

УДК:664.12:664.1.038

Состояние и перспективы совершенствования применения технологических вспомогательных средств в производстве белого свекловичного сахара

Курский федеральный аграрный научный центр, г. Курск, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Беляева Любовь Ивановна
E-mail: belyaeva_li@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Беляева, Л.И., Пружин, М.К., Остапенко, А.В., & Сысоева, Т.И. (2023). Состояние и перспективы совершенствования применения технологических вспомогательных средств в производстве белого свекловичного сахара. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 43-58.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.469>

ПОСТУПИЛА: 06.04.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко, Т. И. Сысоева

АННОТАЦИЯ

Введение: Состояние пищевой системы производства белого свекловичного сахара в условиях загрязнения микроорганизмами, пенения, газовыделения, образования и накопления трудноудаляемых компонентов приводит к снижению качества продукции, повышению ресурсозатрат. Традиционно принимают предупреждающие меры путем использования соответствующих технологических вспомогательных средств (ТВС). Исследование роли ТВС проводят преимущественно методом сравнительных опытов с учетом знаний о механизме их функционального действия. Такой подход в перспективе не позволит объективно выявить системные изменения состояния пищевой системы, не будет способствовать ресурсосберегающему получению безопасной и качественной продукции.

Цель: Обоснование перспектив развития методических и технологических принципов рационального и безопасного применения ТВС в производстве белого свекловичного сахара.

Материалы и методы: В качестве объекта исследования рассмотрена совокупность применяемых ТВС на правах элементов пищевой системы. Результаты мета-анализа предшествующих исследований дополнены данными лабораторных опытов, которые обработаны в соответствии с алгоритмами регрессионного и дисперсионного анализа. Статистическую значимость коэффициентов регрессии определяли путем сравнения их численных значений с доверительным интервалом. Характеристика степени адекватности полученных аддитивных зависимостей получена с использованием F-критерия Фишера и коэффициента детерминации (R^2).

Результаты: Обсуждены предыдущие работы с позиций эволюционного применения ТВС и указана необходимость разработки конкретных направлений для будущих исследований. Впервые получены данные по выявлению аддитивной синергии при анализе процессов переработки сахарной свеклы с использованием ТВС. Подтверждено приведенное в публикациях адекватное применение обобщенного коэффициента желательности (D) для всех индикаторных показателей по вариантам лабораторного опыта.

Выводы: Предложены методические и технологические принципы рационального и безопасного применения ТВС, ориентированные на сбережение здоровья людей и ресурсозатрат в производстве. Перспективные исследования следует осуществлять на основе положений планирования эксперимента, получения соответствующих аддитивных зависимостей и поиска оптимальных решений, пригодных для настройки нейронной сети в системах интеллектуального управления технологическими процессами. Особое внимание должно быть обращено на разработку гигиенических нормативов и высокочувствительных методов определения остаточных количеств ТВС в белом сахаре, мелассе и жоме.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

белый свекловичный сахар; технологические вспомогательные средства; пищевая система; качество пищевой системы; безопасность средства; индикаторный показатель; аддитивное влияние

State and Prospects for Improving the Use of Technological Aids in the White Beet Sugar Production

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russian Federation

Lyubov I. Belyaeva, Mikhail K. Pruzhin, Alla V. Ostapenko, Tatyana I. Sysoeva

CORRESPONDENCE:

Lyubov I. Belyaeva

E-mail: belyaeva_li@mail.ru

FOR CITATIONS:

Belyaeva, L.I., Pruzhin, M.K., Ostapenko, A.V., & Sysoeva, T.I. (2023). State and prospects for improving the use of technological aids in the white beet sugar production. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 43-58. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.469>

RECEIVED: 06.04.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: The state of the food system for the production of white beet sugar under conditions of contamination by microorganisms, foaming, gas evolution, formation and accumulation of hard-to-remove components, leads to a decrease in the quality of the product, an increase in resource costs. Traditionally, preventive measures are taken by using appropriate technological aids (TAs). The study of the role of TAs is carried out mainly by the method of comparative experiments, taking into account knowledge about the mechanism of their functional action. Such an approach in the future will not allow to objectively identify systemic changes in the state of the food system, will not contribute to the resource-saving obtaining of safe and high-quality products.

Purpose: Justification of prospects for the development of methodological and technological principles for the rational and safe use of TAs in the white beet sugar production.

Materials and Methods: As an object of study, a set of applied TAs as elements of the food system is considered. The results of a meta-analysis of previous studies are supplemented by data from laboratory experiments, which are processed in accordance with the algorithms of regression and analysis of variance. The statistical significance of the regression coefficients was determined by comparing their numerical values with the confidence interval. The characteristic of the degree of adequacy of the obtained additive dependencies was obtained using the Fisher F-criterion and the coefficient of determination (R^2).

Results: Previous works are discussed from the point of view of the evolutionary application of TAs and the need to develop specific directions for future research is indicated. For the first time, data were obtained on the identification of additive synergy in the analysis of sugar beet processing processes using TAs. The adequate application of the generalized desirability coefficient (D) given in the publications for all indicator markers according to the variants of the laboratory experiment was confirmed.

Conclusion: Methodological and technological principles for the rational and safe use of TAs, oriented towards saving people's health and resource costs in production, are proposed. Prospective research should be carried out on the basis of the provisions of experiment planning, obtaining the appropriate additive dependencies and searching for optimal solutions suitable for setting up a neural network in intelligent process control systems. Particular attention should be paid to the development of hygienic standards and highly sensitive methods for the determination of residual amounts of TAs in white sugar, molasses and beet pulp.

KEYWORDS

white beet sugar; technological aids; food system; quality of food system; safety of aids; indicator marker; additive effect

ВВЕДЕНИЕ

Технологические вспомогательные средства (ТВС) и пищевые добавки широко и успешно используют в современных пищевых технологиях. Безусловная их польза и неоспоримый вред, недостаточная изученность требуют наличия обновляемой с течением времени доказательной основы для производства гарантированно безопасных и качественных продуктов питания. Совершенствование доказательных индикаторов должно происходить по результатам использования современных методических подходов и новых взглядов с позиции теории систем применительно к особенностям конкретной пищевой технологии.

Социально значимым пищевым продуктом, используемым как непосредственно в питании, так и в качестве сырьевой углеводной добавки для производства большинства пищевых продуктов, служит белый свекловичный сахар. Рациональное ежегодное потребление сахара в соответствии с физиологическими нормами, составляющее не более 8 кг¹, считается одним из естественных элементов здорового образа жизни людей (Канаматова, 2021). Содержание основного питательного вещества — углевода сахарозы в белом сахаре высокое, количество примесей незначительное, но микронутриентный их состав довольно широк и разнообразен. Одна часть примесей переходит из сахароносного растительного сырья; другая — возникает в результате его переработки и содержит, в том числе техногенные микропримеси в виде остаточных количеств применяемых ТВС, составляющих чужеродные компоненты пищи. Именно эти микронутриенты могут представлять риск потенциальной опасности для здоровья человека XXI века, использующего в питании сахар. Поэтому весьма актуальны исследования поведения ТВС в пищевой системе технологического потока производства сахара, их миграции в готовую продукцию.

Эволюция применения ТВС в технологии белого свекловичного сахара

В производстве российского белого сахара применяют значительный арсенал различных функциональных ТВС, которые органично вписываются в физико-химические, массообменные процессы технологии свекловичного сахара, остающейся неизменной до настоящего времени. Анализ эволюционного развития применения ТВС в отечественной технологии белого сахара в разрезе условно обозначенных трех периодов позволяет выделить следующие основные аспекты их использования. В начале формирования технологии производства сахара (XIX век) применяли известняковый камень и серу, из которых получали известковое молоко, сатурационный и сернистый газы, непосредственно участвующие в специальных технологических процессах дефекации, сатурации, сульфитации. Также применяли костяную крупку (обожженную кость животных), выполняющую роль адсорбента; твердые животные жиры, растительные масла в качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ). Для первых ТВС характерны большой расход средств, введение их в одну точку и один прием в процессы, осуществляемые в периодическом режиме; невысокая эффективность действия; отрицательное влияние на качество получаемых полуфабрикатов и, соответственно, вырабатываемого сахара; природное происхождение средств (Беляева с соавт., 2015).

По мере совершенствования технологии и техники производства сахара, развития пищевой химии (XX век) была создана современная технология белого сахара, в которой важное место отведено функциональным ТВС. В этот период значительно увеличена эффективность действия и снижен расход классических ТВС (известнякового камня, известкового молока, сатурационного и сернистого газа) за счет многократного их ввода в различные точки при разном температурно-щелочном режиме в непрерывном технологическом потоке (Сапронов, 1998). Разработаны и нашли широкое применение: специальные для сахарного производства синтетические ТВС — пеногасители на основе моноглицеридов или полиглицерина с жирными кис-

¹ Приказ Министерства здравоохранения РФ 1276. (2020). О внесении изменений в приложение к Рекомендациям по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. <https://docs.cntd.ru/document/573103551?marker=6500IL>.

лотами (ПГ-1, ПГ-2, ПГ-3), ПАВ на основе ацетилированных моноглицеридов стеариновой кислоты (АМГСК-50, АМГСК-100), ингибиторы накипеобразования (антинакипины) на основе полиакрилата натрия, ферментные препараты (декстраназа), затравочный материал (пасты, суспензии) (Головняк & Белостоцкий, 1993; Колчинский & Станиславский, 2002; Сапронова & Лукьянов, 1985; Славянский & Мойсеяк, 2007); адсорбенты (ионообменные смолы, активированный уголь, кизельгур, перлит), флокулянты, коагулянты (Hans-Rfrl Soest, 2010; Гусятинская & Липец, 2005; Олянская с соавт., 2010; Кравец & Бобровник, 2007). Расширен перечень средств внутри функциональных групп, например, используют такие химические реагенты как сода, тринатрийфосфат, гипс; линейка антимикробных средств представлена в зависимости от активного действующего вещества (четвертичные аммонийные соединения, надуксусная кислота, перекись водорода, хлор, формальдегид и др.); в основе пеногасителей — силикон (кремнийорганические соединения), оксиэтилированные жирные спирты, различные полигликоли (Осадчий, 2013; Кюрегян с соавт., 2019)².

К концу XX века сформирован перечень основных функциональных ТВС, каждая функциональная группа в свою очередь представлена разнообразным набором средств (Рябцева, 2018; Кривошеев, 2018; Беляева с соавт., 2018). Технологическая и экономическая обоснованность применяемых ТВС получила проверку в условиях реального производства и была закреплена в отраслевой научно-технической документации (технологических инструкциях, рекомендациях, учебниках) (Лосева с соавт., 2003; Бугаенко, 2008). Функциональные ТВС обладали высоким технологическим эффектом (на уровне 90–95%); большая их часть получена синтетическим путем; наметилась тенденция увеличения доли ТВС зарубежного производства; повысилось качество получаемых полуфабрикатов и белого сахара; возросли технико-экономические показатели работы сахарных заводов.

В первые десятилетия XXI века перечень ТВС продолжает расширение с учетом следующих основных особенностей этого периода. Созданные средства обладают высоким технологическим эф-

фектом (на уровне 96–99%) и продленным действием; основная их масса зарубежного производства (до 85%) (Савостин & Городецкий, 2014; Старовойтова & Терещук, 2016). Распространение получают узконаправленные ТВС, например, антимикробные средства для конкретного микробного профиля пищевой системы — для диффузионного сока из здоровой сахарной свеклы или из пораженной слизистым бактериозом, для жомпрессовой воды; пеногасители для конкретного состава пищевой системы — для диффузионного сока, полученного из разных типов диффузионных препаратов, сиропа, оттеков, транспортерно-моечной воды (Хайн с соавт., 2009; Костенко с соавт., 2014; Сотников с соавт., 2014). Создаются комплексные препараты, представляющие собой композиции из средств разной функциональной направленности и оказывающие сразу несколько технологических эффектов, например, композиции: из антимикробного средства, коагулянта и флокулянта; антимикробного средства и ферментного препарата; ПАВ и декolorанта сахара (Сотников с соавт., 2018; Сидо с соавт., 2009; Брандштеттер с соавт., 2020).

Современный набор разнообразных функциональных ТВС рассчитан на все случаи производства белого сахара с учетом обратной зависимости от технологического качества сахарной свеклы, чем оно выше, тем самих средств и их расход меньше и, наоборот, чем ниже качество сырья, тем перечень средств шире и расход их больше. В среднем расход основных ТВС на 1 т перерабатываемой сахарной свеклы составляет: 36 кг известнякового камня; 0,15 кг серы; 0,2 кг углекислого натрия; 0,2 кг тринатрийфосфата; 0,9 кг гипса; 0,2 кг антимикробных средств (формалина, хлорной извести и др.); 0,06 кг пеногасителей; 0,03 кг антинакипина; 0,01 кг ПАВ; 0,04 кг флокулянтов; 0,02 кг ферментных препаратов (Осадчий, 2013; Лосева с соавт., 2003; Бугаенко, 2008). При ориентировании на всю российскую сахарную отрасль, ежегодно перерабатывающую на уровне 40 млн т корнеплодов сахарной свеклы, очевиден масштаб ресурсного потребления ТВС в натуральном и денежном выражении.

Если ранее эволюция применения ТВС шла по пути увеличения технологического эффекта

² Методические рекомендации по применению пеногасителя Лапрол ПС-1 в сахарном производстве. (2005). Курск: ГНУ РНИИСП Россельхозакадемии.

при минимизации их расхода и улучшения качества полуфабрикатов, то в XXI веке приоритетной стала безопасность используемых ТВС для здоровья человека и природной среды. Применение ТВС регулируются Техническими регламентами Евразийского союза ТР ТС 029/2012³, ТР ТС 022/2011⁴, ТР ТС 021/2011⁵, которые направлены на обеспечение снижения потенциального риска химической контаминации пищевых продуктов. На пищевых предприятиях в обязательном порядке реализованы принципы системы управления безопасностью пищевых продуктов (НАССР); целевое применение каждого нового ТВС должно быть доказано, научно обосновано.

Исследовательский подход к безопасности и эффективности ТВС в технологии сахара

Представляя наиболее эффективный и экономичный инструментарий решения технологических проблем в производстве сахара, применение ТВС связано с возможностью миграции остаточных их количеств по технологическому потоку и включением в готовую продукцию (белый сахар, мелассу и жом), что может привести к потенциальному риску вредного (токсичного) действия на организм человека, животного при длительном потреблении продуктов; в отходы и сточные воды — к экологическим рискам. Контроль остаточных количеств большинства ТВС в готовой продукции ведется, как правило, по установленному изготовителем средства расходу, необходимому для достижения технологического эффекта, что не может гарантировать выпуск безопасной продукции. Одновременно отмечается отрицательное влияние остаточных количеств ТВС на потребительские качества белого сахара и мелассы, ограничивая их применение в качестве сырья для получения пищевых и кормовых продуктов (Петров с соавт., 2017; Хорошева с соавт., 2016; Кондратьев с соавт., 2018; Егорова, 2010).

Вместе с тем, эффективность и безопасность каждого средства, влияние его на качество полуфабрикатов, готовой продукции изготовителями

и потребителями средств исследована по отдельности и только с точки зрения достижения узкой технологической цели локального участка его применения (Кривошеев, 2018; Сотников с соавт., 2018; Митрошина с соавт., 2021). Традиционно выявляют причины неэффективного протекания процессов и получения некачественных промежуточных продуктов и принимают предупреждающие меры путем создания и использования соответствующих ТВС. В границах указанного подхода исследование роли отдельных ТВС проводят преимущественно методом сравнительного эксперимента или просто путем наблюдений с учетом теоретических научных знаний о механизме функционального действия средств. Такой подход в условиях многовариативности использования ТВС в перспективе не позволит точно и объективно выявить системные изменения состояния пищевой системы технологического потока под комплексным влиянием совместно применяемых ТВС, не будет способствовать ресурсосберегающему получению гарантированно безопасной и качественной готовой продукции.

Учитывая значительные материальные технологические затраты в производстве сахара, высокую стоимость самих средств, а также строгие требования пищевой и экологической безопасности, возникла проблема рационального и безопасного использования ТВС в технологическом потоке производства белого сахара. На основе вышеизложенного весьма актуален системный подход к решению данной проблемы, позволяющий повысить результативность ТВС при технологически адекватном их применении, и таким образом, снизить ресурсозатраты и способствовать сбережению здоровья людей при использовании в питании белого сахара.

Цель данного исследования — обоснование перспектив развития методических и технологических принципов рационального и безопасного применения ТВС в производстве белого свекловичного сахара.

³ ТР ТС 029/2012. (2012). *Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств*. <https://docs.cntd.ru/document/902359401>

⁴ ТР ТС 022/2011. (2011). *Пищевая продукция в части ее маркировки*. <https://docs.cntd.ru/document/902320347>

⁵ ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции*. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и теоретическое обоснование исследования

В качестве объекта исследования следует рассматривать пищевую систему технологического потока производства белого свекловичного сахара, основными элементами которой являются содержащиеся в ней компоненты и введенные в совокупности функциональные ТВС.

Пищевая система под действием физических, химических, биохимических и других факторов претерпевает различные изменения, приобретая вид полуфабрикатов — свекловичной стружки, диффузионного, дефекованного, сатурированных соков, сиропа, клеровок, оттеков и утфелей разных ступеней кристаллизации. Пищевая система функционирует по законам системного развития — когда изменения в одном процессе согласованы с превращениями в последующих процессах (Панфилов, 2020). Именно равновесным состоянием пищевой системы определяется эффективность протекания технологических процессов извлечения сахарозы из растительного сырья — от экстрагирования до кристаллизации. В условиях переработки здоровых корнеплодов, оптимального технологического режима и правильно применяемых ТВС формируемая пищевая система проявляет склонность к стабильности, что обеспечивает ей приобретение заданных свойств, определенный компонентный состав, нужную структуру, а в дальнейшем гарантирует качество и безопасность вырабатываемой продукции, минимальные ресурсозатраты. В условиях появления возмущающих нежелательных факторов — загрязнения микроорганизмами, пения, газовыделения, образования и накопления трудноудаляемых компонентов, неправильного применения ТВС для потенциального состояния пищевой системы становится характерна динамическая неустойчивость с последующими негативными последствиями достижения конечного результата — снижение качества готовой продукции, повышение ресурсозатрат.

Методы и инструменты

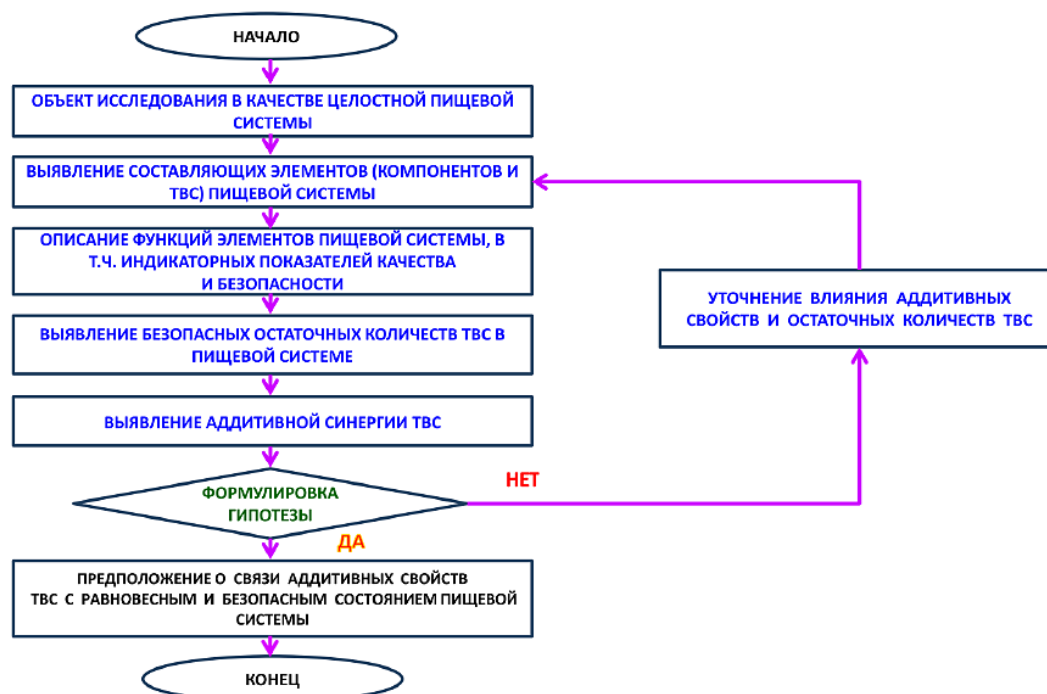
Оценку состояния пищевой системы следует проводить, используя набор индикаторных показателей качества и безопасности полуфабрикатов и готовой продукции, изменяющихся под совместным влиянием функциональных ТВС.

Совместное действие используемых разных функциональных ТВС на пищевую систему технологического потока производства сахара может быть совершенно иным, чем изолированное действие каждого средства. Известно, что комбинированное действие химических веществ, к которым относятся пищевые ингредиенты, лекарственные препараты, средства защиты растений, в большинстве случаев носит аддитивный характер, выявление которого для каждой производственной сферы имеет свои особенности в части применяемых экспериментальных подходов и математических методов. (Беляева с соавт., 2022; Богданов с соавт., 2019; Жолдакова с соавт., 2012; Бочарова-Лескина & Иванова, 2017; Нечаев с соавт., 2020). Знание о наличии аддитивной синергии открывает новый уровень эффективного использования химического вещества в комбинации. Так, в сфере применения пищевых добавок на основе аддитивного подхода осуществлено создание комплексных пищевых добавок, в т.ч. биологически активных; оценка их безвредности; получение новых продуктов питания повышенного качества и пищевой ценности (Заворохин с соавт., 2019; Осипова с соавт., 2014; Тимошенко, 2012; Харитонов с соавт., 2013). Исследования состояния пищевой системы при совместном действии пищевых добавок отнесено к одной из актуальных и малоизученных проблем пищевой химии (Алешков с соавт., 2018).

Совокупность изложенных утверждений использована для выдвижения гипотезы как научно обоснованного предположения о перспективных направлениях создания рациональных композиций ТВС для введения в пищевую систему технологического потока производства сахара, учитывающего фактические данные и предшествующие знания о закономерных связях и механизме функционирования элементов пищевой системы (Рисунок 1).

Рисунок 1

Алгоритм выдвижения гипотезы о перспективных направлениях создания рациональных композиций ТВС для введения в пищевую систему производства сахара



Как следует из Рисунка 1, целенаправленное повышение результативности применения в производстве сахара функциональных ТВС гипотетически может быть достигнуто на основе указанной последовательности экспериментальных и вычислительных действий: выбор факторов по результатам метаанализа и литературных источников и численных отсеивающих экспериментов; формирование или выбор из каталога матрицы плана опыта; проведение опыта или численного эксперимента и получение значений соответствующих индикаторных показателей равновесного и безопасного состояния пищевой системы; расчет аддитивных функций для кодированных и натуральных значений переменных и оценка уровня их адекватности; выявление эффектов действия изучаемых факторов и наличия аддитивной синергии (превышение аддитивности), позволяющей определить уровень накопительного эффекта действия средств.

Обработку данных лабораторных опытов следует вести в соответствии с алгоритмами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа. Ста-

тистическая значимость коэффициентов регрессии определяется путем сравнения их численных значений с доверительным интервалом, который не должен превышать их по величине. Для характеристики адекватности полученных уравнений регрессии служит F -критерий Фишера. Дисперсию воспроизводимости допустимо вычислять по результатам дополнительных опытов в центре плана эксперимента. Расчетный критерий Фишера ($F_{\text{расч}}$) вычисляют на основе соотношения дисперсий адекватности ($S_{\text{ад}}^2$) и воспроизводимости ($S_{\text{воспр}}^2$) по формуле: $F_{\text{расч}} = S_{\text{ад}}^2 / S_{\text{воспр}}^2$. Коэффициент детерминации (R^2) характеризовал совокупную долю вклада в вариацию отклика всех вошедших в модель факторов. Значение R^2 близкое к 1,0 до и после корректирования (R^2 и R_{adj}^2) принято считать индикатором степени соответствия модели к экспериментальным данным (Грачев & Плаксин, 2005).⁶ Показатель наименьшей существенной разности ($\text{НСР}_{0,05}$), характеризующий статистическую значимость эффектов влияния изучаемых факторов для уровня $\alpha = 0,05$, определяли по результатам дисперсионного анализа полученных данных. Эффекты

⁶ Грачев, Ю. П., & Плаксин, Ю. М. (2005) *Математические методы планирования эксперимента*. М.: ДеЛиПринт.

влияния изучаемых ТВС на изменение индикаторных показателей следует определять при помощи алгоритма Йетса (Доспехов, 2014)⁷.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выявление аддитивного влияния ТВС на индикаторные показатели качества и безопасности пищевой системы

Определение характера формирования индикаторных показателей качества и безопасности пищевой системы под совокупным влиянием используемых ТВС следует осуществлять в зависимости от функционального вида и расхода средств. Получаемое совпадение алгебраических сумм эффектов влияния каждого средства в отдельности с размахом варьирования значений индикаторных показателей качества пищевой системы будет указывать на проявление аддитивного типа действия исследуемых ТВС. В опубликованных до настоящего времени работах не обнаружено данных по выявлению аддитивной синергии при анализе процессов переработки сахарной свеклы с использованием ТВС.

В качестве примера можно привести результаты проведенных нами ранее исследований совместного применения в процессе экстрагирования сахарозы из сахарной свеклы, пораженной слизистым бактериозом, трех функциональных ТВС с соответствующим заданным расходом на 1000 т свеклы: ферментного препарата Декстрасепт 2 (фактор А) — 4, 6 и 8 кг, антимикробного средства Бетасепт (фактор В) — 1,0, 1,5, и 2,0 кг, пеногасителя Волтес ФСС 93 (фактор С) — 10, 15 и 20 кг (Беляева с соавт., 2021а; Беляева с соавт., 2021б).

Сформированные по результатам регрессионного анализа линейные и нелинейные аддитивные модели представляли собой алгебраическую сумму нескольких факторных показателей с учетом знака без эффектов двоичного взаимодействия. Полученные аддитивные уравнения регрессии (аддитивные функции) для индикаторных показателей состояния пищевой системы преимущественно не содержали эффектов взаимодействия и адекватно отражали влияние изучаемых ТВС, что подтверждено соответствующими фактическими значениями критерия Фишера ($F_{\text{факт.}}$), коэффициента детерминации до и после корректирования (R^2 и R^2_{adj}) в пределах 0,94–0,99 (Таблица 1).

Таблица 1

Аддитивные уравнения регрессии для натуральных значений факторов на примере отдельных индикаторных показателей качества пищевой системы полуфабрикатов процессов экстрагирования сахарозы, очистки и сгущения сока

Факторы	Коэффициенты регрессии аддитивных функций							
	Y_1^*	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8
0	4,32	45,14	909,67	89,90	214,4	293,1	90,40	421
A	-0,41	-0,3938	-48,00	0,5876	-22,44	-25,55	0,5876	-34,23
B	-0,445	-0,70	-107,75	0,60	-19,25	-26,25	0,60	-37,75
C	-0,0105	-3,219	-5,075	0,015	-0,70	-1,125	0,015	-1,625
AA	0,0256	x	x	-0,0375	1,406	1,275	-0,0375	1,863
CC	x	0,089	x	x	x	x	x	x
$F_{\text{факт.}}$	0,30	1,04	1,67	0,52	1,06	1,93	0,43	0,45
F_{05}	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
R^2	0,98	0,99	0,98	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
R^2_{adj}	0,97	0,99	0,97	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96

* Y_1 — содержание ВМС в диффузионном соке, % к массе СВ; Y_2 — высота столба пены диффузионного сока, см; Y_3 — мутность сока первой сатурации, мг/дм³; Y_4 — чистота сока второй сатурации, % к массе СВ; Y_5 — мутность сока второй сатурации, мг/дм³; Y_6 — цветность сока второй сатурации, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA); Y_7 — чистота сиропа, %; Y_8 — цветность сиропа, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA).

⁷ Доспехов, Б. А. (2014). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. М.: Альянс.

Подобный прогностический потенциал результатов применения математического планирования эксперимента подтвержден на примере экспериментальной отработки элементов космической техники — радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов (Ковель, 2019). В качестве перспективного направления исследований можно отметить развитие применения результатов регрессионного анализа в опциях обучения искусственной обобщенно-регрессионной нейронной сети (Шафрай с соавт., 2021; Stangierski et al., 2019). При этом следует учитывать, что создание моделей только на основе существующего алгоритма регрессионных искусственных нейронных сетей требует значительно большего количества экспериментальных данных по сравнению с результатами использования метода математического планирования эксперимента (Химченко & Шилин, 2022).

Выявленные совпадения алгебраических сумм эффектов влияния ферментного препарата Декстра-септ 2 (А), антимикробного средства Бетасепт (В) и пеногасителя Волтес ФСС 93 (С), в отдельности с размахом варьирования значений индикаторных показателей пищевой системы, характеризующих функциональное действие средств, свидетельствуют о наличии аддитивной синергии между исследуемыми средствами (Рисунок 2).

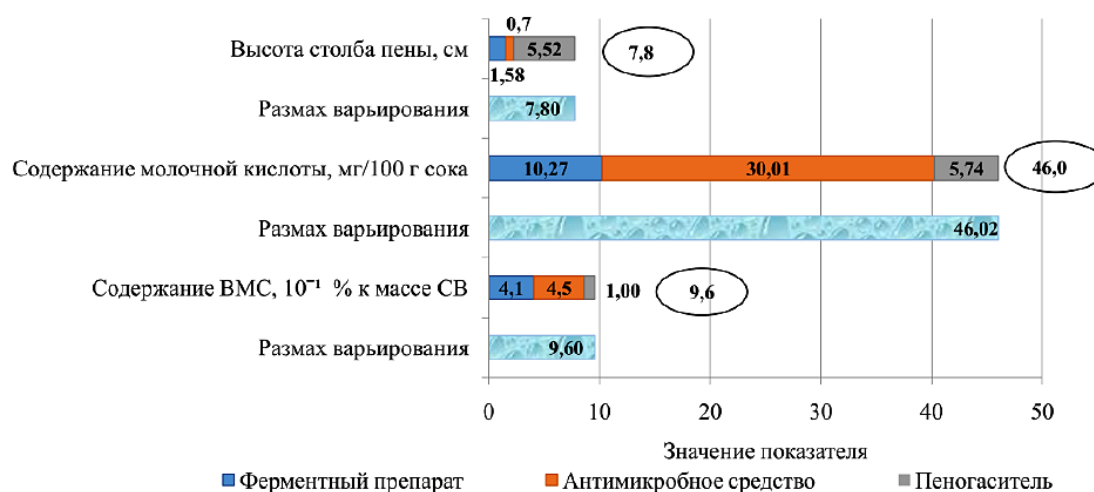
В качестве индикаторных показателей безопасности пищевой системы должны выступать содержа-

ния остаточных количеств действующих активных веществ функциональных ТВС, которые являются непосредственным фактором пищевой опасности. Доказательство безвредности или опасности того или иного ТВС является сложной и длительной задачей, решение которой связано с широким спектром направлений комплексных исследований. Согласно установленной международной практике, используемые ТВС, как и пищевые добавки, должны постоянно проходить переоценку с учетом новых научных данных об их воздействии на организм человека, природную среду, последствий их применения в пищевых системах.

Для многих применяемых в производстве сахара ТВС гигиенический норматив и стандартизованные методики определения остаточных количеств их действующих веществ отсутствуют. Давно используемыми и хорошо изученными являются антимикробное средство формалин и серосодержащие реагенты (Реми Обри & Лоранс Гасно, 2016; Егорова с соавт., 2016); только для этих ТВС установлен и регламентируется максимальный допустимый уровень: формальдегида в белом сахара — не более 0,05 мг/кг, диоксида серы в белом сахаре — не более 15 мг/кг и в мелассе — не более 70 мг/кг; имеются методики для их определения. В перспективе необходимо проведение токсиколого-гигиенической и медико-биологической оценки всех применяемых функциональных ТВС, разработка гигиенических нормативов и высокочувствительных методов

Рисунок 2

Эффекты аддитивного влияния изучаемых ТВС на снижение уровня содержания отдельных индикаторных показателей пищевой системы



количественного определения действующих веществ (остаточных количеств) средств в белом сахаре, мелассе, жоме, полуфабрикатах. При наличии методов определения появляется возможность исследовать миграцию остаточных количеств по технологическому потоку в условиях вариативности и взаимодополняемости (аддитивности) ТВС в пищевой системе.

Оценка совокупного влияния ТВС на состояние пищевой системы на основе функции желательности

Для получения консолидированной оценки влияния изучаемых совместно применяемых ТВС на индикаторные показатели качества и безопасности пищевой системы может быть использован обобщенный параметр оптимизации, представляющий собой функцию нескольких частных параметров — обобщенная функция желательности Харрингтона (D). На основе метаанализа публикаций выявлено применение указанного метода в отдельных случаях. На основе обобщенной функции желательности Харрингтона сделан вывод об оптимальных условиях подготовки питательной воды для экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки (Голыбин с соавт., 2012а). Для решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов использована обоб-

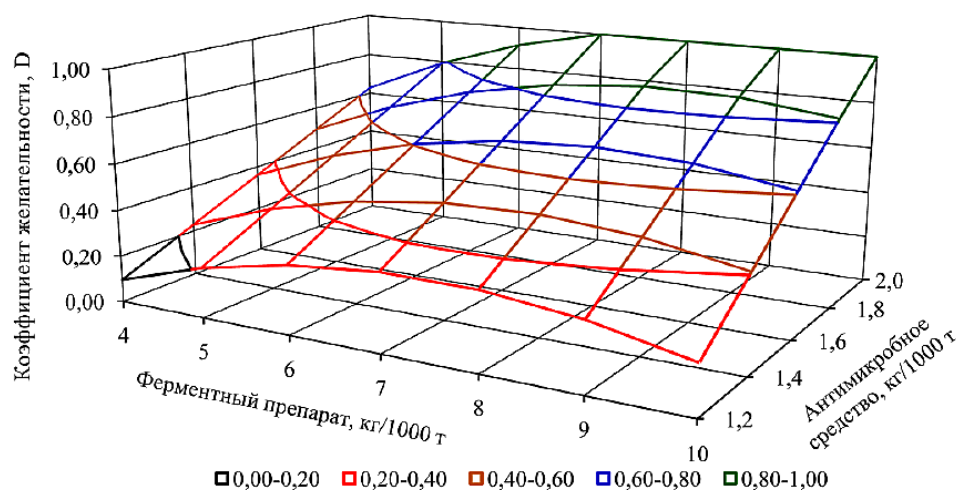
щенная функция желательности. Для построения этой функции измеренные значения откликов преобразованы в безразмерную шкалу желательности (Голыбин с соавт., 2012б; Журавлев, 2013).

Известно применение математического моделирования на основе ТПЭ, дополненное расчетом обобщенного критерия желательности в технологии и оценке качества пищевых продуктов (Бочарова-Лескина & Иванова, 2017). Частные коэффициенты желательности определяли на основе приведенной графической зависимости с использованием соответствующих реперных точек в случае расчета рецептур пищевых продуктов оптимального нутриентного состава (Нечаев с соавт., 2020). Показано получение обобщенного критерия оптимизации Харрингтона на основе регрессионных зависимостей по опытным данным, не предусматривающим предварительного планирования эксперимента экстрагирования сахарозы с применением наноразмерного гидроксида алюминия (Олишевский с соавт., 2020).

В качестве примера реализации указанного подхода на основе полученных нами численных значений 15 индикаторных показателей качества пищевой системы, формируемой под действием ферментного препарата, антимикробного средства, пеногасителя, представлена сопоставительная оценка обобщенного коэффициента желательности

Рисунок 3

Зависимость коэффициента желательности индикаторных показателей качества пищевой системы от расхода ферментного препарата и антимикробного средства на фоне пеногасителя в количестве 20 кг/1000 т сахарной свеклы



сти для всех показателей (D) по вариантам лабораторного опыта (Рисунок 3). Из данных Рисунка 3 следует, что обобщенная функция желательности (D) по всем 15 индикаторам для одностороннего ограничения соответствует уровню оптимальных (максимальных) значений при сочетании расхода ферментного препарата 6–8 кг с расходом антимикробного средства 1,8–2,0 кг на фоне пеногасителя в количестве 20 кг/1000 т сахарной свеклы. Это свидетельствует о возможности обеспечения доказательности установления расхода вводимых препаратов на основе обобщенной информации о поведении индикаторных показателей качества пищевой системы процессов получения, очистки и сгущения сока.

Разработка рациональных и безопасных композиций ТВС для введения в пищевую систему

Анализ данных об аддитивном влиянии совместно применяемых ТВС на индикаторные показатели качества и безопасности пищевой системы, оценка параметра оптимизации на основе функции желательности, а также учет механизма функционального действия ТВС, особенностей протекания технологических процессов, позволят разработать ресурсосберегающие химические и биотехнологические приемы обработки пищевой системы технологического потока, интенсифицирующие промышленную технологию переработки сахарной свеклы; создать высокоэффективные комплексные препараты, обладающие комплексом заданных функциональных свойств, для регулирования технологических процессов производства сахара.

Практические аспекты безопасного использования функциональных ТВС должны предполагать совершенствование существующей на сахарном заводе системы контроля производственного процесса (системы менеджмента безопасности белого сахара) путем введения дополнительно в нее критических контрольных точек по определению и контролю остаточных количеств выявленных опасных ТВС с обозначением их критических пределов на основе установленных потенциальных рисков попадания и миграции в пищевую систему технологического потока.

Приведенные выше результаты исследований выявленного аддитивного влияния антимикробного средства Бетасепт, пеногасителя Волтес ФСС-93 и ферментного препарата Декстрсепт 2, совместно применяемых при переработке инфицированной слизистым бактериозом сахарной свеклы, на индикаторные показатели качества пищевой системы полуфабрикатов процессов получения и очистки диффузионного сока, сгущения очищенного сока; многокритериальной оценки по шкале Харрингтона позволили интенсифицировать технологию экстрагирования сахарозы из бактериально пораженной сахарной свеклы. Предложенные приемы адресности и последовательности ввода, установленные рациональные расходы средств, обеспечивающие устойчивое состояние пищевой системы, способствовали повышению качества и выхода белого сахара на 0,25 % (Беляева с соавт., 2021a). В дальнейшем необходимы исследования миграции остаточных количеств этих средств по технологическому потоку по выше приведенному алгоритму для подтверждения безопасности установленных расходов, самой пищевой системы и, соответственно, выработанной готовой продукции.

ВЫВОДЫ

Рассмотрена эволюция применения ТВС в отечественной технологии белого сахара от классических химических реагентов до широкого ассортимента ряда средств различной функциональной направленности; обобщены результаты исследований. Предложены методические и технологические принципы рационального и безопасного применения функциональных ТВС, ориентированные на сбережение здоровья людей и ресурсозатрат в производстве.

К основным перспективным направлениям дальнейших исследований следует отнести: (1) проведение целенаправленных исследований на основе положений теории планирования эксперимента, получения соответствующих аддитивных зависимостей и поиска оптимальных решений, пригодных для настройки нейронной сети в системах интеллектуального управления процессами производства сахара; (2) токсиколого-гигиеническая оценка функциональных ТВС, разработка гигиенических нормативов и высокочувствительных

методов количественного определения действующих веществ (остаточных количеств) средств в белом сахаре, жоме, мелассе, (3) определение оптимальных и безопасных расходов и создание условий введения ТВС по обобщенным данным изменения множества индикаторных показателей качества и безопасности пищевой системы, для проявления аддитивной синергии между средствами, (4) развитие отечественного производства ТВС (их химических компонентов).

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Беляева Любовь Ивановна: руководство исследованием; концептуализация; . создание черновика рукописи, редактирование рукописи

Пружин Михаил Константинович: разработка методологии исследования, проведение исследования; создание черновика рукописи, редактирование рукописи.

Остапенко Алла Владимировна: проведение исследования; администрирование данных.

Сысоева Татьяна Ивановна: проведение исследования; визуализация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алешков, А. В., Земляк, К. Г., & Жебо, А. В. (2018). Синергетические мультиэффекты лактулозы в обогащенных продуктах питания. *Вестник Камчатского государственного технического университета*, (43), 44–54. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-44-54>
- Aleshkov, A. V., Zemlyak, K. G., & Zhebo, A. V. (2018). Synergistic multi-effects of lactulose in fortified foods. *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*, (43), 44–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-44-54>
- Беляева, Л. И., Остапенко, А. В., Лабузова, В. Н. & Сысоева, Т. И. (2018). Деколоранты сахара — новая функциональная группа технологических вспомогательных средств. *Известия вузов. Пищевая технология*, (4), 33–36. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2018.4.8>
- Belyaeva, L. I., Ostapenko, A. V., Labuzova, V. N. & Sysoeva, T. I. (2018). Sugar decolorants are a new functional group of technological aids. *News of Universities. Food Technology*, (4), 33–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2018.4.8>
- Беляева, Л. И., Пружин, М. К., & Остапенко, А. В. (2021a). Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы. *Техника и технология пищевых производств*, (3), 458–469. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-458-469>
- Belyaeva, L. I., Pruzhin, M. K., & Ostapenko, A. V. (2021a). Improvement of technological indicators of semi-finished products of sugar production from bacterially infected sugar beet. *Equipment and Technology of Food Production*, (3), 458–469. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-458-469>
- Беляева, Л. И., Пружин, М. К., Остапенко, А. В., Гурова, В. Н., & Сысоева, Т. И. (2021b). Технологические приемы ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы при производстве сахара. *Достижения науки и техники АПК*, 35(2), 25–32. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10211>
- Belyaeva, L. I., Pruzhin, M. K., Ostapenko, A. V., Gurova, V. N., & Sysoeva, T. I. (2021b). Technological techniques for inhibiting bacterial infection of the sucrose extraction process during sugar production. *Achievements of Science and Technology of Agriculture*, 35(2), 25–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10211>
- Беляева, Л. И., Пружин, М. К., Остапенко, А. В., & Сысоева, Т. И. (2022). Выявление аддитивного влияния технологических вспомогательных средств в производстве свекловичного белого сахара. *Достижения науки и техники АПК*, 36(10), 84–88. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_84
- Belyaeva, L. I., Pruzhin, M. K., Ostapenko, A. V., & Sysoeva, T. I. (2022). Identification of the additive effect of technological aids in the production of beet white sugar. *Achievements of Science and Technology of Agriculture*, 36(10), 84–88. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_84
- Богданов, Р. В., Василькевич, В. М., & Бондаренко, Л. М. (2019). Оценка комбинированного действия вредных веществ на примере формальдегида и стирола. В *Сахаровские чтения 2019 года: Экологические проблемы XXI века: Материалы 19-й международной научной конференции* (ч. 1, с. 192–195). Минск: ИВЦ Минфина.
- Bogdanov, R. V., Vasil'kevich, V. M., & Bondarenko, L. M. (2019). Evaluation of the combined effect of harmful substances on the example of formaldehyde and styrene. *Sakharov Readings 2019: Environmental problems of the XXI century: Materials of the 19th international scientific conference* (Part 1, pp. 192–195). Minsk: IVTs Minfina. (In Russ.)

- Бочарова-Лескина, А. Л., & Иванова, Е. Е. (2017). Математическое моделирование в технологии и оценке качества пищевых продуктов. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (125), 164–179. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-125-010>
- Bocharova-Leskina, A. L., & Ivanova, E. E. (2017). Mathematical modeling in technology and food quality assessment. *Polythematic Online Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, (125), 164–179. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-125-010>
- Брандштеттер, О., Гаценко, С. В., Третьяков, Д. Ю., Коваль, А. В., & Шейко, Т. В. (2020). Негативное влияние бактерий и микробных биопленок в сахарной промышленности. *Сахар*, (4), 22–26. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10402>
- Brandshtetter, O., Gatsenko, S. V., Tret'yakov, D. Yu., Koval', A. V., & Sheiko, T. V. (2020). The negative impact of bacteria and microbial biofilms in the sugar industry. *Sugar*, (4), 22–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10402>
- Бугаенко, И. Ф. (2008). *Вспомогательные химические препараты в технологии сахара*. Москва.
- Bugaenko, I. F. (2008). *Auxiliary chemicals in sugar technology*. Moscow. (In Russ.)
- Головняк, Ю. Д., & Белостоцкий, Л. Г. (1993). Новые химические вещества для оптимизации процессов. *Сахарная промышленность*, (1), 15–16.
- Golovnyak, Yu. D., & Belostotskii, L. G. (1993). New chemicals for process optimization. *Sakharnaya promyshlennost' Sugar Industry*, (1), 15–16. (In Russ.)
- Голыбин, В. А., Кульнева, Н. Г., & Федорук, В. А. (2012а). Подготовка экстрагента для процесса диффузии сахарозы методом электрохимической активации. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (2), 144–148.
- Golybin, V. A., Kul'neva, N. G., & Fedoruk, V. A. (2012а). Preparation of an extractant for the sucrose diffusion process by electrochemical activation. *VBulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, (2), 144–148. (In Russ.)
- Голыбин, В. А., Федорук, В. А., & Горожанкина, К. К. (2012б). Оптимизация способа подготовки жомпрессовой воды в импульсном магнитном поле. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (4), 115–119.
- Golybin, V. A., Fedoruk, V. A., & Gorozhankina, K. K. (2012б). Optimization of the method of preparation of compressed water in a pulsed magnetic field. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, (4), 115–119. (In Russ.)
- Гусятинская, Н. А., & Липец, А. А. (2005). Использование коагулянтов для повышения качества диффузионного сока. *Сахар*, (5), 37–40.
- Gusyatinskaya, N. A., & Lipets, A. A. (2005). The use of coagulants to improve the quality of diffusion juice. *Sugar*, (5), 37–40. (In Russ.)
- Егорова, М. И. (2010). Свеклосахарная меласса — сырье для производства кормопродуктов. *Сахар*, (2), 18–22.
- Egorova, M. I. (2010). Sugar beet molasses is a raw material for the production of feed products. *Sugar*, (2), 18–22. (In Russ.)
- Егорова, М. И., Широких, Е. В., & Кретьова, Я. А. (2016). Результаты мониторинга содержания диоксида серы в сахаре. *Сахар*, (7), 39–41.
- Egorova, M. I., Shirokikh, E. V., & Kretova, Ya. A. (2016). The results of monitoring the content of sulfur dioxide in sugar. *Sugar*, (7), 39–41. (In Russ.)
- Жолдакова, З. И., Харчевникова, Н. В., Мамонов, Р. А., & Синицына, О. О. (2012). Методы оценки комбинированного действия веществ. *Гигиена и санитария*, (2), 86–89.
- Zholdakova, Z. I., Kharchevnikova, N. V., Mamonov, R. A., & Sinitsyna, O. O. (2012). Methods for assessing the combined action of substances. *Hygiene and Sanitation*, (2), 86–89. (In Russ.)
- Журавлев, М. В. (2013). Энергосберегающая технология извлечения сахарозы из свеклы в сахарном производстве. *Фундаментальные исследования*, (11–8), 1582–1587.
- Zhuravlev, M. V. (2013). Energy-saving technology for extracting sucrose from beets in sugar production. *Fundamental Research*, (11–8), 1582–1587. (In Russ.)
- Заворохина, Н. В., Чугунова, О. В., & Минниханова, Е. Ю. (2019). Исследование синергизма тройных смесей подсластителей, применяемых для низкокалорийных сладких блюд. *Пищевая промышленность*, (9), 66–69.
- Zavorokhina, N. V., Chugunova, O. V., & Minnikhanova, E. Yu. (2019). Study of the synergism of triple mixtures of sweeteners used for low-calorie sweet dishes. *Food Industry*, (9), 66–69. (In Russ.)
- Зуев, М. Д. (1924). *Энциклопедия свекло-сахарного производства*. Киев: Сахаротрест.
- Zuev, M. D. (1924). *Encyclopedia of beet and sugar production*. Kiev: Sakharotrest. (In Russ.)
- Канаматова, Д. А. (2021). Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. *Вестник Евразийской науки*, 13(6), Статья 70ECVN621.
- Kanamatova, D. A. (2021). Ensuring food security of the Russian Federation. *Bulletin of Eurasian Science*, 13(6), Stat'ya 70ECVN621. (In Russ.)
- Ковель, А. А. (2019). Этапы информационного обеспечения разработок бортовой аппаратуры космических аппаратов. *Космические аппараты и технологии*, (3), 87–93. <https://doi.org/10.26732/j.st.2021.3.06>
- Kovel', A. A. (2019). Stages of information support for the development of onboard spacecraft equipment. *Spacecraft and Technologies*, (3), 87–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.26732/j.st.2021.3.06>
- Колчинский, Е. В., & Станиславский, Л. П. (2002). Пеногаситель ПГ-3 и затравочная суспензия ССС-Р для интенсификации процессов сахарного производства. *Сахар*, (4), 50–51.

- Kolchinskii, E. V., & Stanislavskii, L. P. (2002). Defoamer PG-3 and seed suspension CCC-R for the intensification of sugar production processes. *Sugar*, (4), 50–51. (In Russ.)
- Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Руденко, О. С. & Крылова, Э. Н. (2018). Определение источников поступления диоксида серы в кондитерские изделия. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 80(4), 203–208. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-203-208>
- Kondrat'ev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Rudenko, O. S. & Krylova, E. N. (2018). Determination of sources of sulfur dioxide intake in confectionery products. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 80(4), 203–208. (In Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-203-208>
- Костенко, Т. И., Кузнецова, М. В., Тарасов, В. Н., Лебедев, В. С., Короткова, Н. П., & Рудич, Т. В. (2014). Отечественные пеногасители для сахарного производства. *Сахар*, (5), 39–41.
- Kostenko, T. I., Kuznetsova, M. V., Tarasov, V. N., Lebedev, V. S., Korotkova, N. P., & Rudich, T. V. (2014). Domestic defoamers for sugar production. *Sugar*, (5), 39–41. (In Russ.)
- Кравец, Я. О., & Бобровник, Л. Д. (2007). Удаление солей жесткости из соков и сиропов сахарного производства фильтровальными порошками. *Сахар*, (9), 37–41.
- Kravets, Ya. O., & Bobrovnik, L. D. (2007). Removal of hardness salts from juices and syrups of sugar production by filter powders. *Sugar*, (9), 37–41. (In Russ.)
- Кривошеев, О. О. (2018). Новые возможности полимерных ТВС в производстве белого сахара. *Сахар*, (4), 60–63.
- Krivosheev, O. O. (2018). New possibilities of polymer fuel assemblies in the production of white sugar. *Sugar*, (4), 60–63. (In Russ.)
- Кухаренко, И. А. (1928). *Спутник варщика*. Киев.
- Kukharensko, I. A. (1928). *The Cook's Companion*. Kiev. (In Russ.)
- Кюрегян, Г. П., Комаров, Н. В., & Кюрегян, О. Д. (2019). Пеногасители для применения в свеклосахарном производстве. *Вестник всероссийского научно-исследовательского института жиров*, (1–2), 47–49. <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.92.76.007>
- Kyuregyan, G. P., Komarov, N. V., & Kyuregyan, O. D. (2019). Defoamers for use in sugar beet production. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Fats*, (1–2), 47–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.92.76.007>
- Лосева, В. А., Наумченко, И. С., & Ефремов, А. А. (2003). *Известь: Производство и применение в сахарной промышленности*. Воронеж: ВГТУ.
- Loseva, V. A., Naumchenko, I. S., & Efremov, A. A. (2003). *Lime: Production and application in the sugar industry*. Voronezh: VGTV. (In Russ.)
- Митрошина, Д. П., Славянский, А. А., Грибкова, В. А., Лебедева, Н. Н., Николаева, Н. В., & Мойсеяк, М. Б. (2021). Целесообразность применения пищевых ПАВ в процессах производства белого сахара. *Сахар*, (7), 39–43. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-7-39-43>
- Mitroshina, D. P., Slavyanskii, A. A., Gribkova, V. A., Lebedeva, N. N., Nikolaeva, N. V., & Moiseyak, M. B. (2021). The expediency of using food surfactants in the processes of white sugar production. *Sugar*, (7), 39–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-7-39-43>
- Нечаев, А. П., Цыганова, Т. Б., Николаева, Ю. В., Тарасова, В. В., Смирнов, Д. А., Речкин, И. В., & Шихалев, С. В. (2020). Разработки нового поколения макаронных изделий быстрого приготовления на основе применения обобщенной функции желательности Харрингтона. *Пищевая промышленность*, (4), 12–16. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10038>
- Nechaev, A. P., Tsyganova, T. B., Nikolaeva, Yu. V., Tarasova, V. V., Smirnov, D. A., Rechkin, I. V., & Shikhalev, S. V. (2020). Development of a new generation of instant pasta based on the application of the generalized Harrington desirability function. *Food Industry*, (4), 12–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10038>
- Олишевский, В. В., Хомичак, Л. М., Бабко, Е. Н., & Лементар, С. Ю. (2020). Оптимальные параметры процесса экстрагирования сахарозы с применением наноразмерного гидроксида алюминия. *Сахар*, (8), 8–11. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10801>
- Olishevskii, V. V., Khomichak, L. M., Babko, E. N., & Lementar, S. Yu. (2020). Optimal parameters of the sucrose extraction process using nano-sized aluminum hydroxide. *Sugar*, (8), 8–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10801>
- Олянская, С. П., Цырульникова, В. В., & Ровинский, А. Д. (2010). Использование флокулянтов как метод повышения эффективности очистки диффузионного сока. *Сахар*, (8), 43–48.
- Olyanskaya, S. P., Tsyru'nikova, V. V., & Rovinskii, A. D. (2010). Using flocculants as a method to increase the efficiency of diffusion juice purification. *Sugar*, (8), 43–48. (In Russ.)
- Осадчий, Л. М. (2013). Использование гипса в диффузном процессе свеклосахарного производства. *Вісник цукровиків України*, (6), 13–17.
- Osadchii, L. M. (2013). Using gypsum in the diffusion process of sugar beet production. *Bulletin of Sugar Producers of Ukraine*, (6), 13–17. (In Russ.)
- Осипова, Т. С., Журихина, Л. Н., & Цыганков, В. Г. (2014). Биотестирование на биологически активных добавок к пище на основе растительного сырья с разным соотношением компонентов. *Вопросы питания*, (3), 84–85.
- Osipova, T. S., Zhurikhina, L. N., & Tsygankov, V. G. (2014). Bioassay of biologically active food supplements based on plant raw materials with different component ratios. *Nutrition Issues*, (3), 84–85. (In Russ.)
- Панфилов, В. А. (2020). Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего. *Техника и технология пищевых производств*, 50(4), 642–649. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>
- Panfilov, V. A. (2020). Synergetic Approach to creating the technology of the future agricultural industry. *Food Production Engineering and Technology*, 50(4), 642–649.

- (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>
- Петров, С. М., Подгорнова, Н. М., Тужилкин, В. И., & Филатов, С. Л. (2017). Повышение качества свекловичного сахара до экспортного уровня. *Сахар*, (5), 30–33.
- Petrov, S. M., Podgornova, N. M., Tuzhilkin, V. I., & Filatov, S. L. (2017). Improving the quality of beet sugar to export level. *Sugar*, (5), 30–33. (In Russ.)
- Обри, Р., & Гасно, Л. (2016). Метаболический путь формальдегида в сахарном производстве и в полупродуктах. *Сахар и свекла*, (2), 21–27.
- Obri, R., & Gasno, L. (2016). The metabolic pathway of formaldehyde in sugar production and in semi-finished products. *Sugar and Beet*, (2), 21–27. (In Russ.)
- Рябцева, О. А. (2018). Обзор рынка антинакипинов для сахарного производства России. *Сахар*, (9), 24–25.
- Ryabtseva, O. A. (2018). Overview of the Anti-Scale Agents Market for the Sugar Industry in Russia. *Sugar*, (9), 24–25. (In Russ.)
- Савостин, А. В., & Городецкий, В. О. (2014). Сравнительная оценка эффективности действия антинакипинов при выпаривании соков свеклосахарного производства. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (5–6), 102–106.
- Savostin, A. V., & Gorodetskiy, V. O. (2014). Comparative assessment of the effectiveness of anti-scale agents during the evaporation of juices in beet sugar production. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, (5–6), 102–106. (In Russ.)
- Сапронова, Л. А., & Лукьянов, А. Б. (1985). Гидролиз декстрана декстраназой. *Сахарная промышленность*, (1), 31–32.
- Sapronova, L. A., & Luk'yanov, A. B. (1985). Hydrolysis of dextran by dextranase. *Sugar Industry*, (1), 31–32. (In Russ.)
- Сапронов, А. Р. (1998). *Технология сахарного производства*. М.: Колос.
- Sapronov, A. R. (1998). *Technology of sugar production*. М.: Kolos. (In Russ.)
- Сидо, О. Н., Зубик, М. В., Мойсеяк, М. Б., & Шумовецкий, Г. А. (2009). Анализ технологии получения utfelya I кристаллизации. *Сахар*, (7), 58–61.
- Sido, O. N., Zubik, M. V., Moiseyak, M. B., & Shumovetskiy, G. A. (2009). Analiz tekhnologii polucheniya utfelya I kristallizatsii. *Sugar*, (7), 58–61. (In Russ.)
- Силин, П. М. (1958). *Технология свеклосахарного и рафинадного производства*. М.: Пищепромиздат.
- Silin, P. M. (1958). *Analysis of the technology of obtaining massecuite and crystallization*. М.: Pishchepromizdat. (In Russ.)
- Славянский, А. А., & Мойсеяк, М. Б. (2007). Поверхностно-активные вещества: применение в сахарном производстве ПАВ. *Сахар*, (3), 32–35.
- Slavyanskii, A. A., & Moiseyak, M. B. (2007). Surfactants: Application in the Sugar Industry PAV. *Sugar*, (3), 32–35. (In Russ.)
- Сотников, В. А., Гадиев, Р. Р., & Рудич, Т. В. (2014). Бетасепт — антисептирующий препарат для жомопрессовой воды. *Сахар*, (8), 37–39.
- Sotnikov, V. A., Gadiev, R. R., & Rudich, T. V. (2014). Betasept — Antiseptic agent for beet pulp press Water. *Sugar*, (8), 37–39. (In Russ.)
- Сотников, В. А., Мустафин, Т. Р., Сотников, А. В., Рудич, Т. В., Wild, V., & Moisch, U. (2018). Обоснование применения ферменто-антисептирующих препаратов при переработке дефектной свеклы. *Сахар*, (4), 18–24.
- Sotnikov, V. A., Mustafin, T. R., Sotnikov, A. V., Rudich, T. V., Wild, V., & Moisch, U. (2018). Justification for the use of enzyme-antiseptic agents in the processing of defective sugar beet. *Sugar* (4), 18–24. (In Russ.)
- Старовойтова, К. В., & Терещук, Л. В. (2016). Перспективы отечественного производства микроингредиентов. *Техника и технология пищевых производств*, 41(2), 77–83.
- Starovoitova, K. V., & Tereshchuk, L. V. (2016). Prospects of domestic production of microingredients. *Technique and Technology of Food Productions*, 41(2), 77–83. (In Russ.)
- Тимошенко, Ю. А. (2012). Синергетические свойства природных фосфолипидов как эффективных эмульгаторов и биологически активных ингредиентов для нового поколения диетических продуктов. *Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки*, (2), 35–37.
- Timoshenko, Yu. A. (2012). Synergistic properties of natural phospholipids as effective emulsifiers and biologically active ingredients for the new generation of dietary products. *Food Ingredients. Raw Materials and Additives*, (2), 35–37. (In Russ.)
- Хайн, В., Резнер, Г., & Эмеррстофер, Ф. (2009). Меры по предотвращению производственных нарушений, вызванных декстраном. *Сахар и свекла*, (1), 4–12.
- Khain, V., Rezner, G., & Emerrstofer, F. (2009). Measures to prevent production disruptions caused by dextran. *Sugar and Beet*, (1), 4–12. (In Russ.)
- Харитонов, Д. В., Харитонов, И. В., & Просеков, А. Ю. (2013). Разработка концепции создания синбиотиков и синбиотических молочных продуктов. *Техника и технология пищевых производств*, 31(4), 91–94.
- Kharitonov, D. V., Kharitonova, I. V., & Prosekov, A. Yu. (2013). Development of the concept for creating synbiotics and synbiotic dairy products. *Technique and Technology of Food Production*, 31(4), 91–94. (In Russ.)
- Химченко, А. В., & Шилин, И. В. (2022). К вопросу о возможности замены моделей на основе уравнений линейной регрессии искусственной нейронной сетью для многофакторного эксперимента. В *Прикладные вопросы физики (к 120-летию со дня рождения академиков И. В. Курчатова и А. П. Александрова: Материалы национальной научно-практической конференции* (с. 112–120). Воронеж: ВГТУ.
- Khimchenko, A. V., & Shilin, I. V. (2022). On the possibility of replacing models based on linear regression equations with an artificial neural network for a multifactorial experiment. In *Applied Issues of Physics (on the 120th Anniversary of the Birth of Academicians I.V. Kurchatov and A.P. Aleksandrov: Materials of the National Scientific and*

- Practical Conference*) (p. 112–120). Voronezh: VGTU. (In Russ.)
- Хорошева, Е. В. Михайлова, И. Ю. Ремнева, Г. А., Урусова, Л. М., Филонова, Г. Л., & Головина, Т. А. (2016). Выявление причин образования осадков в безалкогольных напитках. *Пиво и напитки*, (4), 50–53.
- Khorosheva, E. V. Mikhailova, I. Yu. Remneva, G. A., Urusova, L. M., Filonova, G. L., & Golovina, T. A. (2016). Identification of the causes of sediment formation in non-alcoholic beverages. *Beer and Beverages*, (4), 50–53. (In Russ.)
- Шафрай, А. В., Сафонова, Е. А., Бородулин, Д. М., Головачева, Я. С., Ратников, С. А., & Керлос, В. Б. В. (2021). Моделирование процесса интенсификации экстракции изогумулона в роторно-пульсационном аппарате при помощи нейронных сетей. *Техника и технология пищевых производств*, 51(3), 593–603. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-593-603>
- Shafrai, A. V., Safonova, E. A., Borodulin, D. M., Golovacheva, Ya. S., Ratnikov, S. A., & Kerlos, V. B. V. (2021). Modeling the process of intensification of isohumulone extraction in a rotary-pulsation device using neural networks. *Food Production Engineering and Technology*, 51(3), 593–603. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-593-603>
- Soest, H.-R. (2010). Ионообменные смолы для обесцвечивания сахара — белоснежные кристаллы и чистый сироп. *Сахар*, (5), 53–55.
- Soest, H.-R. (2010). Ion-Exchange resins for sugar decolorization – Snow-White crystals and pure syrup. *Sugar*, (5), 53–55. (In Russ.)
- Stangierski, J., Weiss, D., & Kaczmarek, A. (2019). Multiple regression models and Artificial Neural Network (ANN) as prediction tools of changes in overall quality during the storage of spreadable processed Gouda cheese. *European Food Research and Technology*, 245, 2539–2547. (In Russ.) <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03369-y>