат технологического потока с расположением согласно логическому ходу процессов. Объекты контроля в виде совокупности операторов соотносятся с определенным кластером этапов технологического потока. 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. Точками контроля выступают позиции технологической линии (оборудование, конвейеры, трубопроводы, сборники, желоба, коммуникации), которые выбираются с учетом репрезентативности пробы и обеспечения безопасности персонала при отборе пробы.



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; А – схема уваривания с применением затравочного материала, В – схема уваривания с применением стандарт-сиропа и маточного утфеля, индексы: 1, 2, 3, 4, 5 – последовательность вари

Рисунок 11 – Базовая блок-схема контроля на этапах подготовки сахарной свеклы и получения диффузионного сока

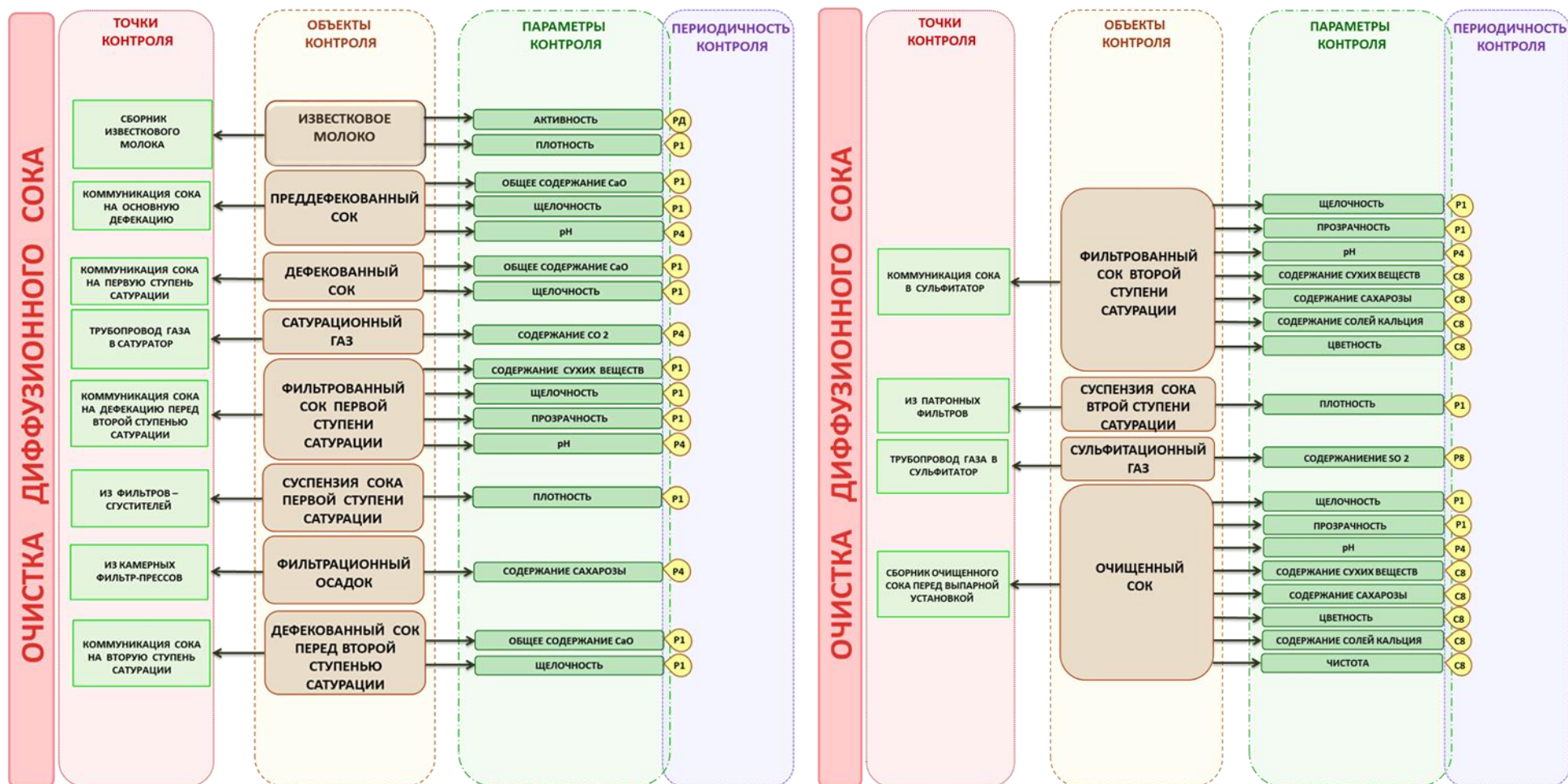


Рисунок 12 – Базовая блок-схема контроля на этапе очистки диффузионного сока

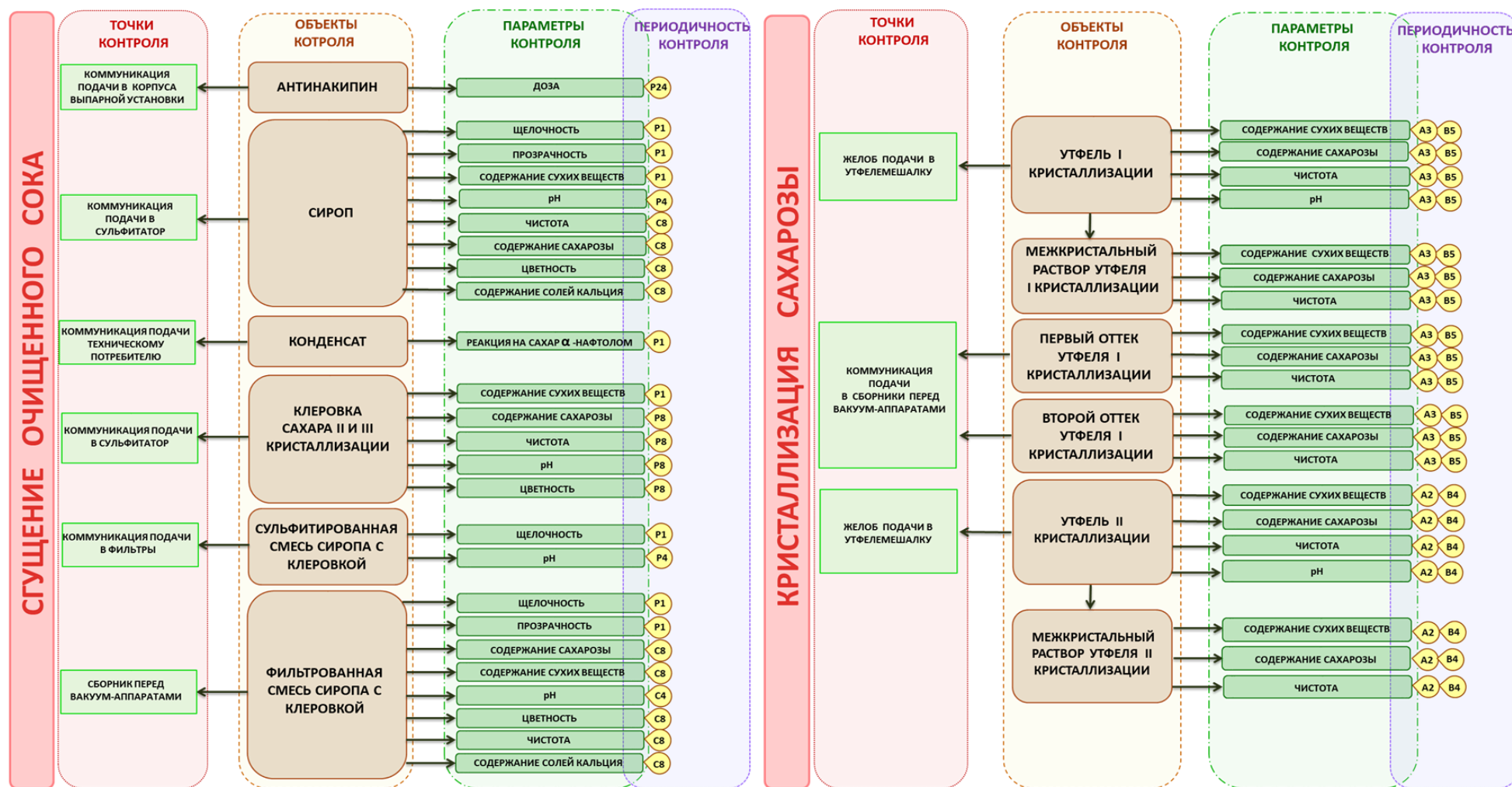


Рисунок 13 – Базовая блок-схема контроля на этапах сгущения очищенного сока и кристаллизации сахарозы

Если ранее схемой было предусмотрено 59 объектов контроля по 42 параметрам, то за прошедшее время ввиду изменения локальных технологий часть объектов утратила актуальность, нами выделено 47 позиций, предполагающих ведение контроля по 37 пересекающимся параметрам.

Таким образом, в рамках совершенствования схемы контроля технологического потока производства белого свекловичного сахара разработана базовая блок-схема контроля с учетом обоснования массива объектов контроля и контролируемых параметров технологического потока, периодичности контроля по методологии выборочного контроля нештучной продукции с применением слоя на основе времени и массы, с детализацией конфигурации выборок для разных объектов контроля [136].

5.1.3 Разработка расширенной блок-схемы контроля

Для предприятий, у которых к сахару предъявляются дополнительные требования была разработана расширенная схема контроля технологического потока производства белого сахара.

Формирование структуры расширенной схемы контроля с детализацией объектов и параметров контроля выполнялось на основе базовой схемы контроля с учетом новых показателей качества сахара и знаний об их взаимосвязи с параметрами полуфабрикатов технологического потока.

В качестве предложенных новых параметров определены 23 позиции:

- для полуфабрикатов технологического потока – инфицированность микроорганизмами преддефекованного сока, мутность фильтрованных соков второй ступени сатурации, сульфитированного (очищенного), сиропа, изменение щелочности сока при выпаривании, нарастание цветности сока при выпаривании, доза антинакипина при выпаривании;

- для сахара – мутность раствора, pH раствора, массовая доля диоксида серы, массовая доля формальдегида, содержание ВМС, содержание флокулообразователей, гранулометрический состав;

- для мелассы – содержание солей кальция, сумма сбраживаемых сахаров, массовая доля диоксида серы;

- для сушеного жома – массовая доля влаги, массовая доля сырого протеина, массовая доля сахарозы, органолептические показатели (внешний вид, цвет, запах), содержание инородных примесей, массовая доля металломагнитных частиц.

К новым параметрам в схеме контроля относятся:

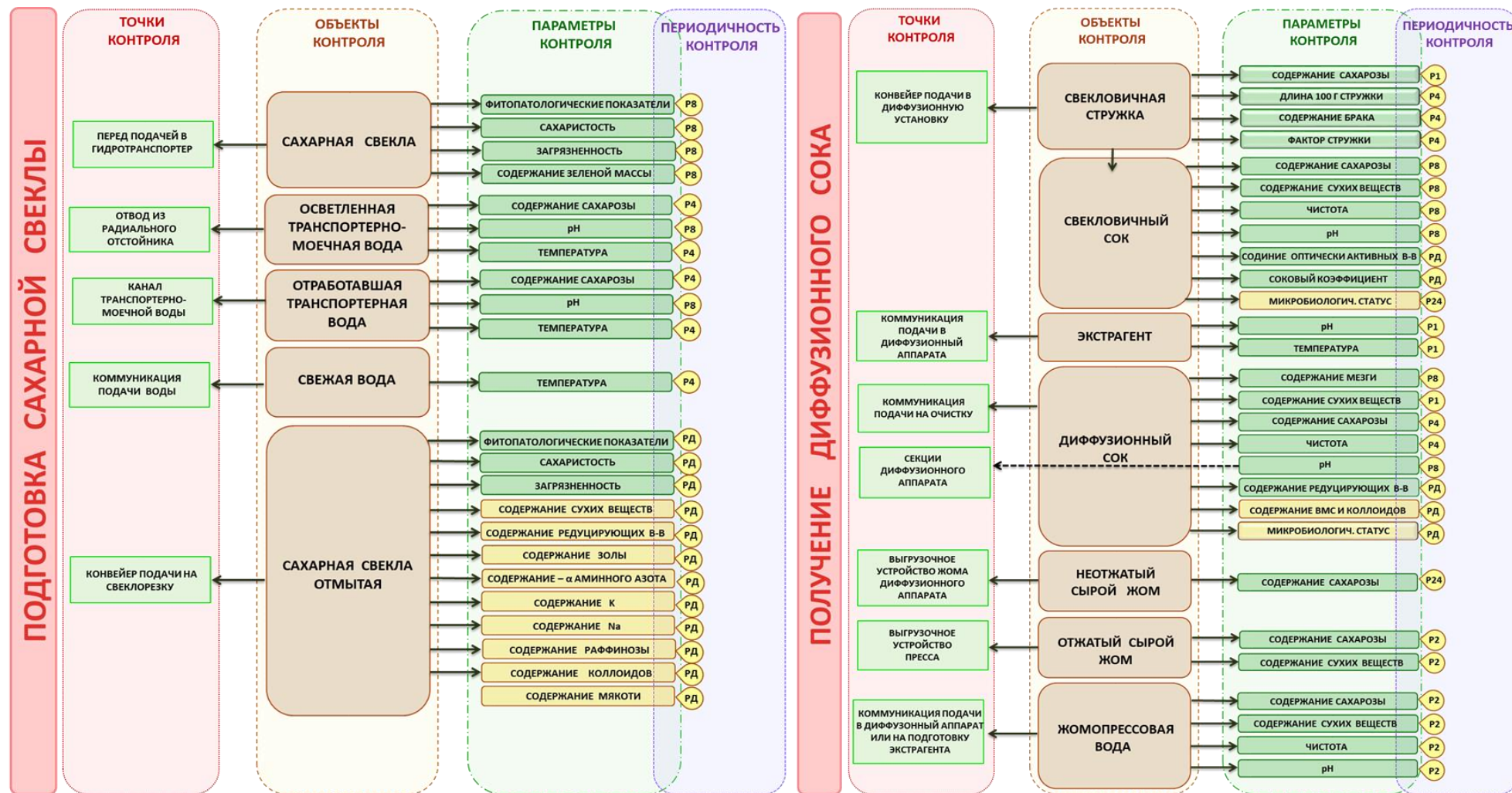
- инфицированность микроорганизмами преддефектованного сока;
- мутность фильтрованных соков второй ступени сатурации, сульфитированного, сиропа;
- изменение щелочности и нарастание цветности сока при выпаривании;
- доза антинакипина, который при выпаривании может взаимодействовать с технологическими вспомогательными средствами других функциональных групп.

Дополнительные показатели белого сахара введены в схему контроля по причине предъявления промышленными потребителями требований по мутности растворов сахара и отсутствию высокомолекулярных флокулообразующих соединений, реакции среды растворов сахара.

Расширенная блок-схема контроля представлена на рисунках 15, 16, 17, 18, 19 [36].

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.

Таким образом, реформирование схемы контроля заключалось в актуализации объектов, параметров и периодичности контроля. На основании научно-практических исследований о взаимосвязи показателей качества сахара и параметров полуфабрикатов процессов, установлено, что в схему контроля должны быть добавлены новые параметры контроля для полуфабрикатов



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; А – схема уваривания с применением затравочного материала, В – схема уваривания с применением стандарт-сиропа и маточного утфеля, индексы: 1, 2, 3, 4, 5 – последовательность вари

Рисунок 15 – Расширенная блок-схема контроля на этапах подготовки сахарной свеклы и получения диффузионного сока

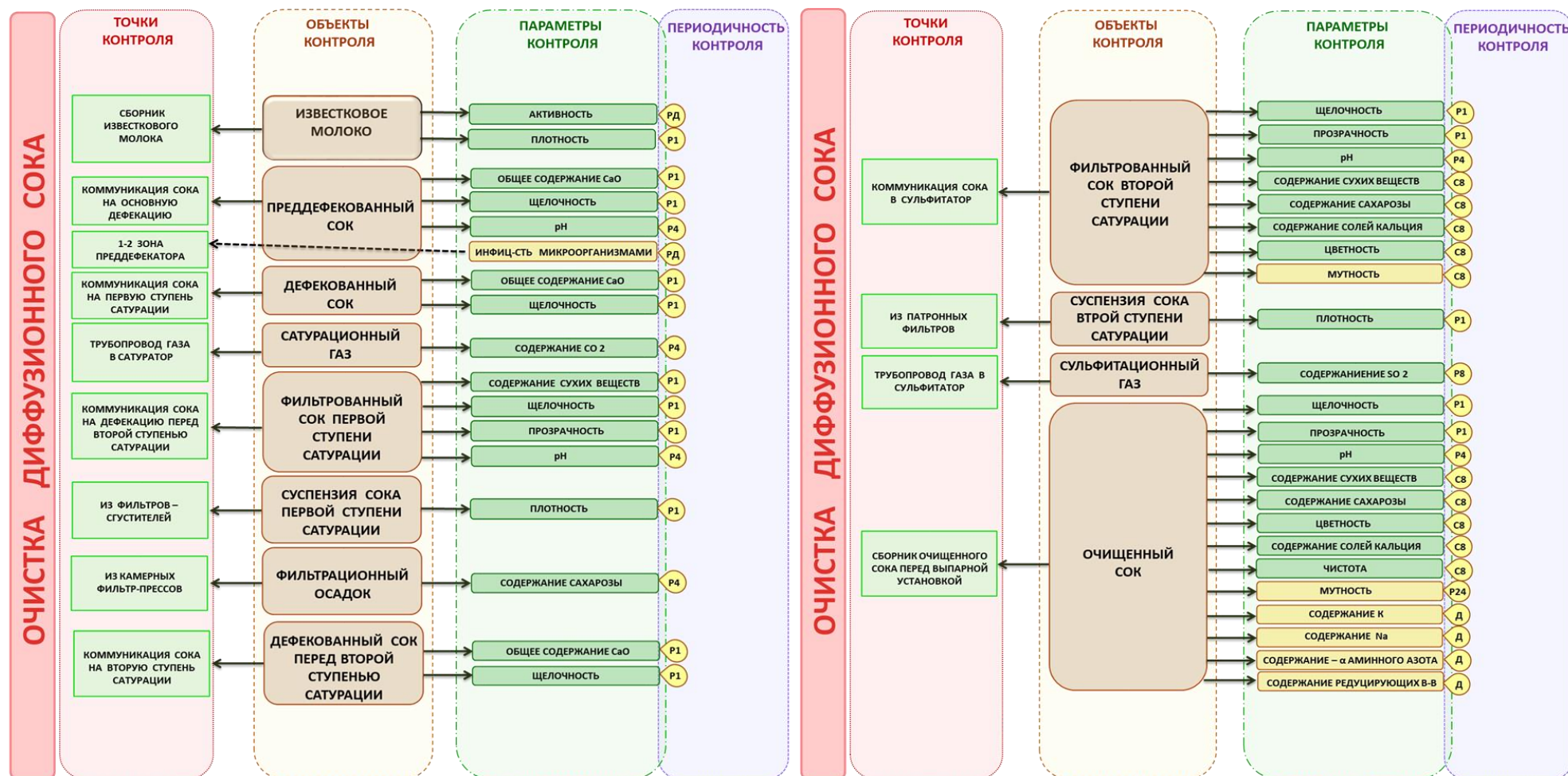


Рисунок 16 – Расширенная блок-схема контроля на этапе очистки диффузионного сока

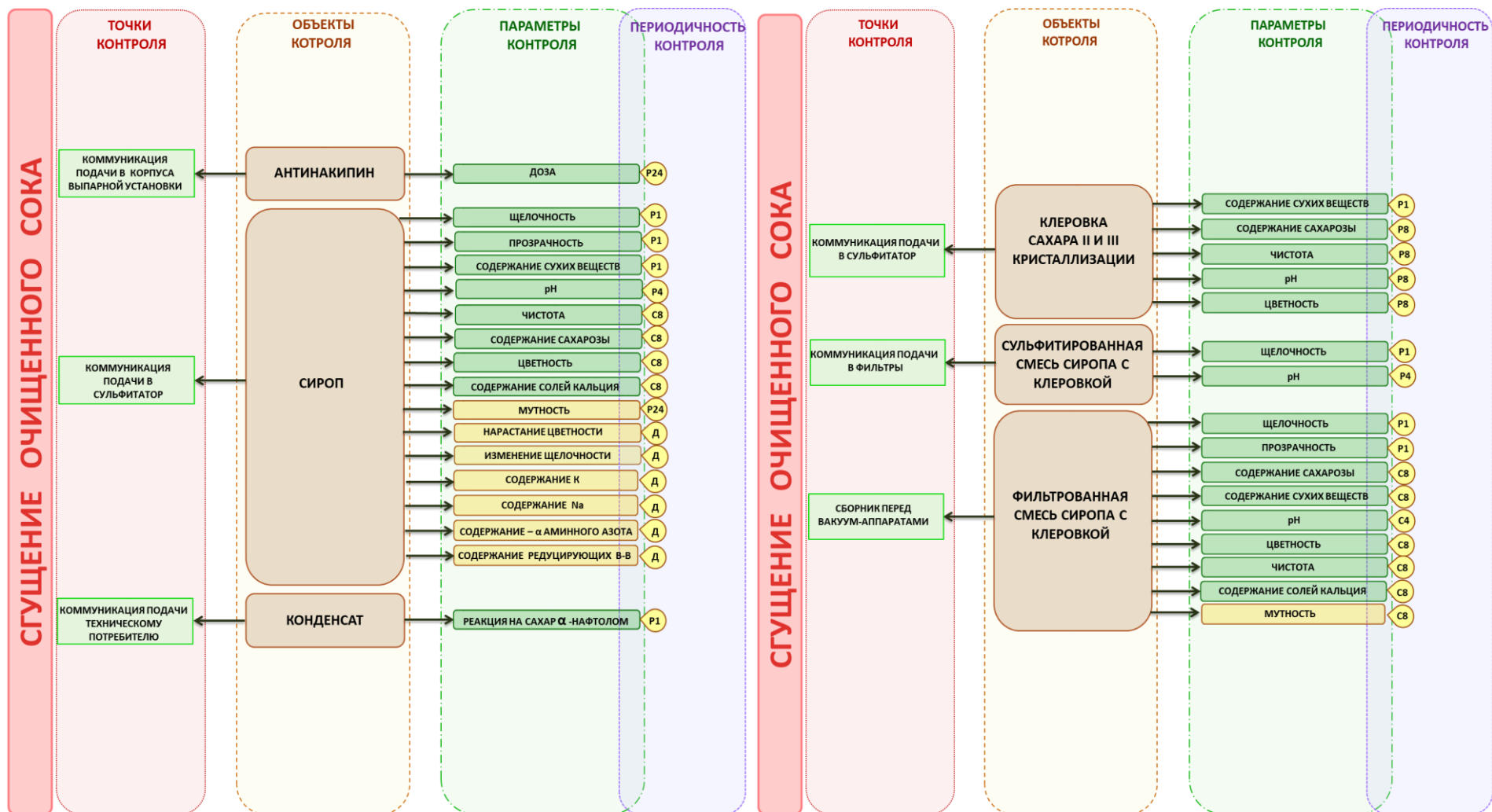


Рисунок 17 – Расширенная блок-схема контроля на этапе сгущения очищенного сока

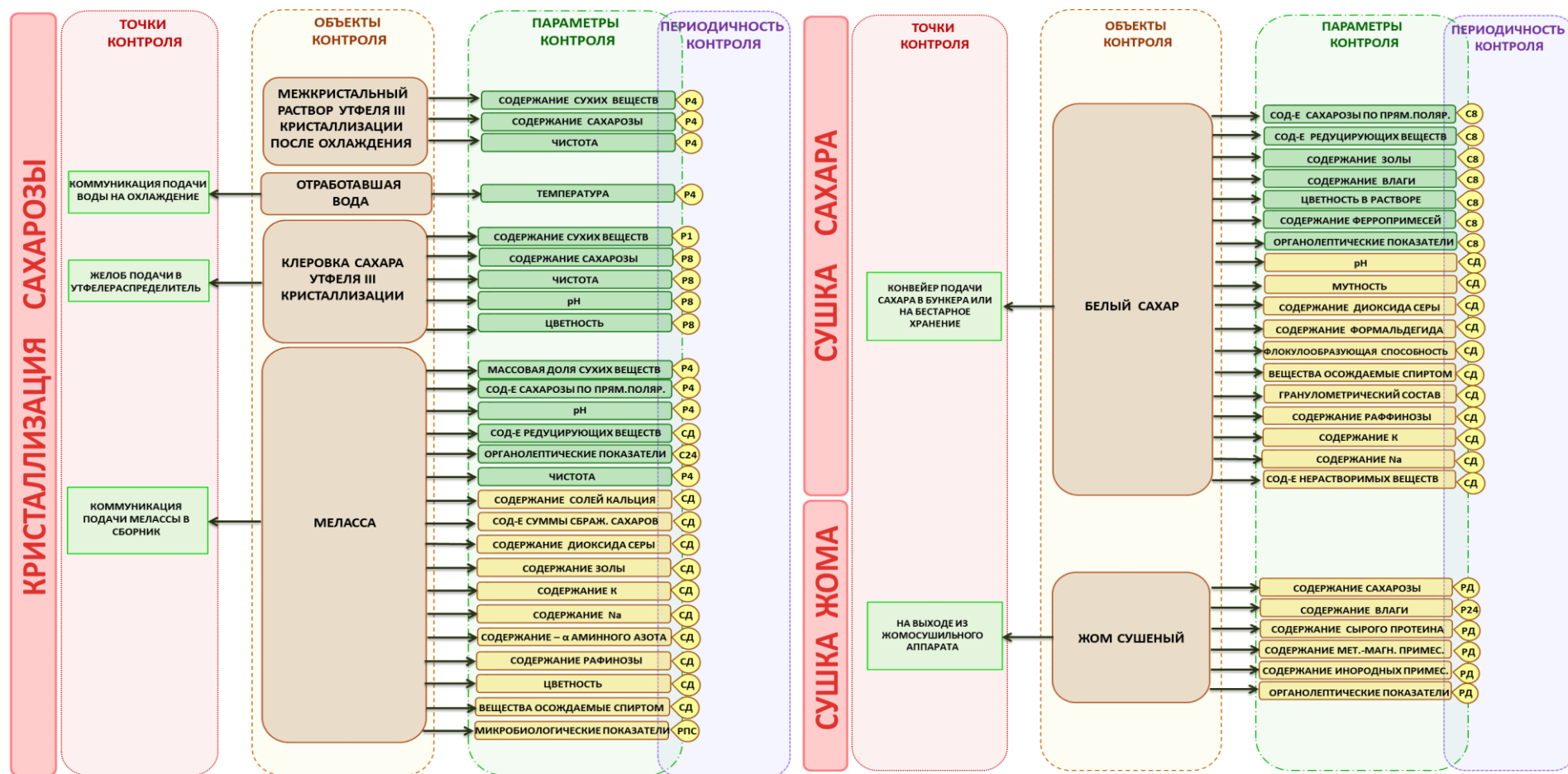


Рисунок 19 – Расширенная блок-схема контроля на этапе кристаллизации сахарозы (продолжение) и сушки сахара и жома

технологического потока для удовлетворения требований промышленных потребителей. Для готовой продукции – белого сахара для удовлетворения требований промышленных потребителей предложено дополнительно контролировать 9 позиций новых параметров (рН, мутность, флокулообразующая способность раствора, содержание формальдегида, веществ, осаждаемых спиртом, нерастворимых веществ, калия, натрия, гранулометрический состав), не отраженных в ГОСТ 33222.

Разработанные схемы контроля были внедрены на ООО «Промсахар» (Приложение Ж), а также зарегистрированы в виде электронного ресурса (Приложение З).

5.2 Совершенствование линейки методик определения показателей готовой продукции и полуфабрикатов технологического потока

5.2.1 Изложение методик измерений параметров полуфабрикатов технологического потока

Параметрами контроля технологического потока производства сахара в большинстве своем являются величины, относящиеся к предмету количественного химического анализа для определения содержания компонентов химическими, физическими или физико-химическими методами [12, 144]. В научном и практическом плане многие стандартизованные методы анализа пищевых продуктов устарели, требуют определенной модификации и усовершенствования, а для отдельных показателей они вообще отсутствуют, в связи с чем в ряде отраслей уже проведена или проводится модернизация таких методов, позволяющая исследовать свойства готовой продукции на уровне международных стандартов [73, 75, 149].

В фонде нормативной документации сахарного производства большую часть составляют методики испытаний сырья, готовой и побочной продукции. Анализ фонда показал, что в основном все документы соответствуют

современным требованиям и гармонизированы с международной практикой.

Система методик контроля параметров полуфабрикатов технологического потока производства сахара имеет много пересечений с параметрами оценки сахара, сахарной свеклы: в них, также как в полуфабрикатах, контролируют содержание сухих веществ, сахарозы, редуцирующих веществ, золы, цветность продуктов. Выполнение измерений осуществляют с использованием одних и тех же приборов: поляриметров, определяющих величину угла поворота плоскости поляризованного света анализируемого образца в единицах международной сахарной шкалы, принятой для количественной оценки содержания сахарозы в растворах; рефрактометров, предназначенных для определения сухих веществ в растворах; фотометров – для определения цветности сахарных растворов; кондуктометров, предназначенных для определения содержания золы. Однако, данные методики не имеют четкого и понятного изложения.

В этой связи для обеспечения совместимости методик при осуществлении контроля необходимо обеспечить единые подходы к их разработке, сущностному наполнению, построению и изложению, а также унифицировать изложение методик измерений одинаковых параметров для разных объектов контроля как по их содержательной сущности, так и за счет унификации изложения самого текста методики [94].

Нами предложена унификация содержательной сущности методики. При этом исходили из того, что описание методики должно быть дано в такой полноте, которая необходима и достаточна для воспроизведения методики в любой технически компетентной лаборатории, в первую очередь в лаборатории сахарного завода. Для этого наиболее удобной может считаться конфигурация изложения текста методики, включающая в т.ч. сведения о применяемом лабораторном оборудовании и измерительных средствах с указанием их технических характеристик, используемых реактивах с указанием квалификации, приготовлении растворов с указанием конечной концентрации, сроках и условиях хранения, пробоподготовке и проведении измерений, оформлении результатов, требования к квалификации персонала.

При унификации изложения самого текста методики полагали, что её составными частями будут являться элементы, под которыми понимаются самостоятельные разделы, посвященные разным аспектам методики.

Считали необходимым в качестве элементов присутствие наименования и сущности методики выполнения измерений, которые позволят точно охарактеризовать объект измерений и применяемый метод измерений.

В целом, учитывая разнообразие методик, связанных как с разными используемыми физико-химическими методами анализа, разнообразной приборной базой, когда конструктивные особенности прибора предполагают или исключают определенные манипуляции, каждой из них могут быть присущи однотипные элементы или же такие элементы могут отсутствовать.

Исходя из вышеизложенного, предложена конфигурация изложения методик, представленная на рисунке 20.

- НАИМЕНОВАНИЕ МВИ
- СУЩНОСТЬ МВИ
- УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
- СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, РЕАКТИВЫ, МАТЕРИАЛЫ
- ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ
 - ПОДГОТОВКА ПОСУДЫ
 - ПОДГОТОВКА ВОДЫ
 - ПОДГОТОВКА РАСТВОРОВ РЕАКТИВОВ
 - ПОДГОТОВКА ПРИБОРА
 - ПОДГОТОВКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПРОБЫ
- ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ
- ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ
- ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА

Рисунок 20 – Конфигурация изложения методик измерений параметров полуфабрикатов технологического потока производства сахара

Конфигурация включает 8 последовательных элементов, в полной мере выражающих содержательную сущность методики. Элемент «Подготовка к проведению измерений» включает весь набор возможных 5 подэлементов, которые могут сопутствовать методике. Указанная конфигурация в полной мере отражает все необходимые атрибуты методик, что позволяет любому пользователю получить полную информацию касательно данной методики из

первоисточника, не получая отсылы к другим документам, что часто бывает важным в случае возникновения затруднений в понимании манипуляций испытателем.

Для облегчения процесса работы над изложением методик научно-практически обоснован алгоритм последовательности описания элементов методик, на котором определенными символами последовательно выражены как действия 8 элементов методик с соответствующими подэлементами; 2 переключательные функции, выраженные в виде вопросов для определенных элементов, требующих уточнения необходимости включения индивидуальных условий проведения измерений или подготовки к измерениям (рисунок 21).

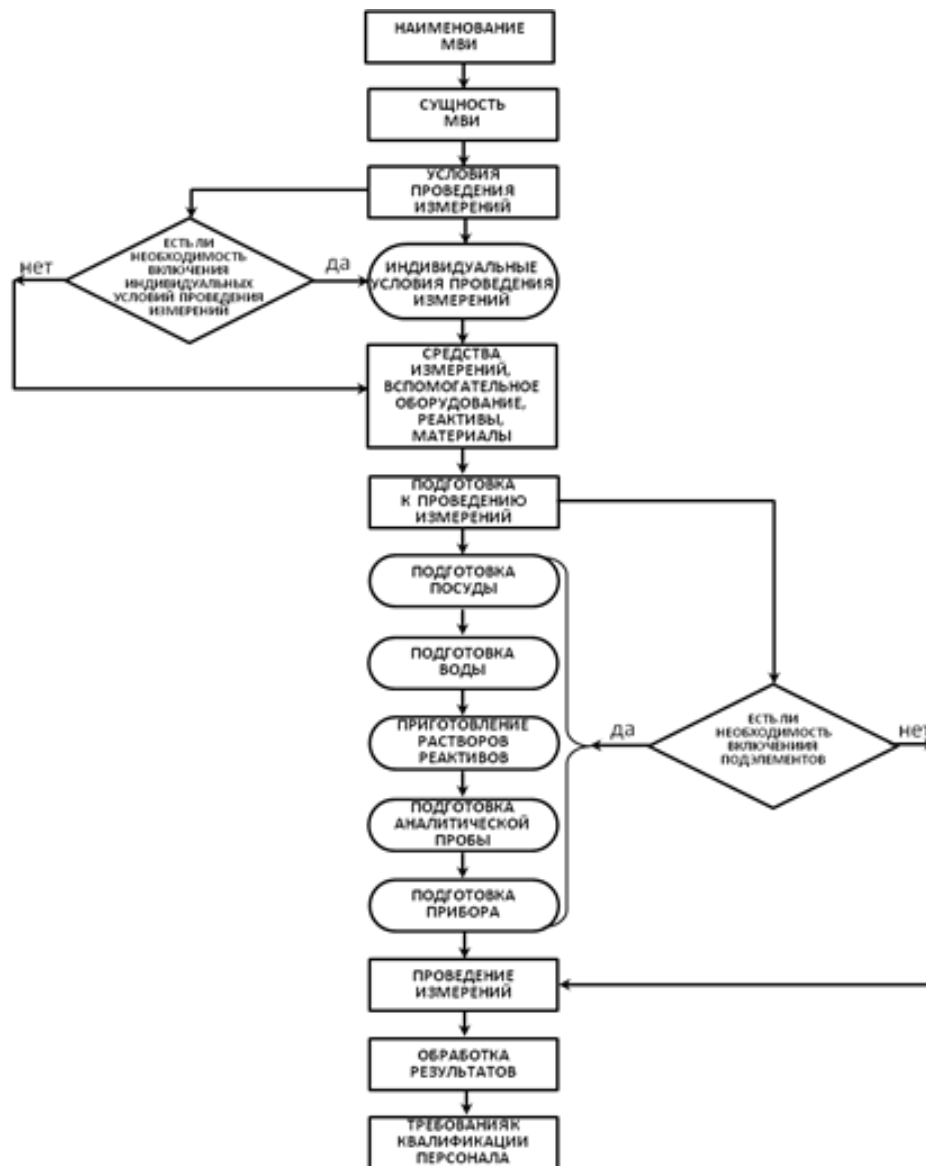


Рисунок 21 – Алгоритм изложения методик измерений параметров полуфабрикатов технологического потока производства сахара

Алгоритм изложения методик является унифицированным и позволяет служить шаблоном для разработчика методики, поскольку ориентирует его в аспектах методики, позволяет исключить случаи пропуска описания важных элементов. Достоинством такого алгоритма является то, что он может быть использован разработчиками любых методик для контроля технологического потока при производстве любых продуктов питания.

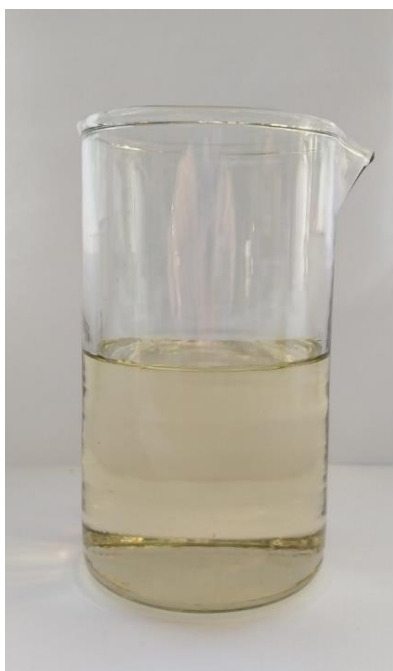
В целом приведенные исследования по унификации изложения методик позволяют реализовать один из подходов к обеспечению системы комплексного контроля технологического потока производства белого сахара за счет формирования системы методик контроля как готовой продукции, так и полуфабрикатов.

5.2.2 Актуализация методики определения цветности сахара в растворе

Цветность сахара в растворе является одним из показателей качества белого сахара и критерия его категорирования по ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия», варьируя в диапазоне 45...195 ед.опт.пл. Кроме того, к данному показателю также предъявляются требования со стороны промышленных потребителей. Цветность белого сахара в растворе определяется по ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности». Несмотря на то, что методика определения цветности применяется длительное время в испытательных лабораториях, в т.ч. и аккредитованных, результаты измерений, полученных в разных лабораториях, часто превышают предел воспроизводимости.

Связано это, предположительно, с предусмотренной возможностью двух вариантов подготовки пробы: путем фильтрования через мембранный или стеклянный фильтр с размером пор 0,45 мкм; через бумажный фильтр с добавлением перлита или кизельгура – такой слой пропускает частицы диаметром меньше 0,5...1,0 мкм, при этом размер пор обычной фильтровальной бумаги 2...3 мкм. 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. Для примера на рисунке 22 представлены результаты подготовки образца белого сахара по двум вариантам: вариант 1 – путем фильтрования через мембранный фильтр; вариант 2 – путем фильтрования через бумажный фильтр с добавлением перлита.



а



б

Рисунок 22 – Результат подготовки пробы белого сахара по вариантам: а – 1; б – 2

Как видно, раствор, полученный при фильтровании через мембранный фильтр, не содержит взвешенные частицы и визуально оценивается как прозрачный; раствор, полученный при фильтровании через бумажный фильтр с добавлением перлита, содержит взвешенные частицы и визуально оценивается

как мутный. Соответственно, цветность этих растворов определена как 79 ед.опт.пл. и 164 ед.опт.пл.

Для оценки прецизионности результатов определения цветности сахара для 113 образцов белого сахара выполнены измерения с разными вариантами подготовки пробы: вариант 1 – при фильтровании через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм; вариант 2 – при фильтровании через бумажный фильтр с добавлением перлита. В таблице 25 представлены ранжированные по категориям белого сахара результаты определения цветности и значения сходимости в условиях разной пробоподготовки в рамках одной методики; в числителе приведены диапазоны варьирования показателя, в знаменателе – средняя величина. При этом согласно ГОСТ 12572 предел сходимости составляет 3 ед.опт.пл.

Таблица 25 – Сходимость результатов определения цветности сахара 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	$\frac{99...199}{101}$	$\frac{117...325}{166}$	$\frac{13...126}{58}$

Как видно, практически во всех образцах сходимость превышала указанный предел, при этом отмечено следующее: чем выше цветность образцов сахара, тем вероятнее величина сходимости выходит за границы предела; наибольшее количество образцов в пределах сходимости отмечено в категории экстра – 30 %. Полученные результаты подтверждают, что для определения цветности белого сахара в растворе необходимо осуществлять фильтрование пробы через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм.

Таким образом, полученные результаты позволили внести изменения в методику определения цветности в части уточнения пробоподготовки сахара, на основе которой подготовлено изменение ГОСТ 12572-2015 (Приложения И, К).

5.3. Разработка системы мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара

Эффективное управление сложной и динамичной системой комплексного контроля, прогнозирование ее изменений возможно только на основе сбора и анализа данных о ее состоянии. Поэтому для оперативного и качественного управления технологическим потоком производства сахара необходимо систематическое наблюдение за объектами и параметрами контроля. В качестве инструмента наблюдения, анализа и прогнозирования предлагается система мониторинга технологического потока. Как известно, в рамках функционирования системы ХАССП на сахарных заводах действует процедура мониторинга как процесс запланированных наблюдений или измерений параметров в критических контрольных точках (ККТ) с целью принятия корректирующих действий в случае их отклонения. Аналогичная система мониторинга при включении ее в качестве элемента в структуру управления качеством и безопасностью, позволит средствами информационно-управляющей системы перераспределить функции между человеком и информационной системой и изменит роль человека в процессе подготовки и принятия решений.

При разработке системы мониторинга предложено осуществлять процесс систематического наблюдения за объектами и параметрами контроля по локальным участкам, отличающимися технологическими задачами. Учитывая, что выполнение технологической задачи сопряжено как с поддержанием определенных параметров протекания процесса в определенном диапазоне, так и с обеспечением баланса материальных потоков в виде сахаросодержащих растворов и технологических вспомогательных средств, в системе мониторинга были выделены этапы технологического потока. К ним отнесены: подготовка сахарной свеклы, получение диффузионного сока, очистка диффузионного сока, сгущение очищенного сока, кристаллизация сахарозы, сушка сахара и сушка жома. В отдельный блок этапов технологического потока выделено применение технологических вспомогательных средств (ТВС), что подразумевает их применение

по всему технологическому потоку. Для каждого из этапов сформирован пул контролируемых параметров, который включал параметры процессов, например, температуру, давление и др.; параметры полуфабрикатов на входе и выходе, например, содержание сухих веществ, чистоту и др.; а также безразмерные параметры, характеризующие степень выполнения технологической задачи через динамику определенных показателей материального потока, например, нарастание цветности, редуцирующих веществ. Структурная схема мониторинга представлена на рисунке 23.



Рисунок 23 – Структурная схема мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара для обеспечения качества и безопасности продукции

Мониторинг и контроль параметров протекания процессов осуществляется в рамках систем автоматизации отдельных технологических участков сахарного производства.

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). Именно в данных точках производственного процесса достигаются ориентированные целевые параметры готового продукта, определяемые дополнительными требованиями потребителей.

ИТК 1 выделена на этапе подготовки сахарной свеклы. В ней контролируются определенные физико-химические показатели корнеплодов в связи с тем, что превышение критических пределов нативного содержания в сырье золы, сапонинов, ВМС, коллоидов и др. максимально взаимосвязано с превышением заданных показателей белого сахара.

ИТК 2 выделена на этапе получения диффузионного сока. В ней контролируются микробиологический статус сока, содержание ВМС и накопление декстрана и левана, которые могут мигрировать до сахара.

На этапе очистки диффузионного сока выделена ИТК 3, где необходимо контролировать инфицированность микроорганизмами преддефекованного сока, продукты жизнедеятельности которых могут стать причиной мутности растворов сахара. Мутность фильтрованных соков второй ступени сатурации, сульфитированного может привести к попаданию взвешенных частиц и солей кальция в сироп, которые, в свою очередь, могут включаться непосредственно в кристаллы сахара и переходить в мелассу.

ИТК 4 выделена на этапе сгущения очищенного сока, поскольку превышение пределов нарастания щелочности и цветности сока при выпаривании может привести к выпуску сахара более высокой цветности – уровня категории ТС3.

Потребительские свойства сахара во многом определяются его гранулометрическим составом, поэтому в качестве точки контроля качественных показателей утфеля на этапе кристаллизации сахарозы выделена ИТК 5.

Этап кристаллизации сахарозы является финишным для получения побочной продукции сахарного производства – мелассы. К ней со стороны промышленных потребителей, помимо нормируемых требований в соответствии с ГОСТ 30561-2017 «Меласса свекловичная. Технические условия», предъявляются также дополнительные требования, например, по содержанию солей кальция, суммы сбраживаемых сахаров и др. Следовательно, необходимо также контролировать мелассу по дополнительным показателям качества. Данный готовый продукт выделен в виде точки контроля ТГ1 (точка контроля готовой продукции 1) на этапе кристаллизации сахарозы.

На этапе сушки белого сахара в рамках функционирования системы ХАССП контролируется содержание ферропримесей и их размер (ККТ 1). После высушивания сахар направляется на упаковывание, обеспечивая финишный этап получения готовой продукции – кристаллического белого сахара. Контроль качества сахара осуществляется как по показателям ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия», так и по дополнительным показателям требований потребителей. Соответственно, данный готовый продукт выделен в виде точки контроля ТГ2 (точка контроля готовой продукции 2) на этапе сушки.

Аналогичный подход при формировании структуры системы мониторинга использовался в отношении побочной продукции – свекловичного жома. На этапе сушки жома контролируется содержание ферропримесей и их размер (ККТ 2); данный продукт в виде точки контроля ГТЗ (точка контроля готовой продукции 3) выделен на этапе сушки жома.

Учитывая возможное влияние остаточных количеств действующих веществ технологических вспомогательных средств в полуфабрикатах потока, отражающееся на формировании потребительских качеств сахара, данная процедура была определена как ИТК 6.

Таким образом, 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»), структурная схема которого приведена на рисунке 24. При разработке использовали информационную систему, относящуюся к классу MES-систем (Manufacturing Execution System) [88].

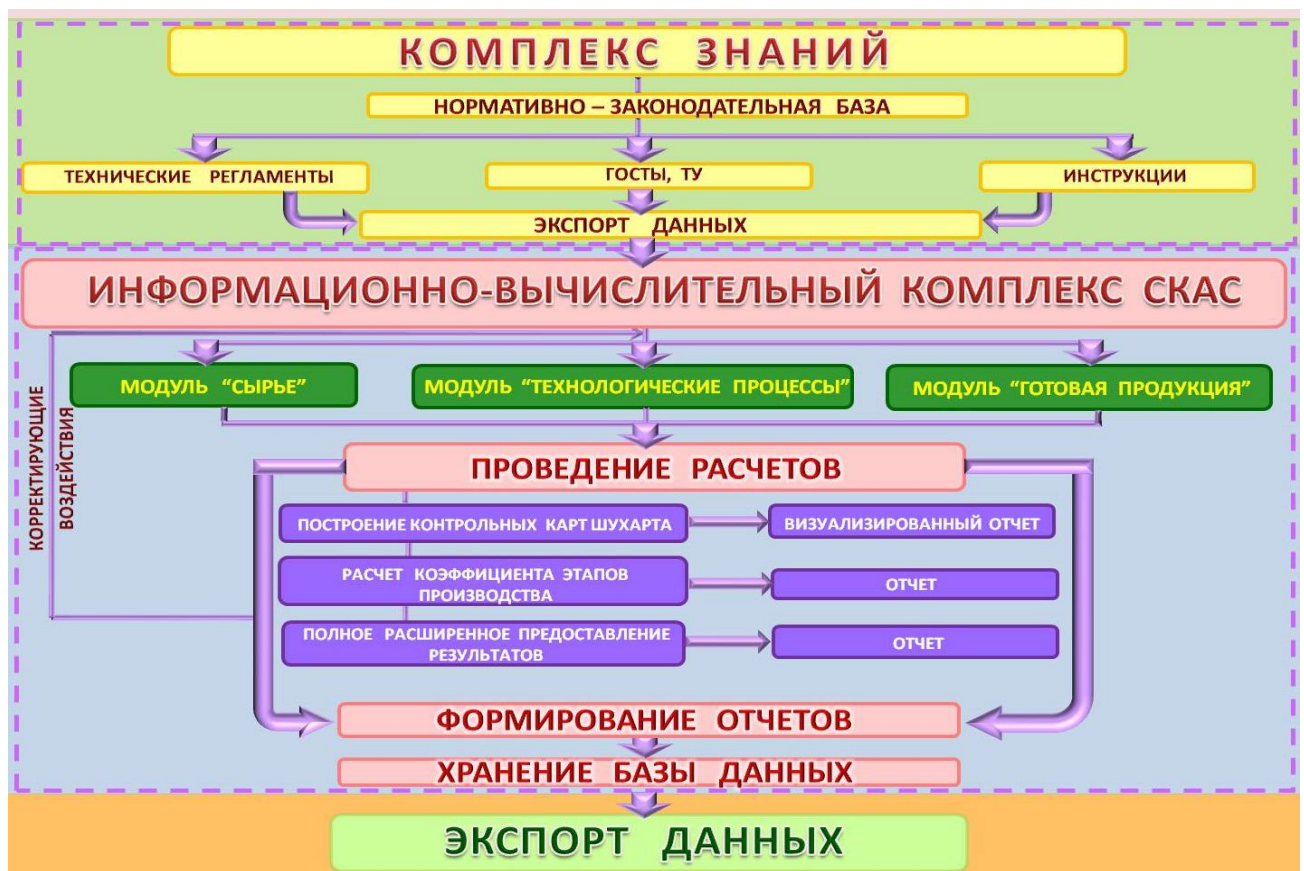


Рисунок 24 – Структурная схема СКАС «Сахар»

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.

Модуль «Сырье» осуществляет сбор информации в режиме реального времени о количестве и качестве поступающей в переработку сахарной свеклы, последующую обработку информации согласно соответствующим моделям и алгоритмам с целью установления логистической цели движения (непосредственная переработка, кратковременное или длительное хранение) сырья. Модуль «Технологические процессы» осуществляет сбор информации, полученной путем лабораторных анализов, о состоянии технологического процесса, а также позволяет на основании 3 алгоритмов и 3 моделей выбирать порядок действий в текущей ситуации при сочетании определенных технологических параметров. Этот порядок действий вырабатывается на основе контрольных карт Шухарта и базы управленческих решений по воздействию на технологический процесс для его стабилизации.

Модуль «Готовая продукция» исходя из данных из модулей «Сырье» и «Технологические процессы» на основании соответствующих модели и алгоритма позволяет прогнозировать качество и безопасность выпускаемого сахара и при возникновении отклонений от норматива установить причины возможных нарушений. Такой подход дает возможность обеспечить стабильный режим производства и выход безопасной и качественной продукции.

В каждом модуле предусмотрены механизмы автоматизации, обеспечивающие высокую точность результатов измерений и решение следующих задач: сбор, архивирование и хранение информации, проведение расчетов, оформление расчетов, ведение контрольных карт Шухарта.

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.

В предлагаемой системе объектом регулирования являются данные мониторинга качества и безопасности полуфабрикатов в процессе химических превращений сырья в готовый продукт, а в качестве регулятора выступают исходные требования конкретных потребителей сахара из модуля «Готовая продукция». СКАС «Сахар» предназначен не только для решения технологических проблем, но и для реализации автоматизированного мониторинга качества промежуточных продуктов в ходе технологического процесса получения сахара из сахарной свеклы. Исходя из заданных целей получения сахара требуемого качества, система обеспечивает сквозной оперативный контроль по всей производственно-логистической цепочке предприятия – от приемки сырья до получения готовой продукции, легко интегрируется в существующую систему управления предприятием.

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. (Приложение Л). 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.

Использование специализированного программного комплекса позволит существенно снизить влияние человеческого фактора и обеспечить достоверный контроль в режиме реального времени, даст возможность оперативно перенастраивать технологическую линию в меняющихся условиях требований потребителей.

Таким образом, представлено решение задачи совершенствования комплексного контроля безопасности и качества при производстве 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеева, Н. В. Производство конкурентоспособной кондитерской продукции на основе комплексного внедрения схем управления качеством и безопасностью готовых изделий / Н. В. Агеева, В. К. Кочетов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2018. – № 4. – С. 76-79.
2. Анализ рынка безалкогольных напитков в России в 2013-2017 гг., прогноз на 2018-2022 гг. – М.: BusinesStat. – 2018. – 153 с.
3. Банникова, Н. В. Перспективы развития экспорта сахара и сахарной продукции / Н. В. Банникова, Н. В. Воробьева, Т. Н. Костюченко // Аграрный вестник Урала. – 2023. – Т. 23. – № 11. – С. 120-137.
4. Барышникова, Н. И. Разработка программ предварительных мероприятий при производстве хлеба в соответствии с системой менеджмента безопасности пищевой продукции / Н. И. Барышникова, Е. С. Вайскрובה, И. Ю. Резниченко // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : материалы 75-й международной научно-технической конференции. – Магнитогорск, 2017. – Т. 2. – С. 25-27.
5. Бегунов, А. А. Роль измерений в процессе производства / А. А. Бегунов, И. А. Фридман, Г. И. Шевцов // Вестник ВНИИЖ. – 2018. – № 2. – С. 81-84.
6. Беляева, Л. И. Значение технологических средств в процессах свеклосахарного производства / Л. И. Беляева, В. Н. Лабузова, А. В. Остапенко // Сахар. – 2012. – № 10. – С. 30-32.
7. Беляева, Л. И. Технологические добавки в производстве белого свекловичного сахара: за и против / Л. И. Беляева, А. В. Остапенко // Наука, питание и здоровье: сб. науч. тр. / Науч.-практ центр НАН Беларуси по продовольствию – Минск : Беларуская навука, 2022. – С. 115-121.
8. Борцова, Е. Л. Изучение зависимости между системой ценности потребителя и качеством пищевой продукции / Е. Л. Борцова, Л. Ю. Лаврова, И. Ю. Калугина // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18. – № 19. – С. 2841-2848.

9. Бугаенко, И. Ф. Мутность растворов белого сахара и ее контроль / И. Ф. Бугаенко, М. П. Монако // Сахар. – 2009. – № 6. – С. 60-63.
10. Бугаенко, И. Ф. Общая технология отрасли. Научные основы технологии сахара : учебник для студентов вузов. Ч. 1. / И. Ф. Бугаенко, В. И. Тужилкин. – СПб. : ГИОРД, 2007. – 512 с.
11. Бугаенко, И. Ф. Принципы эффективного сахарного производства. – М.: ООО «Инмашпроект», 2003. – 288 с.
12. Бугаенко, И. Ф. Специальные методы анализа и контроля в сахарном производстве. – М. : ООО «Теллер», 2004 – 114 с.
13. Бугаенко, И. Ф. Технохимический контроль сахарного производства. – М. : Агропромиздат, 1989. – 216 с.
14. Вебер, А. Л. Потребительские свойства и потенциальная востребованность продукции «dairy alternatives» из отечественных сортов гороха и фасоли / А. Л. Вебер, С. А. Леонова, О. В. Кондратьева // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52. – № 1. – С. 108-122.
15. Власкин, Г. А. Цифровизация производства: состояние и перспективы использования цифровых технологий в промышленности / Г. А. Власкин, В. В. Доржиева, А. Е. Иванов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2020. – № 12-1. – с. 57-65.
16. Влияние повышенной мутности растворов белого сахара на потребительские качества готовой продукции / Л. И. Чернявская, Ю. А. Моканюк, В. П. Адамович [и др.] // Цукор України. – 2012. – № 11. – С. 45-48.
17. Влияние сахара на структурно-механические свойства хлебобулочных изделий из муки пшеничной первого сорта / Н. С. Лаптенко, А. Н. Дударева, Л. И. Севастей [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии (Беларусь). – 2022. – № 3. – С. 62-68.
18. Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий / С. К. Жаббарова // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. – 2019. – № 2(59) [Электронный ресурс]. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6953> (дата обращения 27.02.2025).

19. Влияние способов подготовки экстрагента на модуль упругости и эффективность прессования обессахаренной свекловичной стружки / В. О. Городецкий, С. О. Семенихин, И. Н. Люсый [и др.] // Новые технологии. – 2019. – № 2(48). – С. 40-43.

20. Влияние сульфитационной обработки полупродуктов свеклосахарного производства на процесс ингибирования образования интенсивно окрашенных высокомолекулярных соединений / Н. М. Даишева, В. О. Городецкий, С. О. Семенихин [и др.] // Новые технологии. – 2022. – Т. 18. – № 3. – С. 24-35.

21. Возможные причины образования осадков в ликероводочных изделиях и рекомендации по стабилизации изделий, содержащих спиртованные соки и морсы / Н. Е. Головачева, И. М. Абрамова, С. С. Морозов [и др.] // Пищевая промышленность. – 2020. – № 4. – С. 34-38.

22. Волошаненко, Г. П. Справочник для работников лабораторий сахарных заводов / Г. П. Волошаненко, А. Р. Сапронов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 224 с.

23. Волошина, Е. С. Реестры технологических рисков как элемент совокупной системы управления рисками при производстве пищевой продукции / Е. С. Волошина, Н. И. Дунченко // Пищевая промышленность. – 2024. – № 10. – С. 36-39.

24. Волошина, Е. С. Риск-ориентированный подход при организации ВАССП на пищевом предприятии / Е. С. Волошина, Н. И. Дунченко, В. А. Сграбиллов // Пищевая промышленность. – 2024. – № 9. – С. 35-39.

25. Воронина, В. М. Динамика ключевых показателей, определяющих проблемы и среднесрочные перспективы производства и экспорта отечественного сахара / В. М. Воронина // Российская наука: актуальные исследования и разработки : сб. науч. статей XIV Всероссийской научно-практической конференции. Том Часть 1. – Самара: Самарский государственный экономический университет, 2022. – С. 400-404.

26. Выявление причин образования осадков в безалкогольных напитках / Е. В. Хорошева, И. Ю. Михайлова, Г. А. Ремнева [и др.] // Пиво и напитки. – 2016. – № 4. – С. 50-53.

27. Голубов, И. И. Принципы внедрения международной системы качества и безопасности продукции / И. И. Голубов // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2008. – № 5. – С. 32-35.
28. Горбашко, Е. А. Управление качеством / Е. А. Горбашко. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 463 с.
29. Городецкий, В. О. Значение сульфитации в технологических процессах свеклосахарного производства и в переработке импортного тростникового сахара-сырца / В. О. Городецкий, С. О. Семенихин, Н. И. Котляревская // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 11. – С. 26-33.
30. ГОСТ 12572-2015. Сахар. Метод определения цветности. М. : Стандартинформ, 2016. – 8 с.
31. ГОСТ 33222-2015. Сахар белый. Технические условия. М. : Стандартинформ. – 2015. – 16 с.
32. ГОСТ Р ИСО 2859-1–2007. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества. М. : Стандартинформ, 2007. – 104 с.
33. ГОСТ Р ИСО 11648-1-2009. Статистические методы. Выборочный контроль нештучной продукции. Часть 1. Общие положения. – М. : Стандартинформ, 2011. – 78 с.
34. Давидюк, М. А. АСУ ТП: типичные проблемы на сахарных заводах и новый подход к их решению / М. А. Давидюк // Сахар. – 2018. – № 1. – С. 44-47.
35. Дешевая, И. Ю. Современные тенденции стандартизации в области сахарной промышленности / И. Ю. Дешевая, А. А. Славянский, Е. А. Тарасова // Сахар. – 2016. – № 5. – С. 33-36.
36. Диоксид серы в белом сахаре: источник поступления, референтные значения / Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко [и др.] // Пищевые системы. – 2024. – Т. 7. – № 3. – С. 368-374.
37. Добжицкий, Я. Химический анализ в сахарном производстве / Я. Добжицкий. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

38. Доржиева, В. В. Национальные приоритеты развития промышленного искусственного интеллекта в условиях новых технологических вызовов / В. В. Доржиева // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12. – № 1. – С. 111-121.

39. Дремучева, Г. Ф. Результаты исследований хлебопекарных свойств пшеничной муки с использованием реоферментометра / Г. Ф. Дремучева, М. В. Носова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2021. – № 3. – С. 105-114.

40. Егорова, М. И. Анализ технологического потока сахарного производства как инструмент обеспечения безопасности и качества белого сахара / М. И. Егорова, С. И. Казакова // Стратегия развития свеклосахарного комплекса России : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 6-7 июня 2007 г. / ГНУ РНИИСП. – Курск, 2007. – С. 64-71.

41. Егорова, М. И. Аспекты управления качеством белого сахара как продовольственного сырья / М. И. Егорова // Наука, питание и здоровье: сб. науч. трудов. В 2 ч. Ч. 2. – Минск : Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию, 2021. – С. 317-324.

42. Егорова, М. И. Диагностика технологических потоков производства сахара / М. И. Егорова, Л. И. Тихомирова, О. Н. Беденко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2000. – № 8. – С. 34-37.

43. Егорова, М. И. Изучение точности и устойчивости функционирования подсистемы образования диффузионного сока свеклосахарного производства как системы / М. И. Егорова, Н. П. Епифанова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 11. – С. 78-81.

44. Егорова, М. И. Новая парадигма в системе технологического контроля производства сахара / М. И. Егорова // Инновационные процессы в пищевых технологиях : Матер. Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 19-20 февраля 2019 г.: ВНИИЗ, 2019. – С. 140-145.

45. Егорова, М. И. Определение направлений развития схемы контроля технологического потока производства сахара / М. И. Егорова, И. С. Михалева, Я. А. Кретьева // 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.

46. Егорова, М. И. Организация системы контроля технологического потока производства сахара: современный подход / М. И. Егорова // Наука, питание и здоровье : сб. науч. тр. / Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию. – Минск: Беларуская навука, 2022. – С. 9-17.

47. 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.

48. Егорова, М. И. Переход на новую парадигму системы технологического контроля как инструмент управления потенциальными возможностями технологической линии производства сахара / М. И. Егорова // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 11-13 сентября 2019 г. – Курск : ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2019. – С. 255-260.

49. Егорова, М. И. Продукты диверсификации в свеклосахарной промышленности России / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова // Сахар. – 2022. – № 10. – С. 40-45.

50. Егорова, М. И. Развитие методов анализа сахара / М. И. Егорова, И. С. Михалева, В. В. Райник, Я. А. Кретьева // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья : сб. научных статей и докладов – Воронеж : ВГУИТ, 2017. – С. 517-521.

51. Егорова, М. И. Развитие методологических аспектов идентификации болезней сахарной свеклы при поступлении в технологический поток производства сахара / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, Л. Ю. Смирнова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 3. – С. 134-148.

52. Егорова, М. И. Разработка дескрипторов для органолептической оценки сахарной свеклы с идентификацией болезней / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, Л. Ю. Смирнова // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – № 1. – С. 56-61.

53. Егорова, М. И. Разработка процедур, основанных на принципах ХАССП при производстве сахара / М. И. Егорова, М. С. Михайличенко, И. С. Михалева // Сахар. – 2015. – №. 5. – С. 16-20.
54. Егорова, М. И. Сахар: эволюция требований потребителей / М. И. Егорова // Сахар. – 2014. – № 7. – С. 16-17.
55. Егорова, М. И. Системное исследование технологического потока производства сахара-песка / М. И. Егорова, Л. И. Тихомирова // Труды РНИИСП. – 1999. – Вып. 2. – С. 88-94.
56. Егорова, М. И. Совершенствование метода определения гранулометрического состава сахара / М. И. Егорова, А. А. Милых, В. В. Райник // Кондитерские изделия XXI века : материалы девятой Междунар. конф., Москва, 26-28 февраля 2013 г. – М. : Пищепромиздат, 2013. – С. 176-178.
57. Егорова, М. И. Формализация значимых факторов жизненного цикла сахара как инструмент обеспечения его безопасности и качества / М. И. Егорова, С. И. Казакова, Л. С. Чугунова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 8. – С. 44–47.
58. Заборсин, А. Ф. Сушка и охлаждение сахара-песка в псевдоожиженном слое / А. Ф. Заборсин, А. А. Дмитрюк. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 104 с.
59. Золотин, А. Ю. Роль ингредиентов в формировании потребительской ценности пищевого продукта / А. Ю. Золотин, С. В. Симоненко, Е. С. Симоненко // Пищевая промышленность. – 2020. – № 3. – С. 29-33.
60. Ибрагимова, Л. Р. Интегрированная система качества и безопасности пищевой продукции / Л. Р. Ибрагимова, М. Н. Исламов, К. Ш. Салаватова // Совершенствование технологических процессов в пищевой, химической, и перерабатывающей промышленности : сб. научных трудов преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов технологического факультета ДГТУ – Махачкала : ДГТУ, 2023. – С. 88-92.
61. Иванов, Е. В. Предварительные итоги свеклосахарной кампании – 2023 / Е. В. Иванов // Сахарная свекла. – 2024. – № 1. – С. 2-7.

62. Ивашкин, Ю. А. Структурно-параметрические модели и алгоритмы идентификации аномальных состояний технологической системы / Ю. А. Ивашкин // Вестник Российской академии диалектико-системных исследований и разработок. – 1998. – Вып. 2. – С. 18-28.

63. Ивашкин, Ю. А. Структурно-параметрическое моделирование и идентификация аномальных ситуаций в сложных технологических системах / Ю. А. Ивашкин // Проблемы управления. – 2004. – № 3. – С. 39-43.

64. Идентификация сахара на основе определения содержания его микронутриента крахмала / М. И. Егорова, Л. И. Беляева, А. А. Милых [и др.] // Сахарная свекла. – 2013. – № 8. – С. 7-9.

65. Изменение природной локализации масла в семенах как показатель их качества / А. Н. Лисицын, В. Н. Марков, В. Н. Григорьева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 4. – С. 8-21.

66. Ильина, И. А. Управление безопасностью винодельческой продукции ООО «Микровиноделие» на основе принципов ХАССП / И. А. Ильина, И. А. Мачнева, Е. Н. Якименко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2022. – № 15. – С. 114-121.

67. Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства : утв. зам. министра пищевой пром-сти СССР 11.05.1985 г. – М., 1985. – 372 с.

68. Инструкция по химико-техническому контролю и учету сахарного производства. – Киев : ВНИИСП, 1983. – 476 с.

69. Исследование влияния сахаросодержащего сырья на остаточный процесс (старение) купажей ликеро-водочных изделий / Д. В. Андриевская, М. А. Захаров, Е. В. Ульянова [и др.] // Пиво и напитки. – 2021. – № 1. – С. 16-20.

70. ИТС 44-2017. Производство продуктов питания. – М. : Бюро НДТ, 2017. – С. 11.

71. Каждую десятую ложку сахара в России производят в Курской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://kpravda.ru/2024/02/19/kazhduyu-desyatuyu-lozhku-sahara-v-rossii-proizvodyat-v-kurskoj-oblasti/> (дата обращения:

11.03.2024 г.).

72. Качественные характеристики сахара-песка для кондитерского производства / С. В. Штерман, В. С. Штерман, Н. В. Осташенкова [и др.] // Сахар. – 2009. – № 3. – С. 46-52.

73. К вопросу о контроле качества ферментных препаратов для пищевой промышленности / Е. М. Серба, М. Б. Оверченко, Н. И. Игнатова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 87-88.

74. Конверсия редуцирующих веществ и показатели сахарных растворов / В. А. Голыбин, В. А. Федорук, Н. А. Матвиенко [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2017. – Т. 79. – № 1. – С. 276-281.

75. Контроль качества спиртных напитков, полученных методом дистилляции / М. Э. Медриш, И. М. Абрамова, В. Б. Савельева [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 60-61.

76. Косовская, М. А. Разработка системы менеджмента качества при производстве игристых вин на ООО «Агрофирма «ЗОЛОТАЯ БАЛКА» / М. А. Косовская, Н. В. Лямина // Экономика и управление: теория и практика. – 2024. – Т. 10. – № 1. – С. 49-56.

77. Кочергин, В. Промышленная хроматография для оптимизации выработки сахара / В. Кочергин, М. Сур // Сахар. – 2011. – № 6. – С. 42-44.

78. Кравчук, А. Ф. Последовательные процессы в технологии кристаллизации сахара / А. Ф. Кравчук // Цукор України. – 2012. – № 8(80)'. – С. 43-47.

79. Красуля, О. Н. Формирование качества молочных продуктов с позиции теорий систем / О. Н. Красуля, В. В. Ботвинникова, Н. В. Попова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2015. – Т. 9. – № 1. – С. 191-198.

80. Кривовоз, А. Г. Влияние гранулометрического состава на качество сахара / А. Г. Кривовоз // Сахар. – 2010. – № 12. – С. 42-43.

81. 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.

82. Кузьмина, Е. И. Сахар в производстве вин и безалкогольных напитков / Е. И. Кузьмина // Сахар. – 2009. – № 7. – С. 35-38.

83. Кульнева, Н. Г. Модели управления технологическими процессами свеклосахарного производства / Н.Г. Кульнева, Ю.С. Сербулов, А.В. Кульнев. – Воронеж : ВГТА, 2006. – 155 с.

84. Кухар, В. Н. Сахар как сырье для пищевых производств и требования к нему / В. Н. Кухар, А. П. Чернявский, Ю. А. Моканюк // Цукор України. – 2017. – № 9-10. – С. 141-142.

85. Кухар, В. Н. Фильтрация сиропа с клеровкой – реальные шаги к повышению качества сахара / В. Н. Кухар, Л. И. Чернявская // Цукор України. – 2013. – № 11. – С. 30-47.

86. Кущёв, С. Н. Разработка методики оценки технологических рисков при производстве йогуртных продуктов : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Кущёв Сергей Николаевич. – М., 2009. – 176 с.

87. Левгерова, Н. С. Технологическая характеристика новых сортов яблони селекции ВНИИСПК для производства джема / Н. С. Левгерова, Е. С. Салина, И. А. Сидорова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 3. – С. 53-56.

88. Лисицын, А. Б. Информационные технологии в мясной промышленности / А. Б. Лисицын, Т. К. Жанатаев // Все о мясе. – 2007. – № 6. – С. 4-7.

89. Лисицын, А. Б. Концептуальные подходы к созданию системы обеспечения безопасности пищевых продуктов / А. Б. Лисицын, Чернуха И. М., Горбунова Н. А. // Пищевая промышленность. – 2009. – №. 12. – С. 39-41.

90. Лоренц, Ф. Оптимизированная модель производства сахара из свеклы – первые расчеты / Ф. Лоренц // Сахар и свекла. – 2010. – № 1. – С. 32-37.

91. Матисон, В. А. Контроль качества сырья, материалов и готовой продукции в пищевом производстве / В. А. Матисон // Пищевая промышленность. – 2016. – № 7. – С. 8-11.

92. Мелешкина, Е. П. Современные аспекты качества зерна пшеницы / Е. П. Мелешкина // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2009. – № 3. – С. 4-7.
93. Методическая поддержка контроля безопасности детских каш (на примере определения фурана и метилфурана) / Н. В. Зайцева, Т. И. Нурисламова, О. А. Мальцева [и др.] // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102. – № 7. – С. 713-719.
94. Методологические аспекты формирования системы методик контроля технологического потока производства сахара / М. И. Егорова, Е. В. Широких, И. С. Михалева [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2019. – Т. 81. – № 2. – С. 162-169.
95. Методология разработки пищевых продуктов с потенциально высокой потребительской ценностью / А. Ю. Золотин, С. В. Симоненко, Е. И. Щебетова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2022. – № 11. – С. 33-37.
96. Михалева, И. С. Обзор технических требований к сахару и методов их определения в странах Евразийского экономического союза / И. С. Михалева // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии : сб. докл. XXIII Междунар. науч. конф., Минск, 1 октября 2020 г. – Минск : Беларуская навука, 2020. – С. 405-409.
97. Мойсеяк, М. Б. Методы атомносиловой микроскопии при оценке качественных показателей затравочных материалов / М. Б. Мойсеяк, Г. А. Шумовецкий, Р. Х. Иксанов // Сахар. – 2010. – № 1. – С. 45-50.
98. Морозова, С. С. Использование сахарозаменителей и интенсивных подсластителей в производстве пищевых концентратов киселей / С. С. Морозова, О. Е. Бакуменко, В. В. Тарасова // Молодой ученый. – 2020. – № 21(311). – С. 515-520 [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/311/70455/> (дата обращения 04.03.2025).
99. Натуральные сиропы из топинамбура с пребиотическими свойствами / С. Л. Филатов, С. М. Петров, Н. М. Подгорнова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 11. – С. 15-21.
100. Негода, В. Ф. Жидкотекучая затравочная суспензия – гарантия качества сахарных утфелей / В. Ф. Негода, В. Г. Мирончук, А. А. Сорока // Сахар. – 2005. –

№ 5. – С. 48-49.

101. Никитченко, В. Е. Анализ и предупреждение рисков при изготовлении лабораторных микробиологических питательных сред методом FMEA / В. Е. Никитченко, Е. О. Рысцова, А. Н. Чернышова // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. – 2019. – Т. 14. – № 1. – С. 90-98.

102. Новые виды сахаросодержащего сырья для производства пищевой продукции / Е. И. Кузьмина, О. С. Егорова, Д. Р. Акбулатова [и др.] // Пищевые системы. – 2022. – Т. 5. – № 2. – С. 145-156.

103. Новый затравочный материал с призматическим габитусом кристаллов / С. М. Петров, С. Л. Филатов, Е. Е. Миленко [и др.] // Сахар. – 2010. – № 1. – С. 41-44.

104. Обеспечение безопасности пищевых продуктов в рамках системы НАССР, контроль качества вырабатываемой продукции за период внедрения и применения системы НАССР (на примере ОАО «Минский завод игристых вин») / Н. В. Борушко, Н. Л. Бацукова, С. Н. Ломоносов [и др.] // Здоровье и окружающая среда. – 2011. – № 17. – С. 171-175.

105. Обзор инструментальных методов, используемых в области анализа пищевых продуктов / Л. Н. Рождественская, С. П. Романенко, И. О. Ломовский [и др.] // Пищевые системы. – 2024. – Т. 7. – № 4. – С. 523-534.

106. Олейник, С. И. Влияние сахара белого на стойкость ликероводочной продукции / С. И. Олейник // Цукор України. – 2013. – № 9. – С. 48-52.

107. Оптимизация работы диффузионной установки колонного типа методом усовершенствования конструкции ошпаривателя / В. Н. Кухар, В. Д. Саповский, В. Г. Табурчак [и др.] // Сахар. – 2018. – № 4. – С. 64-71.

108. Орешина, М. Н. Применение искусственного интеллекта в инновационной деятельности промышленных предприятий / М. Н. Орешина // E-Management. – 2021. – Т. 4. – № 1. – С. 29-37.

109. Особенности подготовки экстрагента для диффузионно-прессового извлечения сахарозы из свекловичной стружки / В. О. Городецкий, С. О. Семенихин, Н. И. Котляревская [и др.] // Сахар. – 2015. – № 1. – С. 44-46.

110. Отинова, М. Е. Изучение тенденций развития региональных рынков сахара РФ / М. Е. Отинова, Е. В. Сальникова, И. И. Чернышева // Сахарная свекла. – 2024. – № 1. – С. 13-17.

111. Очистка диффузионного сока в сахарном производстве / З. В. Ловкис, Т. И. Турбан, Н. Н. Петюшев [и др.] – Минск : Беларус. навука, 2013. – 232 с.

112. Панфилов, В. А. Технологические линии пищевых производств: создание технологического потока / В. А. Панфилов, О. А. Ураков. – М. : Пищевая промышленность, 1996. – 472 с.

113. Перспективы применения IT-технологий на предприятиях пищевой промышленности / Н. В. Шелехова, В. А. Поляков, Е. М. Серб [и др.] // Пищевая промышленность. – 2018. – № 12. – С. 86-89.

114. Петров, С. М. Вакуум-аппарат непрерывного действия – энергосберегающее решение работы продуктового отделения / С. М. Петров, С. Л. Филатов, И. В. Шаруда // Сахар. – 2011. – № 5. – С. 2-6.

115. Плешкова, Н. А. Регулируемые технологические параметры производства в формировании потребительских свойств функционального продукта / Н. А. Плешкова, А. Н. Австриевских, В. М. Поздняковский // Пищевая промышленность. – 2018. – № 8. – С. 80-82.

116. Повышение качества белого сахара при уваривании утфеля в горизонтальных вакуум-аппаратах непрерывного действия / С. М. Петров, С. Л. Филатов, Н. М. Подгорнова [и др.] // Сахар. – 2018. – № 6. – С. 38-43.

117. Повышение качества свекловичного сахара до экспортного уровня / С. М. Петров, Н. М. Подгорнова, В. И. Тужилкин [и др.] // Сахар. – 2017. – № 5. – С. 30-33.

118. Повышение эффективности сушки и охлаждения сахара-песка / М. М. Королев, В. В. Буромский, Г. И. Быкова [и др.] // Сахар. – 2010. – № 12. – С. 47-48.

119. 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 ВГУИТ. – 2018. – Т. 80. – № 3. – С. 196-205.

120. Поландова, Р.Д. Хлебопекарные свойства пшеничной муки, состояние, методы регулирования качества в производстве хлебобулочных изделий / Р. Д. Поландова, Г. Ф. Дремучева, О. Е. Карчевская // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2009. – № 3. – С. 8-10.

121. Потребительская ценность пищевого продукта – как ее понимать в аспекте разработки продуктов / А. Ю. Золотин, С. В. Симоненко, Е. С. Симоненко [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 8(86). – Часть 1. – С. 62-67.

122. Принципы разработки пищевых продуктов потенциально высокой потребительской ценности / Е. И. Щебетова, А. Ю. Золотин, С. В. Симоненко [и др.] // Пищевая промышленность. – 2022. – № 11. – С. 106-109.

123. Пряничникова, Н. С. Управление качеством и безопасностью сухого молока / Н. С. Пряничникова, С. А. Хуршудян // Пищевая промышленность. – 2025. – № 3. – С. 78-83.

124. Пулова, Л. Б. Потребительские свойства товара в концепции инновационного предпринимательства / Л. Б. Пулова // Проблемы современной экономики. – 2011. – № 2(38). – С. 394-395.

125. Пушанко, Н. Н. Центрифугування цукрових утфелів / Н. Н. Пушанко. – К. : Вища освіта, 2010. – 439 с.

126. Развитие национальной инфраструктуры качества в области сахарной промышленности / Е. А. Тарасова, К. Б. Гурьева, А. А. Славянский [и др.] // Сахар. – 2021. – №. 5. – С. 20-23.

127. Разработка и апробация системы производственного контроля алкогольной продукции на основе современных методов анализа и цифровых технологий / Т. М. Шелехова, И. М. Абрамова, Н. В. Шелехова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2025. – № 3. – С. 114-119.

128. Разработка интегрированной системы управления на пищевом предприятии / Е. С. Вайскрובה, Н. И. Барышникова, И. Ю. Резниченко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48. – № 1. – С. 132-142.

129. Разработка рейтинговой системы контроля качества сухих напитков

функциональной направленности / А. С. Мустафин, И. Ю. Резниченко, И. А. Бакин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52. – № 2. – С. 144-155.

130. Разработка системы автоматического управления производственным процессом уваривания утфеля I кристаллизации в вакуум-аппарате / Н. Л. Клейменова, О. А. Орловцева, С. В. Ершов [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2018. – № 2. – С. 101-107.

131. Разработка системы комплексной автоматизации предприятия пищевой промышленности / В. Г. Аитов, М. М. Благовещенская, А. Я. Красинский [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 2. – С. 92-99.

132. Резниченко, Ю. И. Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий / Ю. И. Резниченко, М. С. Щеглов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50. – № 4. – С. 576-587.

133. 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.

134. Референтные значения отдельных потребительских характеристик белого сахара / М. И. Егорова, Л. И. Беляева, Л. Н. Пузанова [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2024. – Т. 86. – № 2. – С. 63-73.

135. Решетова, Р. С. Способы повышения эффективности работы кристаллизационного отделения сахарных заводов / Р. С. Решетова, О. Ю. Бганцева, Д. Н. Пешкова // Сахар. – 2019. – № 11. – С. 16-20.

136. Руководство по организации контроля технологического потока производства сахара из сахароносного растительного сырья (сахарной свеклы) / М. И. Егорова, Л. И. Беляева, Л. Н. Пузанова [и др.] – Курск : ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2022. – 186 с.

137. Рыжаков, В. В. Планирование эксперимента и статистический анализ данных в управлении качеством продукции / В. В. Рыжаков, Н. М. Боклашов, М. Ю. Рудюк. – Пенза : ПензГТУ, 2013. – 124 с.

138. Рыжакова, А. В. Качество и конкурентоспособность российского

шоколада в соответствии с современными ожиданиями потребителей / А. В. Рыжакова, М. С. Головизина // Пищевая промышленность. – 2021. – № 2. – С. 15-19.

139. Савостин, А. В. Повышение эффективности преддефекации диффузионных соков / А. В. Савостин // Известия вузов. Пищевая технология. – 2014. – № 1. – С. 29-31.

140. Самолетова, Д. В. Совершенствование процессов управления качеством в условиях динамичного рынка / Д. В. Самолетова, О. Ю. Рудакова // Управление современной организацией: опыт, проблемы и перспективы. – 2024. – № 22. – С. 44-56.

141. Сахар как сырье для пищевых производств и требования к нему / В. Н. Кухар, А. П. Чернявский, Ю. А. Моканюк [и др.] // Цукор України. – 2017. – № 9-10. – С. 51-58.

142. Сидоренко, Ю. И. Технология сорбционной очистки соков и сиропов сахарного производства : Монография / Ю. И. Сидоренко, А. А. Славянский, Г. А. Вовк. – М.: МГУПП, 2003. – 246 с.

143. Силаев, А. В. Сахара в индустрии напитков / А. В. Силаев // Food and Drinks. – 2005. – № 1. – С. 2-7.

144. Силин, П. М. Химический контроль свеклосахарного производства / П. М. Силин, Н. П. Силина. – М. : Пищевая промышленность, 1977. – 240 с.

145. Славянский, А. А. Оптимизация уваривания утфеля I кристаллизации / А. А. Славянский, И. В. Куликова, С. П. Гольденберг // Сахар. – 2010. – № 7. – С. 54-57.

146. Славянский, А. А. Промышленное производство сахара : учеб. Пособие / А. А. Славянский. – М. : МГУТУ, 2015. – 255 с.

147. Славянский, А. А. Центрифугирование утфеля I кристаллизации / А. А. Славянский, А. Е. Туманова, М. Б. Мойсеяк // Сахар. – 2008. – № 10. – С. 45-51.

148. Совершенствование способа известково-углекислотной очистки диффузионного сока свеклосахарного производства / В. О. Городецкий, Р. С. Решетова, И. Н. Люсый [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2015. –

№ 5-6. – С. 67-70.

149. Современное состояние и перспективы развития контроля качества алкогольной продукции / Н. В. Шелехова Н.В., Т. М. Шелехова Т.М., Л. И. Скворцова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 117-119.

150. Современное состояние и перспективы развития производства продуктов питания и пищевых добавок в Российской Федерации / Е. А. Егоров, С. К. Куижева, Е. В. Лисовая [и др.] // Новые технологии. – 2022. – Т. 18. – № 2. – С. 53-61.

151. Состояние пищевой системы утфеля I кристаллизации при совокупном действии ПАВ, деколоранта сахара, антинакипина / Л. И. Беляева, А. В. Остапенко, В. Н. Лабузова [и др.] // Вестник ВГУИТ. 2018. – Т. 80. – № 4. – С. 151-155.

152. Специализированные программные комплексы в контроле качества алкогольной продукции / Н. В. Шелехова, В. А. Поляков, Л. В. Римарева [и др.] // Пищевая промышленность. – 2017. – № 1. – С. 50-52.

153. Структура потребительской ценности пищевого продукта / А. Ю. Золотин, Т. А. Антипова, Е. С. Вайнерман [и др.] // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. – 2020. – Т. 1. – № 1. – С. 215-224.

154. Структурно-параметрическая модель процесса приготовления сахарного сиропа / И. Г. Благовещенский, Ю. А. Ивашкин, С. М. Носенко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015. – № 4. – С. 16-20.

155. Сурков, И. В. Разработка интегрированной системы менеджмента качества и безопасности на примере кондитерского предприятия / И. В. Сурков, Г. А. Гореликова, В. С. Биндюк // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 1 (36). – С. 112-117.

156. Тарасова, Е. А. Влияние параметров температурно-влажностного режима на сохранность бакалейных товаров при длительном хранении / Е. А. Тарасова, К. Б. Гурьева // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2021. – №. 16. – С. 218-

229.

157. Технические решения для реализации программно-аппаратного комплекса управления качеством пищевой продукции / М. Ю. Музыка, И. Г. Благовещенский, В. Г. Благовещенский [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2021. – Т. 83. – № 4. – С. 49-56.

158. Технологическая адекватность продукции свеклосахарного производства, используемой в пищевой промышленности / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, И. С. Михалева [и др.] // Пищевые системы. – 2023. – № 3. – С. 298-307.

159. Технологические вспомогательные средства в производстве сахара: эволюция применения / Л. И. Беляева, В. Н. Лабузова, А. В. Остапенко [и др.] // Сахар. – 2015. – № 11. – С. 39-43.

160. Ткешелашвили, М. Е. Разработка конфет типа Ассорти повышенной пищевой ценности и сохраняемости / М. Е. Ткешелашвили, Г. А. Бобожонова, А. В. Сорокина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 4. – С. 139-151.

161. Требования к качеству и безопасности сахара, используемого при производстве пищевой продукции / Н. М. Даишева, И. Н. Люсый, С. О. Семенихин [и др.] // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 8. – С. 33-42.

162. Тужилкин, В. И. Информационно-моделирующие системы в технологии сахара / В. И. Тужилкин, В. А. Ковалёнок, К. А. Урузбаева // Сахар. – 2014. – № 3. – С. 53–55.

163. Тужилкин, В. И. Научные основы информационно-моделирующих систем в науке, образовании, технологии продуктов питания : учеб. пособие / В. И. Тужилкин, С. М. Петров, Н. М. Подгорнова [и др.]. – СПб. : Лань, 2023. – 188 с.

164. Тужилкин, В. И. О роли сахара в современном мире. Часть I / В. И. Тужилкин, В. С. Штерман, А. Б. Бодин // Пищевая промышленность. – 2012. – № 7. – С. 54-57.

165. Тужилкин, В. И. О роли сахара в современном мире. Часть II / В. И. Тужилкин, В. С. Штерман, А. Б. Бодин // Пищевая промышленность. – 2012. – № 8. – С. 68-71.

166. Туркова, А. Ю. Совершенствование технологии кексов

функционального назначения: дис. канд. техн. наук: 05.18.01: защищена 10.12.2015, утв. 18.05.2015 / А. Ю. Туркова; ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс». – Орел, 2015. – 173 с.

167. Федив, И. В. Центрифуги Bussau Wolf для сахарной промышленности / И. В. Федив, А. А. Серегин, А. В. Василенко // Сахар. – 2017. – № 8. – С. 32-34.

168. Филатов, С.Л. Новые технические решения в фильтровании густых сиропов / С. Л. Филатов, В. Н. Шурбованный, С. М. Петров // Сахар. – 2012. – № 5. – С. 74-78.

169. Фоменко, Н. В. Обеспечение качества поставок в крупных сетях общественного питания: комплексный подход к управлению цепочкой поставок / Н. В. Фоменко, М. А. Фоменко // Пищевая промышленность. – 2025. – № 3. – С. 57-63.

170. Формирование пенообразной структуры кондитерских изделий // Е. В. Казанцев, Н. Б. Кондратьев, О. С. Руденко [и др.] // Пищевые системы. – 2022. – Т. 5. – № 1. – С. 64-69.

171. Функциональные ингредиенты в производстве кондитерских изделий / А. Н. Куракин, И. Б. Красина, В. Ю. Архипов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6 (часть 3). – С. 468-472.

172. Хафеман, Х. Сушка и охлаждение сахара с учетом специфических требований и условий окружающей среды / Х. Хафеман, Г. Грибель // Сахар и свекла. – 2013. – № 1. – С. 20-25.

173. Хомичак, Л. М. Соли кальция и их влияние на эффективность производства и качество сахара / Л. И. Хомичак // Вісник цукровиків України. – 2014. – № 5. – С. 13-16.

174. Хомичак, Л. М. Перспективные направления инновационного развития свеклосахарных заводов / Л. М. Хомичак, С. Т. Олійничук // Вісник цукровиків України. – 2013. – № 9 (88). – С. 26-30.

175. Царахова, Э. Н. Стойкость и пищевая ценность безалкогольных напитков из растительного сырья / Э. Н. Царахова, Ф. Л. Кудзиева // Известия вузов. Пищевая технология. – 2016. – № 1. – С. 66-67.

176. Цифровые двойники и искусственный интеллект: оптимальное решение для повышения эффективности периодического уваривания утфелей / С. М. Петров, С. Л. Филатов, Р. А. Шрамко [и др.] // Сахар. – 2024. – № 1. – С. 41-47.
177. Чернявская, Л. И. Как добиться качества сахара экспортного потенциала? / Л. И. Чернявская // Сахар. – 2017. – № 6. – С. 22-27.
178. Чернявская, Л. И. Контроль сахарного производства в зависимости от требований потребителей сахара: технологические аспекты / Л. И. Чернявская // Сахар. – 2009. – № 7. – С. 39-47.
179. Чернявская, Л. И. Мутность растворов сахара и методы ее уменьшения / Л. И. Чернявская, В. Н. Кухар // Сахар. – 2014. – № 3. – С. 38-45.
180. Чернявская, Л. И. Сахар. Методы определения показателей качества / Л. И. Чернявская, В. П. Адамович, Ю. А. Зотова. – Киев : Фитосоциоцентр, 2007. – 268 с.
181. Чернявская, Л. И. Содержание зольных элементов в белом сахаре, методы их контроля и снижения / Л. И. Чернявская, В. Н. Кухар, А. П. Чернявский // Сахар. – 2017. – № 11. – С. 40-47.
182. Чернявская, Л. И. Технохимический контроль сахара-песка и сахара-рафинада / Л. И. Чернявская, А. П. Пустоход, Н. С. Иволга. – М. : Колос, 1995. – 384 с.
183. Чудакова, Е. А. ХАССП как системный подход к идентификации, оценке и контролю безопасности пищевых продуктов в молочной промышленности / Е. А. Чудакова, Е. И. Рыжков // Новые технологии. – 2015. – № 2. – С. 29-37
184. Шелехова, Н. В. Совершенствование системы контроля технологических процессов производства спиртных напитков / Н. В. Шелехова, В. А. Поляков // Пиво и напитки. – 2017. – № 1. – С. 34-36.
185. Шобанова, Т. В. Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир / Т. В. Шобанова, А. А. Творогова // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51. – № 1. – С. 604-614.

186. Штангеев, В. О. Очистка густых полупродуктов сахарного производства / В.О. Штангеев, Е. И. Молодницкая, Е. С. Клименко // Сахар. – 2013. – № 11. – С. 44-49.
187. Штерман, С. В. Качественные характеристики сахара-песка для кондитерского производства /С. В. Штерман, М. Е. Ткешелашвили // Сахар. – 2009. – № 2. – С. 37-44.
188. Штерман, С. В. Описание связи оптимальных параметров мелассы и состава несахаров / С. В. Штерман // Сахар. – 2006. – № 1. – С. 37-39.
189. Штерман, С. В. Эффективная поверхность кристаллизации и фактор экранирования в процессах массовой кристаллизации сахарозы / С. В. Штерман, В. И. Тужилкин // Сахар. – 2008. – № 10. – С. 52-58.
190. Шумовецкий, Г. А. Гранулометрический состав затравочных материалов и кристаллов сахаров продуктовых утфелей / Г. А. Шумовецкий, М. Б. Мойсеяк // Пищевая промышленность. – 2009. – № 11. – С. 12-13.
191. Шумовецкий, Г. А. Затравочный утфель: технологические аспекты применения / Г. А. Шумовецкий // Сахар. – 2009. – № 3. – С. 39-42.
192. Шурбованный, В. Н. Осветлительное фильтрование густых сиропов на фильтр-прессах / В. Н. Шурбованный, С. М. Петров, Э. А. Жердев // Сахар. – 2017. – № 2. – С. 40-44.
193. Экспертно-информационная система выбора эффективных решений при управлении технологическими процессами сахарного производства / С. П. Гольденберг, В.И. Тужилкин, М.Б. Мойсеяк [и др.]. – М. : Издательский комплекс МГУПП, 2011. – 332 с.
194. Энциклопедия «Пищевые технологии». Т. 7. Технологии сахарной промышленности / М. И. Егорова, Л. И. Беляева, Н. М. Сапронов [и др.] – Углич : ИД «Углич», 2018. – 297 с.
195. Эффективность удаления несахаров на станции дефекосатурационной очистки в зависимости от химического состава перерабатываемой свеклы различных зон свеклосеяния / В. Н. Кухар, А. П. Чернявский, О. Н. Сластененко [и др.] // Цукор України. – 2015. – № 4. – С. 41-48.

196. Янковская, В. С. Разработка структурированных молочных продуктов с учетом данных о рекламациях и методологии квалиметрии риска / В. С. Янковская, Н. И. Дунченко, К. В. Михайлова // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52. – № 1. – С. 2-12.

197. Вплив конструктивних особливостей центрифуг BW-1500S та ФПН-1251Т-01 на процес центрифугування та якість цукру / В. М. Боровий, О. О. Серьогін, К. В. Пивоваров та ін. // Цукор України. – 2011. – № 4(64)'. – С. 43-47.

198. Гречко Н.Я., Бабич І. М., Пилипенко О.Ю. та ін. Вплив цукровмісної сировини на якість шампанських виноматеріалів // Цукор України. – 2015. – № 11-12. – С. 36-39.

199. Правила ведення технологічного процесу виробництв цукру з цукрових буряків : ПУП 15.83-37-106:2007. – К. : Цукор України, 2008. – 419 с.

200. Скорик, К.Д. Вимоги до якості цукру в країнах Європейського Союзу / К. Д. Скорик // Цукор України. – 2004. – № 1-2. – С. 33-35.

201. Сумінська, Т. Можливості використання білого цукру як сировини в інших галузях промисловості / Т. Сумінська, Б. Гаєвник // Цукор України. – 2014. – № 3. – С. 21-24.

202. Технологія цукру : підручник у 3-х т. Т. 1. / А. А. Ліпець, В. М. Логвін, К. Д. Скорик [та ін.]. – К.: ДП «Експрес-об'ява», 2015. – 288 с.

203. Чернявська, Л. І. Вимоги споживачів цукру до його якості / Л. І. Чернявська // Цукор України. – 2010. – № 1. – С. 34-39.

204. Abdel-Rahman E., Floeter E. Physico-chemical Characterization of Turbidity-Causing Particles in Beet Sugar Solutions // International Journal of Food Engineering. – 2017. – Vol. 12. – № 2. – P. 127-137.

205. Adulteration of sugar: A Growing Global Menace / К. О. Iwuozor, V. U. Anyanwu, B. O. Olaniyi [et al.] // Sugar Tech. – 2022. – Vol. 24. – P. 914-919.

206. Ahjel, S.W. Directly compressible adjuvants – a pharmaceutical approach / S. W. Ahjel, D. Lupuliasa // Farmacia. – 2008. – Vol. 56. – No. 6. – P. 591-599.

207. Antczak-Chrobot, A. Changes in technological quality of frost damaged sugar beet during storage / A. Antczak-Chrobot, P. Bak, M. Wojtczak // Sugar industry.

Zuckerindustrie. – 2017. – Vol. 142. – No. 8. – P. 471-475.

208. Awuchi, C. G. HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems / C. G. Awuchi // *Cogent Food & Agriculture*. – 2023. – Vol. 9 (1). – Article 2176280.

209. Bak, P. The content of nitrates and nitrites in the semi-products in the final stages of white sugar production process / P. Bak, A. Antczak-Chrobot, M. Wojtczak // *International Sugar Journal*. – 2017. – Vol. 119. – № 1427. – P. 876-879.

210. Bennar, M. Optimal Particle Size Distribution of White Sugar / M. Bennar, E. Betoret, T. Bojnanska [et al.] // *Listy Cukrovarnicke a Reparske*. – 2012. – Vol. 128. – № 12. – P. 385-389.

211. Camanzi, L. The evolutionary transformation of modern agri-food systems: Emerging trends in consumption, production, and in the provision of public goods / L. Camanzi, S. Troiano // *Agricultural and Food Economics*. – 2021. – No. 9. – P. 1-5.

212. Changes in the content of organic acids and inorganic anions in sugar beet during long-term storage / M. Wojtczak, A. Antczak-Chrobot, P. Bak [et al.] // *Sugar industry. Zuckerindustrie*. – 2016. – No. 12 (141). – P. 760-764.

213. Changes in the technological properties of sugar beet root crops during industrial storage in ventilated piles / M.I. Egorova, L.N. Puzanova, L.Yu. Smirnova [et al.]. // *BIO Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 37. – No. 00078.

214. Crystallization Process in the Sugar Industry: A Discussion On Fundamentals, Industrial Practices, Modeling, Estimation and Control / H. Morales, F. di Sciascio, E. Aguirre-Zapata [et al.] // *Food Engineering Reviews*. – 2024. – Vol. 16. – P. 441-469.

215. De Bruijn, J. M. Impact of beet quality on sugar manufacture. Part 1. General considerations of the technological beet quality / J. M. De Bruijn // *Sugar Industry*. – 2020. – Vol. 145. – No. 2. – P. 86-93.

216. De Bruijn, J. M. Technical accounting: sugar extraction and losses / J. M. De Bruijn // *Sugar Industry*. 2020. – Vol. 145. – No. 12. – P. 714-722.

217. De Bruijn, J. M. The fascinating sweet world of sugar technology – never a dull moment / J. M. De Bruijn // *Sugar industry*. – 2012. – No. 11. – P. 697-706.

218. Díaz-Mendez, C. Food governance and healthy diet an analysis of the conflicting relationships among the actors of the agri-food system / C. Díaz-Mendez, C. Lozano-Cabedo // *Trends in Food Science & Technology*. – 2020. – Vol. – 105. – P. 449-453.

219. Duraisam, R. Production of Beet Sugar and Bio-ethanol from Sugar beet and it Bagasse: A Review / R. Duraisam // *IJETT*. – 2017. – Vol. 43. – No. 4. – P. 222-233.

220. Effect of organic compounds on cognac sensory profile / M. N. Eliseev, I. N. Gribkova, O. A. Kosareva [et al.] // *Foods & Raw Materials*. – 2021. – Vol. 9. – No. 2. – P. 244-253.

221. Ergun, R. Moisture and shelf life in sugar confections / R. Ergun, R. Lietha, R. Hartel // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2010. – Vol. 50. – No. 2. – P. 162-192.

222. From vine to cognac / R. Cantagrel, L. Lurton, J. P. Vidal [et al.]. – In *Fermented beverage production*: Springer, 1995. New York.

223. Functionality of Sugars in Foods and Health / R.A. Clemens, J.M. Jones, M. Kern, et al. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2016. – Vol. 15. – No. 3. – P. 433-470.

224. Goldfein, K. R. Why Sugar is Added to Food: Food Science 101 / K. R. Goldfein, J. L. Slavin // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2015. – Vol. 14. – No. 5. – P. 644-656.

225. Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections / N. Konar, R. Güneş, I. Palabiyik [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. – 2022. – Vol. 123. – No. 3. – P. 57-68.

226. ICUMSA Methods Book 2019. – Berlin : Verlag Dr.A. Bartens, 2019. – 438 p.

227. Kanzler, C. Melanoidins formed by heterocyclic Maillard reaction intermediates via aldol reaction and Michael addition / C. Kanzler, P. T. Haase // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2020. – Vol. 68(1). – P. 332-339.

228. LaClair, C. E. Ingredients and pH are key to clear beverages that contain whey protein / C. E. LaClair, M. R. Etzel // *Journal of food science*. – 2010. – Vol. 75. –

No. 1. – P. 21-27.

229. Lajolo, F. M. Sugar derived from genetically modified sugarcane / F. M. Lajolo, S. M. Yokoyama, G. A. Cheavegatti // Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 41. – No. 1. – P. 1-7.

230. Langhans, B. Crystallization – a central competence, the key to success / B. Langhans // International Sugar Journal. – 2004. – Vol. 106. – No. 1265. – P. 266-268.

231. Lim, S. A. H. Statistical process control readiness in the food industry: Development of a self-assessment tool / S. A. H. Lim, J. Antony // Trends in Food Science & Technology. – 2016. – Vol. – 58. – P. 133-139.

232. Meza, B. E. Effect of temperature and composition on rheological behaviour and sagging capacity of glaze materials for foods / B. E. Meza, J-M. Peralta, S. E. Zorrilla // Journal Food Hydrocolloids. – 2021. – Vol. 117. – P. 106-689.

233. Meza, B. E. Rheological characterization of full-fat and low-fat glaze materials for foods / B. E. Meza, J-M. Peralta, S. E. Zorrilla // Journal of Food Engineering. – 2016. – Vol. 171. – P. 57-66.

234. Miller, E. Sucrose crystallization in caramel / E. Miller, R. W. Hartel // Journal of Food Engineering. – 2015. – Vol. 153. – P. 28-38.

235. Physical and chemical properties of caramel systems / M-S. Chung, R. R. Ruan, P.L. Chen [et al.] // LWT - Food Science and Technology. – 1999. – Vol. 32. – No 3. – P. 162-166.

236. 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 Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, October 31-November 2, 2024, Termez, Uzbekistan; E3S Web of Conferences, 2025. – Vol. 613. – Article 05007.

237. Škrbić, B. D. Determination of Metal Contents in Sugar Beet (*Beta vulgaris*) and Its Products: Empirical and Chemometrical Approach / B. D. Škrbić, N. Durišić-Mladenović, N. Mačvanin // Food Science and Technology Research. – 2010. – Vol. 16 (2). – P. 123-134.

238. Soon, J. M. Crowdsourcing: A new conceptual view for food safety and

quality / J. M. Soon, I. S. Saguy // Trends in Food Science & Technology. – 2017. – Vol. 66. – P. 63-72.

239. Taylor, B. Ingredients and formulation of carbonated soft drinks // In: Steen D.P., Ashurst P.R. Carbonated soft drinks: Formulation and manufacture: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Oxford, UK.

240. The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties / B. Pareyta, F. Talhaouia, G. Kerckhofs [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2009. – Vol. 90. – No. 3 – P. 400-408.

241. Van der Sman, R. G. M. Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes / R. G. M. Van der Sman, S. Renzetti // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 59. – No. 14. – P. 2225-2239.

242. Wang, R. Caramel stickiness: Effects of composition, rheology, and surface energy / R. Wang, R. W. Hartel // Journal of Food Engineering. – 2021. – Vol. 289. – P. 110-246.

243. Wu, J. Y. Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis / J. Y. Wu, H. I. Hsiao // Food Control. – 2020. – Vol. 120 (4). – Article 107501.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А**Перечень предприятий сахарной отрасли, белый свекловичный сахар
которых исследовался в рамках мониторинга**

1. ООО «Краснояржский сахарник» (Белгородская область).
2. ООО «Дмитротарановский сахарный завод» (Белгородская область).
3. ООО «Русагро-Белгород» (Белгородская область).
4. ООО «Ника сахарный завод» (Белгородская область).
5. ООО «Чернянский сахарный завод» (Белгородская область).
6. ООО «Сахар» (Брянская область).
7. ООО «Эртильский сахар» (Воронежская область).
8. ООО «Перелешинский сахарный комбинат» (Воронежская область).
9. АО «Елань-Коленовский сахарный завод» (Воронежская область).
10. АО «Лискисахар» (Воронежская область).
11. ООО «Хохольский сахарный комбинат» (Воронежская область).
12. ОАО «Ольховатский сахарный комбинат» (Воронежская область).
13. ООО «КУРСКСАХАРПРОМ» филиал Любимовский (Курская область).
14. ООО «КУРСКСАХАРПРОМ» филиал Золотухинский (Курская область).
15. АО «Сахарный комбинат Льговский» (Курская область).
16. ООО «Тёткинский сахарный завод» (Курская область).
17. АО «Промсахар» (Курская область).
18. ООО «Белсахар» (Курская область).
19. ООО «Олымский сахарный завод» (Курская область).
20. АО «Кривец-сахар» (Курская область).
21. АО «Кшенский сахарный комбинат» (Курская область).
22. ОАО «Агроснабсахар» (Липецкая область).
23. ОАО «Лебедянский сахарный завод» (Липецкая область).
24. ОАО «Добринский сахарный завод» (Липецкая область).
25. АО «АО Аврора» (Структурное подразделение «Хмелинецкий сахарный завод») (Липецкая область).

26. АО «АО Аврора» (Структурное подразделение «Боринский сахарный завод») (Липецкая область).
27. ЗАО «Грязинский сахарный завод» (Липецкая область).
28. ООО «Залегощенский сахарный завод» (Орловская область).
29. ООО «Сахарный комбинат «Колпнянский» (Орловская область).
30. ООО «ЛИВНЫ САХАР» (Орловская область).
31. АО «Сахарный комбинат «Отрадинский» (Орловская область).
32. ООО «Сотницинский сахарный завод» (Рязанская область)
33. ООО «Русагро-Тамбов» (Тамбовская область).
34. ООО «Жердевский сахарный завод» (Тамбовская область).
35. ООО «Никифоровский сахарный завод» (Тамбовская область).
36. ООО «Агроторг Товарково» (Тульская область).
37. ЗАО «Сахарный завод «Свобода» (Краснодарский край).
38. АО «Успенский сахарник» (Краснодарский край).
39. ОАО «Сахарный завод «Ленинградский» (Краснодарский край).
40. ОАО «Кристалл-2» (Краснодарский край).
41. ООО «Павловский сахарный завод» (Краснодарский край).
42. ЗАО «Тбилисский сахарный завод» (Краснодарский край).
43. ЗАО «Сахарный комбинат «Курганинский» (Краснодарский край).
44. ООО «Тимашевский сахарный завод» (Краснодарский край).
45. АО «Ставропольсахар» (Ставропольский край).
46. ОАО «Чишминский сахарный завод» (Республика Башкортостан).
47. ООО «Раевсахар» (Республика Башкортостан).
48. ОАО «Мелеузовский сахарный завод» (Республика Башкортостан).
49. ООО «Ромодановосахар» (Республика Мордовия).
50. ООО «Буинский сахарный завод» (Республика Татарстан).
51. АО «Заинский сахар» (Республика Татарстан).
52. ЗАО «Нурлатский сахар» (Республика Татарстан).

- 53. АО «Сергачский сахарный завод» (Нижегородская область).
- 54. ОАО «Атмис-Сахар» (Пензенская область).
- 55. ОАО «Земетчинский сахарный завод» (Пензенская область).
- 56. ООО «Бековский сахарный комбинат» (Пензенская область).
- 57. ОАО «Ульяновский сахарный завод» (Ульяновская область).
- 58. ОАО «Черемновский сахарный завод» (Алтайский край).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты мониторинга белого свекловичного сахара

Таблица Б. 1 – Диапазоны содержания сахарозы, %

Год	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
2019 г.	$\frac{99,80...99,89}{99,86\pm0,009}$	$\frac{99,75...99,80}{99,77\pm0,015}$	$\frac{99,70...99,91}{99,76\pm0,007}$	$\frac{99,55...99,73}{99,64\pm0,031}$
2020 г.	$\frac{99,87...99,90}{99,89\pm0,004}$	—	$\frac{99,74...99,89}{99,80\pm0,012}$	$\frac{99,50...99,71}{99,61\pm0,041}$
2021 г.	$\frac{99,80...99,98}{99,90\pm0,029}$	—	$\frac{99,70...99,93}{99,78\pm0,011}$	$\frac{99,52...99,80}{99,66\pm0,053}$

Таблица Б. 2 – Диапазоны содержания влаги, %

Год	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
2019 г.	$\frac{0,01...0,04}{0,02\pm0,004}$	$\frac{0,02...0,03}{0,03\pm0,003}$	$\frac{0,01...0,06}{0,03\pm0,002}$	$\frac{0,03...0,14}{0,06\pm0,020}$
2020 г.	$\frac{0,01...0,02}{0,02\pm0,001}$	—	$\frac{0,01...0,04}{0,02\pm0,002}$	$\frac{0,01...0,05}{0,02\pm0,008}$
2021 г.	$\frac{0,01...0,02}{0,01\pm0,002}$	—	$\frac{0,01...0,04}{0,02\pm0,001}$	$\frac{0,01...0,05}{0,02\pm0,007}$

Таблица Б. 3 – Диапазоны содержания редуцирующих веществ, %

Год	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
2019 г.	$\frac{0,01...0,01}{0,01\pm0,001}$	$\frac{0,01...0,02}{0,01\pm0,003}$	$\frac{0,01...0,04}{0,02\pm0,001}$	$\frac{0,02...0,06}{0,03\pm0,008}$
2020 г.	$\frac{0,01...0,01}{0,01\pm0}$	—	$\frac{0,01...0,04}{0,02\pm0,002}$	$\frac{0,01...0,02}{0,02\pm0,002}$
2021 г.	$\frac{0,01...0,02}{0,01\pm0,002}$	—	$\frac{0,01...0,03}{0,02\pm0,001}$	$\frac{0,01...0,03}{0,02\pm0,004}$

Таблица Б. 4 – Диапазоны содержания золы, %

Год	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
2019 г.	$\frac{0,004...0,014}{0,009\pm0,0009}$	$\frac{0,015...0,021}{0,017\pm0,0031}$	$\frac{0,010...0,036}{0,019\pm0,0010}$	$\frac{0,026...0,040}{0,034\pm0,0025}$
2020 г.	$\frac{0,006...0,012}{0,010\pm0,0001}$	—	$\frac{0,006...0,025}{0,018\pm0,0010}$	$\frac{0,029...0,039}{0,034\pm0,0076}$
2021 г.	$\frac{0,011...0,012}{0,012\pm0,0009}$	—	$\frac{0,010...0,029}{0,020\pm0,0020}$	$\frac{0,030...0,041}{0,037\pm0,0026}$

Таблица Б. 5 – Диапазоны цветности растворов, ед.опт.пл. (единиц ICUMSA)

Год	Экстра	TC1	TC2	TC3
2019 г.	$\frac{35,0...45,0}{40,3\pm1,30}$	$\frac{57,0...60,0}{58,3\pm0,88}$	$\frac{61,0...104,0}{83,3\pm2,22}$	$\frac{113,0...140,0}{131,2\pm4,85}$
2020 г.	$\frac{38,0...45,0}{41,5\pm0,30}$	–	$\frac{50,0...104,0}{93,8\pm3,97}$	$\frac{107,0...122,0}{114,5\pm15,80}$
2021 г.	$\frac{43,0...45,0}{44,1\pm0,40}$	–	$\frac{75,0...104,0}{92,0\pm1,83}$	$\frac{110,0...150,0}{132,7\pm8,22}$

Таблица Б. 6 – Диапазоны мутности растворов, ед.опт.пл. (единиц ICUMSA)

Год	Экстра	TC1	TC2	TC3
2019 г.	$\frac{1,0...11,0}{7,4\pm0,96}$	$\frac{15,0...20,0}{17,7\pm1,45}$	$\frac{11,0...67,0}{26,5\pm1,87}$	$\frac{31,0...68,0}{44,4\pm6,50}$
2020 г.	$\frac{6,0...15,0}{10,4\pm0,47}$	–	$\frac{12,0...56,0}{33,6\pm4,23}$	$\frac{29,0...43,0}{36,0\pm10,51}$
2021 г.	$\frac{8,0...11,0}{9,5\pm1,35}$	–	$\frac{11,0...53,0}{33,6\pm2,23}$	$\frac{40,0...85,0}{68,3\pm11,33}$

Таблица Б. 7 – Диапазоны водородного показателя, pH

Год	Экстра	TC1	TC2	TC3
2019 г.	$\frac{6,8...7,2}{7,0\pm0,04}$	$\frac{7,1...7,2}{7,2\pm0,03}$	$\frac{6,7...7,7}{7,2\pm0,03}$	$\frac{7,3...7,6}{7,4\pm0,06}$
2020 г.	$\frac{7,0...7,3}{7,1\pm0,01}$	–	$\frac{6,8...7,6}{7,2\pm0,08}$	$\frac{7,2...7,4}{7,3\pm0,15}$
2021 г.	$\frac{6,8...6,9}{6,9\pm0,08}$	–	$\frac{6,9...7,7}{7,3\pm0,04}$	$\frac{7,3...7,5}{7,4\pm0,06}$

Таблица Б. 8 – Диапазоны содержания кальция, мг/кг

Год	Экстра	TC1	TC2	TC3
2019 г.	$\frac{10...30}{14\pm2,2}$	$\frac{20...30}{26\pm3,2}$	$\frac{20...90}{44\pm3,0}$	$\frac{70...100}{86\pm5,1}$
2020 г.	$\frac{10...17}{12\pm0,3}$	–	$\frac{20...90}{42\pm5,8}$	$\frac{50...65}{58\pm7,5}$
2021 г.	$\frac{10...13}{12\pm1,1}$	–	$\frac{10...70}{36\pm3,1}$	$\frac{60...100}{80\pm8,7}$

Таблица Б. 9 – Диапазоны содержания диоксида серы, мг/кг

Год	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
2019 г.	$\frac{1,0...1,9}{1,4\pm0,12}$	$\frac{1,0...2,4}{1,7\pm0,41}$	$\frac{1,0...3,8}{2,2\pm0,11}$	$\frac{1,4...3,0}{2,3\pm0,32}$
2020 г.	$\frac{1,0...1,5}{1,3\pm0,07}$	–	$\frac{1,0...6,0}{2,1\pm0,33}$	$\frac{1,2...4,0}{2,6\pm0,44}$
2021 г.	$\frac{1,0...2,2}{1,5\pm0,18}$	–	$\frac{0,7...2,6}{1,8\pm0,08}$	$\frac{1,4...2,8}{2,3\pm0,24}$

Примечание: в таблицах Б.1-Б.9 в числителе приведены диапазоны варьирования показателей, в знаменателе – средняя величина.

Таблица Б. 10 – Флокулообразующая способность растворов

Год	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
2019 г.	O/100	O/100	O/62 H/26 C/7 B/5	O/60 H/40 C/0 B/0
2020 г.	O/100	–	O/35 H/50 C/15 B/0	O/0 H/100 C/0 B/0
2021 г.	O/100	–	O/38 H/56 C/6 B/0	O/0 H/67 C/33 B/0

Таблица Б. 11 – Гранулометрический состав

Год	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
2019 г.	$\frac{0,5...0,9}{26,0...27,2}$	$\frac{0,5...0,7}{27,0...30,8}$	$\frac{0,5...0,8}{30,4...40,9}$	$\frac{0,5...0,9}{35,8...43,4}$
2020 г.	$\frac{0,6...0,7}{26,2...27,0}$	–	$\frac{0,5...0,8}{31,2...38,9}$	$\frac{0,6...0,9}{36,1...40,8}$
2021 г.	$\frac{0,5...0,7}{25,0...27,0}$	–	$\frac{0,5...0,6}{30,8...35,6}$	$\frac{0,5...0,8}{37,6...45,2}$

Примечание: в таблице в числителе приведены диапазоны среднего размера кристаллов сахара, мм; в знаменателе – коэффициент неоднородности, %..

ПРИЛОЖЕНИЕ В**Перечень предприятий сахарной отрасли,
эксперты которых участвовали в анкетировании**

1. ООО «Раевсахар» (Республика Башкортостан).
2. АО «Чишминский сахарный завод» (Республика Башкортостан).
3. ООО «Буинский сахарный завод» (Республика Татарстан).
4. АО «Заинский сахар» (Республика Татарстан).
5. ОАО «Черемновский сахарный завод» (Алтайский край).
6. ООО «Ника сахарный завод» (Белгородская область).
7. ООО «Чернянский сахарный завод» (Белгородская область).
8. ООО «Сахар» (Брянская область).
9. ООО «Перелешинский сахарный комбинат» (Воронежская область).
10. АО «Елань-Коленовский сахарный завод» (Воронежская область).
11. ООО «Хохольский сахарный комбинат» (Воронежская область).
12. ООО «Эртильский сахар» (Воронежская область).
13. АО «Промсахар» (Курская область).
14. ООО «КУРСКСАХАРПРОМ» филиал Золотухинский (Курская область).
15. ООО «Олымский сахарный завод» (Курская область).
16. ООО «Залегощенский сахарный завод» (Орловская область).
17. ООО «ЛИВНЫ САХАР» (Орловская область).
18. ООО «Сахарный комбинат «Колпнянский» (Орловская область).
19. ОАО «Сахарный завод «Ленинградский» (Краснодарский край).
20. ЗАО «Тбилисский сахарный завод» (Краснодарский край).
21. ООО «Бековский сахарный комбинат» (Пензенская область).
22. ОАО «Земетчинский сахарный завод» (Пензенская область).
23. ООО «Русагро-Тамбов» (Тамбовская область).
24. ООО «Никифоровский сахарный завод» (Тамбовская область).
25. ОАО «Ульяновский сахарный завод» (Ульяновская область).

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Табличная форма анкеты опроса экспертов

Этап технологического процесса	Объект исследования (полуфабрикат)	Параметр контроля	Дополнительный показатель качества сахара							
			взвешенные частицы	pH	соли кальция	мутность	флокулообразующая способность	сапонины	крахмал	гранулометрический состав
Экстрагирование	Свекловичная стружка	Содержание сахарозы, %								
		Длина 100 г стружки, м								
		Фактор стружки								
	Свекловичный сок	pH								
		Содержание оптически активных веществ, %								
		Содержание сахарозы, %								
		Содержание сухих веществ, %								
	Диффузионный сок	Содержание сухих веществ, %								
		Содержание сахарозы, %								
		Содержание мезги, %								
		Содержание редуцирующих веществ, %								
		Содержание ВМС и коллоидов, %								
		pH								
Очистки диффузионного сока	Преддефекованный сок	Общее содержание СаО, %								
		Щелочность, % СаО								
		pH								
	Дефекованный сок	Общее содержание СаО, %								
		Щелочность, % СаО								
	Сок I сатурации фильтрованный	Щелочность, % СаО								
		pH								
	Сок II сатурации	Щелочность, % СаО								
		pH								
		Содержание сахарозы, %								
		Содержание сухих веществ, %								
		Цветность								
		Содержание солей кальция, %								
	Сироп из выпарной установки	Содержание сухих веществ, %								
		Щелочность, % СаО								
		pH								
Кристаллизация сахарозы	Утфель I кристаллизации	Содержание сахарозы, %								
		Содержание сухих веществ, %								
		pH								
	Межкристальный раствор утфеля I кристаллизации	Содержание сахарозы, %								
		Содержание сухих веществ, %								
	Оттеки I и II утфеля I кристаллизации	Содержание сахарозы, %								
		Содержание сухих веществ, %								
	Утфель II кристаллизации	Содержание сахарозы, %								
		Содержание сухих веществ, %								
		pH								

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Уравнения множественной линейной регрессии для этапа очистки диффузионного сока ООО «Промсахар»

Модели-претенденты для параметра Y_1 .

– с постоянным членом:

$$Y_1 = -0,00018 + 0,0085 X_1 + 0,00002 X_4 - 0,0042 X_6; R^2 = 0,15; R^2_k = 0; \quad (1)$$

$$Y_1 = 0,008 + 0,0271 X_1 - 0,000787 X_2 - 0,000024 X_4 - 0,0212 X_6; R^2 = 0,51; R^2_k = 0; \quad (2)$$

$$Y_1 = 0,00683 + 0,0093 X_1 + 0,003 X_3 - 0,00324 X_4 - 0,0484 X_6; R^2 = 0,89; \\ R^2_k = 0,43; \quad (3)$$

$$Y_1 = 0,01462 + 0,0371 X_1 - 0,001342 X_2 + 0,000041 X_4 - 0,000009 X_5 - 0,03515 X_6; \\ R^2 = 1; \quad (4)$$

– без постоянного члена:

$$Y_1 = 0,0085 X_1 + 0,000009 X_4 - 0,0058 X_6; R^2 = 0,86; R^2_k = 0,72; \quad (5)$$

$$Y_1 = 0,0096 X_1 - 0,000043 X_2 + 0,000034 X_4 - 0,003 X_6; R^2 = 0,86; R^2_k = 0,59; \quad (6)$$

$$Y_1 = 0,0082 X_1 - 0,000024 X_2 + 0,000068 X_4 - 0,000003 X_5 - 0,0026 X_6; \\ R^2 = 0,87; R^2_k = 0,24 \quad (7)$$

Модели-претенденты для параметра Y_2 .

– с постоянным членом:

$$Y_2 = 9,663 - 0,01077 X_5; R^2 = 0,65; R^2_k = 0,56; \quad (8)$$

$$Y_2 = 9,23 + 0,1205 X_4 - 0,01546 X_5; R^2 = 0,78; R^2_k = 0,64; \quad (9)$$

$$Y_2 = 9,5 + 0,111 X_4 - 0,01563 X_5 - 4,6 X_6; R^2 = 0,79; R^2_k = 0,48; \quad (10)$$

– без постоянного члена:

$$Y_2 = 0,028243 X_5; R^2 = 0,997; R^2_k = 0,996; \quad (11)$$

$$Y_2 = 0,404 X_4 + 0,0066 X_5; R^2 = 0,998; R^2_k = 0,996; \quad (12)$$

$$Y_2 = 0,323 X_4 - 0,0005 X_5 + 66,7 X_6; R^2 = 0,999; R^2_k = 0,997. \quad (13)$$

Модели-претенденты для параметра Y_3 .

– с постоянным членом:

$$Y_3 = -0,00744 + 0,556 X_6; R^2 = 0,59; R^2_k = 0,49; \quad (14)$$

$$Y_3 = -0,01765 + 0,5353 X_1 + 0,5224 X_6; R^2 = 0,974; R^2_k = 0,957; \quad (15)$$

$$Y_3 = -0,01395 + 0,5378 X_1 - 0,000013 X_5 + 0,5037 X_6; R^2 = 0,978; R^2_k = 0,944; \quad (16)$$

$$Y_3 = -0,01 + 0,5672 X_1 - 0,000706 X_4 + 0,00001 X_5 + 0,466 X_6; R^2 = 0,994; \\ R^2_k = 0,968; \quad (17)$$

– без постоянного члена:

$$Y_3 = 0,2329 X_6; R^2 = 0,918; R^2_k = 0,888; \quad (18)$$

$$Y_3 = 0,075 X_1 + 0,166 X_6; R^2 = 0,92; R^2_k = 0,88; \quad (19)$$

$$Y_3 = 0,503 X_1 - 0,000058 X_5 + 0,408 X_6; R^2 = 0,991; R^2_k = 0,983; \quad (20)$$

$$Y_3 = 0,5595 X_1 - 0,001021 X_4 - 0,000007 X_5 + 0,3922 X_6; R^2 = 0,997; R^2_k = 0,99. \quad (21)$$

Модели-претенденты для параметра Y_4 .

– с постоянным членом:

$$Y_4 = 41,9 - 1427 X_1; R^2 = 0,35; R^2_k = 0,19; \quad (22)$$

$$Y_4 = -1,1 - 1438 X_1 + 0,183 X_5; R^2 = 0,45; R^2_k = 0,08; \quad (23)$$

$$Y_4 = 4,7 - 1423 X_1 + 0,164 X_5 - 158 X_6; R^2 = 0,45; R^2_k = 0; \quad (24)$$

$$Y_4 = 38 - 1170 X_1 - 6,07 X_4 + 0,362 X_5 - 482 X_6; R^2 = 0,6; R^2_k = 0; \quad (25)$$

– без постоянного члена:

$$Y_4 = 591 X_1; R^2 = 0,77; R^2_k = 0,73; \quad (26)$$

$$Y_4 = -1453 X_1 + 0,1716 X_5; R^2 = 0,91; R^2_k = 0,83; \quad (27)$$

$$Y_4 = -1411 X_1 + 0,1796 X_5 - 125 X_6; R^2 = 0,91; R^2_k = 0,82; \quad (28)$$

$$Y_4 = -1140 X_1 - 4,87 X_4 + 0,425 X_5 - 220 X_6; R^2 = 0,93; R^2_k = 0,78; \quad (29)$$

Модели-претенденты для параметра Y_5 .

– с постоянным членом:

$$Y_5 = -3,91 + 684 X_1; R^2 = 0,54; R^2_k = 0,42; \quad (30)$$

$$Y_5 = -66,6 + 550 X_1 + 6,9 X_2; R^2 = 0,6; R^2_k = 0,33; \quad (31)$$

$$Y_5 = -35,0 + 644 X_1 + 6,36 X_2 - 2,17 X_4; R^2 = 0,88; R^2_k = 0,7; \quad (32)$$

$$Y_5 = -70,0 + 629 X_1 + 9,22 X_2 - 3,34 X_4 + 0,0959 X_5; R^2 = 0,96; R^2_k = 0,8; \quad (33)$$

– без постоянного члена:

$$Y_5 = 495,2 X_1; R^2 = 0,98; R^2_k = 0,97; \quad (34)$$

$$Y_5 = 674 X_1 - 0,389 X_2; R^2 = 0,98; R^2_k = 0,97; \quad (35)$$

$$Y_5 = 711 X_1 + 2,71 X_2 - 2,285 X_4; R^2 = 0,994; R^2_k = 0,988; \quad (36)$$

$$Y_5 = 744 X_1 + 2,19 X_2 - 3,13 X_4 + 0,0624 X_5; R^2 = 0,996; R^2_k = 0,987; \quad (37)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Обобщенные модели взаимосвязи дополнительных показателей качества сахара и параметров полуфабрикатов технологического процесса производства для ООО «Промсахар»

Объект исследования	Математические модели взаимосвязи	R^2	R^2_k
Свекловичная стружка	$Y_1 = 0,17 X_2$ $Y_2 = 0$ $Y_3 = 0$ $Y_4 = 0$ $Y_5 = 0$	0,94	0,88
Свекловичный сок	$Y_1 = 0,23 \cdot X_5$ $Y_2 = 0,55 X_4 + 0,34 X_5$ $Y_3 = 0,19 \cdot X_5$ $Y_4 = 0,49 X_4 + 0,20 X_5$ $Y_5 = 0,17 X_4 + 0,21 X_5$	0,92 0,94 0,90 0,94 0,98	0,85 0,88 0,81 0,94 0,96
Диффузионный сок	$Y_1 = 0,42 \cdot X_8 + 0,22 \cdot X_{10} + 0,21 X_{11} + 0,87 X_{12}$ $Y_2 = 0,15 X_{11} + 0,14 X_{12} + 0,28 X_{13}$ $Y_3 = 0,17 X_{11} + 0,20 X_{12} + 0,8 X_{13}$ $Y_4 = 0,21 X_{11} + 0,90 X_{12}$ $Y_5 = 0,11 X_{11} + 0,22 X_{12} + 0,28 X_{13}$	0,95 0,94 0,95 0,96 0,89	0,90 0,88 0,90 0,92 0,79
Преддефекованный сок	$Y_1 = 0,20 \cdot X_{14} + 0,24 \cdot X_{15}$ $Y_2 = 0,13 X_{14} + 0,14 X_{15} + 0,45 X_{16}$ $Y_3 = 0,47 X_{14} + 0,54 X_{15} + 0,39 X_{16}$ $Y_4 = 0,60 X_{15} + 0,79 X_{16}$ $Y_5 = 0,71 X_{14} + 0,52 X_{15} + 0,95 X_{16}$	0,92 0,96 0,96 0,90 0,94	0,85 0,92 0,92 0,81 0,88
Дефекованный сок	$Y_1 = 0,33 \cdot X_{17} + 0,32 \cdot X_{18}$ $Y_2 = 0,16 X_{17} + 0,28 X_{18}$ $Y_3 = 0,36 X_{17} + 0,44 X_{18}$ $Y_4 = 0,89 X_{17} + 0,77 X_{18}$ $Y_5 = 0$	0,94 0,96 0,96 0,97	0,88 0,92 0,92 0,94
Сок I ступени сатурации	$Y_1 = 0,62 \cdot X_{20}$ $Y_2 = 0,73 X_{19} + 0,65 X_{20}$ $Y_3 = 0,68 X_{19} + 0,81 X_{20}$ $Y_4 = 0,55 X_{19} + 0,75 X_{20}$ $Y_5 = 0,87 X_{19} + 0,90 X_{20}$	0,99 0,94 0,96 0,96 0,94	0,98 0,88 0,92 0,91 0,88
Сок II ступени сатурации	$Y_1 = 0,0085 X_{21} + 0,0058 X_{26}$ $Y_2 = 0,028243 X_{25}$ $Y_3 = 0,503 X_{21} + 0,000058 X_{25} + 0,408 X_{26}$ $Y_4 = 1453 X_{21} + 0,1716 X_{25}$ $Y_5 = 495,2 X_{21}$	0,86 0,99 0,99 0,91 0,98	0,72 0,99 0,98 0,83 0,97
Сироп из выпарной установки	$Y_1 = 0,14 X_{28}$ $Y_2 = 0,16 X_{28} + 0,71 X_{29}$ $Y_3 = 0,53 X_{28} + 0,62 X_{29}$ $Y_4 = 0,54 X_{28} + 0,50 X_{29}$ $Y_5 = 0,78 X_{28} + 0,59 X_{29}$	0,98 0,98 0,97 0,98 0,95	0,96 0,96 0,94 0,96 0,90
Утфель I кристаллизации	$Y_1 = 0$ $Y_2 = 0,96 X_{32}$ $Y_3 = 0,13 X_{32}$ $Y_4 = 0,21 X_{32}$ $Y_5 = 0$	0,98 0,98 0,94	0,96 0,96 0,86

Продолжение Приложения Е


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	$Y_1 = 0$ $Y_2 = 0,95 X_{39}$ $Y_3 = 0,09 X_{39}$ $Y_4 = 0,17 X_{39}$ $Y_5 = 0$	0,97 0,98 0,98	0,94 0,96 0,96
X_2 – длина 100 г стружки, м; X_4 – pH свежловичного сока, ед; X_5 – содержание оптически активных веществ в свежловичном 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 преддефектованном соке, %; X_{15} – щелочность преддефектованного сока, % СаО; X_{16} – pH преддефектованного сока, ед; X_{17} – общее содержание СаО в дефектованном соке, %; X_{18} – щелочность дефектованного 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;			

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**Акт внедрения схем контроля****технологического потока производства сахара в условиях ООО «Промсахар»**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора –
исполнительный директор

ООО «Промсахар»

 О.И. Яценко

«21» 04 2023 г.

АКТ

внедрения схем контроля технологического потока производства сахара

Настоящий акт о том, что в период производственного сезона переработки сахарной свеклы 2022-2023 гг. на ООО «Промсахар» внедрены схемы контроля технологического потока производства белого сахара из сахарной свеклы, разработанные в рамках диссертационной работы Михалевой И.С., старшего научного сотрудника ФГБНУ «Курский ФАНЦ».

Применение расширенной схемы контроля технологического потока производства белого сахара из сахарной свеклы в текущей производственной деятельности способствовало тому, что выпускаемый белый сахар полностью соответствовал требованиям безопасности и имел характеристики, удовлетворяющие требованиям фабрик холдинга «Объединенные кондитеры».

Главный технолог
ООО «Промсахар» И.Ю. Герега

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Свидетельство о регистрации электронного ресурса
«Схемы контроля технологического потока производства сахара»



ПРИЛОЖЕНИЕ И
Приказ Росстандарта
о введении в действие изменения межгосударственного стандарта
ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности»



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
(Росстандарт)**

19 апреля 2022 г.

П Р И К А З

216-ст

№ _____

Москва

О введении в действие изменения межгосударственного стандарта

В соответствии со статьей 9 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», а также с учетом протокола Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации от 31 марта 2022 г. № 149-П п р и к а з ы в а ю:

1. Ввести в действие с 1 апреля 2023 г. Изменение № 1 ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности» (далее – Изменение).
2. Управлению стандартизации обеспечить размещение информации о введенном в действие настоящим приказом Изменении на официальном сайте Росстандарта в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – официальный сайт) с учетом законодательства о стандартизации.
3. Федеральному государственному бюджетному учреждению «Российский институт стандартизации» разместить введенное в действие настоящим приказом Изменение на официальном сайте в установленном порядке.
4. Закрепить введенное в действие настоящим приказом Изменение за техническим комитетом по стандартизации № 397 «Продукция сахарной промышленности».

Руководитель

А.П.Шалаев



Подлинник электронного документа, подписанного ЭП, хранится в системе электронного документооборота федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.
СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП
Сертификат: 02A92985000BAEF7814AB38FF70B046437
Кому выдан: Шалаев Антон Павлович
Действителен: с 27.12.2021 до 27.12.2022

ПРИЛОЖЕНИЕ К

**Изменение № 1 межгосударственного стандарта
ГОСТ 12572-2015 «Сахар. Метод определения цветности»**

МКС 67.180.10

Изменение № 1 ГОСТ 12572—2015 Сахар. Метод определения цветности

Принято Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 149-П от 31.03.2022)

Зарегистрировано Бюро по стандартам МГС № 16117

За принятие изменения проголосовали национальные органы по стандартизации следующих государств: AM, AZ, BY, KG, RU, TJ, UA, UZ [коды альфа-2 по МК (ИСО 3166) 004]

Дату введения в действие настоящего изменения устанавливают указанные национальные органы по стандартизации*

Раздел 1. Заменить слово: «ед.» на «единиц».

Раздел 2. Ссылку на ГОСТ 6709 дополнить знаком сноски — ¹⁾;
дополнить сноской — ¹⁾;

«¹⁾ В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58144—2018;

заменить ссылку: «ГОСТ ISO 3696¹⁾» на «ГОСТ ISO 3696³⁾»;
сноску ¹⁾ изложить в новой редакции:

«³⁾ В Российской Федерации действует ГОСТ Р 52501—2005 (ИСО 3696:1987) «Вода для лабораторного анализа. Технические условия»;

дополнить ссылками:

«ГОСТ 12576—2014 Сахар. Методы органолептического анализа»;

«ГОСТ 18300²⁾ Спирт этиловый ректификованный технический. Технические условия»;
дополнить сноской — ²⁾;

«²⁾ В Российской Федерации действует ГОСТ Р 55878—2013 «Спирт этиловый технический гидролизный ректификованный. Технические условия».

Раздел 5. Пятый абзац. Заменить обозначение: «Кн-2—250—34» на «Кн-2—500—34»;

пятнадцатый абзац. Дополнить ссылкой: «или по ГОСТ 18300»;

восемнадцатый и девятнадцатый абзацы исключить;

дополнить абзацем (после последнего):

«Допускается применение других средств измерений и вспомогательного оборудования с метрологическими и техническими характеристиками, а также реактивов и материалов по качеству не ниже приведенных».

Пункт 6.5 после ссылки «по ГОСТ 12569» дополнить словами: «; при отборе проб в рамках производственного контроля на предприятии-изготовителе — в соответствии с порядком, установленным в программе производственного контроля».

Раздел 7. Первый абзац. Третье, четвертое перечисления изложить в новой редакции:

«Частоту переменного тока и напряжение в сети поддерживают в соответствии с инструкциями по эксплуатации средств измерений и вспомогательного оборудования»;

второй абзац исключить.

Подраздел 8.1 после слова «высушивают» дополнить словами: «при естественных условиях окружающей среды или».

Подраздел 8.2. Наименование изложить в новой редакции:

«8.2 Подготовка реактивов».

Пункт 8.2.3 исключить.

Пункт 8.3.2. Первый абзац после ссылки «по ГОСТ 17299» дополнить ссылкой: «или по ГОСТ 18300»;

второй абзац. Заменить слова: «подготовленной по 8.2.3» на «дистиллированной».

Подраздел 8.4. Первый абзац. Заменить значения: «50 г» на «100 г»; «250 см³» на «500 см³»;

* Дата введения в действие на территории Российской Федерации — 2023—04—01.

(Продолжение Изменения № 1 к ГОСТ 12572—2015)

заменить слова: «50 см³ воды по 8.2.3» на «100 см³ дистиллированной воды»;

дополнить абзацем (после первого):

«Измеряют водородный показатель раствора сахара, который должен составлять $(7,0 \pm 0,2)$ ед. pH. При необходимости требуемый водородный показатель устанавливают, добавляя растворы гидроксида натрия или соляной кислоты, приготовленные по 8.2.1 и 8.2.2»;

третий абзац исключить.

Подраздел 9.1. Наименование. Заменить обозначение: «ТС-1» на «ТС1»;

второй абзац изложить в новой редакции:

«На фотометре (спектрофотометре, фотоэлектроколориметре, фотометрическом анализаторе) устанавливают рабочую длину волны 420 нм. Фотометрическую кювету толщиной поглощающего слоя 10 см ополаскивают анализируемым раствором сахара. Наполнение кюветы и проведение измерений осуществляют в соответствии с инструкцией к прибору. Показание прибора снимают в единицах оптической плотности».

Подраздел 9.2. Наименование. Заменить обозначения: «ТС-2, ТС-3» на «ТС2, ТС3»;

второй абзац изложить в новой редакции:

«На фотометре (спектрофотометре, фотоэлектроколориметре, фотометрическом анализаторе) устанавливают рабочую длину волны 420 нм. Фотометрическую кювету толщиной поглощающего слоя 3 или 5 см ополаскивают анализируемым раствором сахара. Наполнение кюветы и проведение измерений осуществляют в соответствии с инструкцией к прибору. Показание прибора снимают в единицах оптической плотности».

Раздел 9 дополнить подразделом 9.3:

«9.3 Проведение измерений при отсутствии идентификации белого сахара по категориям

При отсутствии идентификации белого сахара по категориям, в т. ч. при проведении производственного контроля на предприятии-изготовителе, измерения проводят после определения чистоты раствора сахара по ГОСТ 12576—2014, пункт 8.3.1. При отсутствии опалесценции в растворе измерения проводят по 9.1, при наличии опалесценции — по 9.2».

Раздел 10. Первый абзац. Заменить обозначения: «ТС-1, ТС-2, ТС-3» на «ТС1, ТС2, ТС3».

(ИУС № 6 2022 г.)

ПРИЛОЖЕНИЕ Л**Акт промышленной апробации системы мониторинга технологического
потока производства белого свекловичного сахара
в производственном контроле ООО «Олымский сахарный завод»**

УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
ООО «Олымский сахарный завод»

Д.Д. Смотров
24 декабря 2024 г.



АКТ
промышленной апробации
системы мониторинга технологического потока производства белого свекловичного
сахара (сквозной контрольно-аналитической системы «Сахар»)
в производственном контроле ООО «Олымский сахарный завод»

23 декабря 2024 г.

пгт. Олымский

Комиссия в составе: главного технолога ООО «Олымский сахарный завод» Горловой Г.В., зав. лабораторией Храмцовой К.С. и старшего научного сотрудника ФГБНУ «Курский ФАНЦ» Михалева И.С. составили настоящий акт в том, что в период переработки сахарной свеклы урожая 2024 г. на ООО «Олымский сахарный завод» проведена промышленная апробация системы мониторинга технологического потока производства белого свекловичного сахара (сквозной контрольно-аналитической системы «Сахар», SKAC «Сахар»), разработанной ФГБНУ «Курский ФАНЦ».

В период сентября 2024 г. SKAC «Сахар» применялась параллельно с действующей схемой контроля предприятия. Применение SKAC «Сахар» в производственном контроле ООО «Олымский сахарный завод» показало свою эффективность: возможность прогнозирования качества и безопасности выпускаемого сахара при изменении качества сахарной свеклы; нивелирование влияния человеческого фактора при принятии управляющих воздействий, что в целом повысило достоверность контроля в режиме реального времени. Указанные преимущества позволили с октября 2024 г. до завершения производственного сезона в декабре 2024 г. полностью перейти на использование SKAC «Сахар».

Результаты промышленной апробации SKAC «Сахар» показали возможность поддержания требуемого качества белого сахара по нормативам ГОСТ 33222 «Сахар белый. Технические условия», а также по дополнительным требованиям предприятия АО «КОНТИ-РУС», куда осуществляются поставки белого сахара.

Члены комиссии:

Главный технолог ООО «Олымский сахарный завод»

Зав. лабораторией ООО «Олымский сахарный завод»

Ст. науч. сотр. ФГБНУ «Курский ФАНЦ»





Г.В. Горлова

К.С. Храмцова

И.С. Михалева