

Научная статья/Research article

УДК 664.1.03:577.15

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-3-252-262

Любовь Ивановна Беляева^{1✉}, Михаил Константинович Пружин²,

Алла Владимировна Остапенко³, Татьяна Ивановна Сысоева⁴

^{1,2,3,4}Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

¹belyaeva_li@mail.ru

²mihailpruzin@mail.ru

³ostapenko.al@mail.ru

⁴sysoevati@bk.ru

ОЦЕНКА СВЯЗИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СОКОВ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА С КАЧЕСТВОМ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Цель исследования – выявить уровень связи высокомолекулярных соединений (ВМС) диффузионного и очищенного соков с качеством сахарной свеклы при воздействии композиции функциональных технологических вспомогательных средств (ТВС) на пищевую систему производства сахара. Полный факториальный план численного опыта включал два фактора на четырех уровнях их варьирования. Каждый из 16 вариантов опыта отражал заданное матрицей планирования соотношение содержания растворимых несахаров сахарной свеклы (фактор А) и общей дозы композиции ТВС, включающей ферментный препарат, антимикробное средство и пеногаситель (фактор В). Статистически значимое влияние взаимодействия изучаемых факторов на ВМС технологических соков в пищевой системе установлено только на средних уровнях их варьирования. Выявлена доля вклада изучаемых факторов в варьирование ВМС диффузионного и очищенного соков: значительный вклад вносило содержание растворимых несахаров сахарной свеклы, доля которых находилась на уровне соответственно 73,5 и 68,6 %; уровень влияния общей дозы композиции ТВС был средним – 21,9 и 22,8 %. Адекватное отражение совокупного влияния содержания растворимых несахаров и композиции ТВС на численные значения ВМС технологических соков получено соответствующими регрессионными уравнениями. Представленные на их основе поверхности отклика свидетельствовали о закономерном увеличении содержания ВМС в соках при увеличении концентрации растворимых несахаров в сахарной свекле, а применяемая композиция функциональных ТВС в средних и максимальных общих дозах приводила к снижению содержания ВМС в соках. О высокой степени соответствия расчетных и лабораторных результатов свидетельствовал коэффициент детерминации регрессионных уравнений R^2 – 0,902 и 0,996. Выявленные зависимости могут найти применение для прогнозного расчета ВМС диффузионного и очищенного соков по содержанию в них сахарозы с высоким уровнем адекватности (R^2 – 0,958 и 0,989).

Ключевые слова: растворимые несахара, высокомолекулярные соединения, сахарная свекла, пищевая система производства сахара, технологический сок, регрессионный анализ

Для цитирования: Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., и др. Оценка связи высокомолекулярных соединений технологических соков производства сахара с качеством сахарной свеклы // Вестник КрасГАУ. 2026. № 3. С. 252–262. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-3-252-262.

Финансирование: работа выполнена в рамках Государственного задания НИР № FGZU-2023-0002 Министерства науки и высшего образования РФ на период 2023–2027 гг.

Lyubov Ivanovna Belyaeva^{1✉}, Mikhail Konstantinovich Pruzhin², Alla Vladimirovna Ostapenko³, Tatyana Ivanovna Sysoeva⁴

1,2,3,4Kursk Federal Agrarian Scientific Center, Kursk, Russia

¹belyaeva_li@mail.ru

²mihailpruzin@mail.ru

³ostapenko.al@mail.ru

⁴sysoevati@bk.ru

EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN HIGH-MOLECULAR-WEIGHT COMPOUNDS IN PROCESSING JUICES AND SUGAR BEET QUALITY

The aim of the study is to identify the relationship between the high-molecular-weight compounds (HMWC) of diffuse and purified juices and the quality of sugar beet under the influence of a composition of functional technological processing aids (TPAs) on the food system of sugar production. The full factorial design of the numerical experiment included two factors at four levels of their variation. Each of the 16 experimental variants reflected the ratio of the content of soluble non-sugars of sugar beet (factor A) and the total dose of the TPA composition, including an enzyme preparation, an antimicrobial agent and an anti-foam agent (factor B), specified by the planning matrix. A statistically significant effect of the interaction of the studied factors on the HMWC of process juices in the food system was established only at the average levels of their variation. The share of the contribution of the studied factors to the variation in the HMWC of diffuse and purified juices was revealed: a significant contribution was made by the content of soluble non-sugars of sugar beet, the share of which was at the level of 73.5 and 68.6 %, respectively; The level of influence of the total dose of the TPA composition was average – 21.9 and 22.8 %. An adequate reflection of the combined influence of the content of soluble non-sugars and the TPA composition on the numerical values of the HMWC of process juices was obtained using the corresponding regression equations. The response surfaces presented based on these data indicated a consistent increase in the HMWC content in juices with increasing concentrations of soluble non-sugars in sugar beet, while the applied functional HMWC composition at average and maximum total doses resulted in a decrease in the HMWC content in juices. A high degree of agreement between the calculated and laboratory results was demonstrated by the determination coefficients of the regression equations: $R^2 = 0.902$ and 0.996 . The identified relationships can be used to predict the HMWC content of diffused and purified juices based on their sucrose content with a high level of adequacy ($R^2 = 0.958$ and 0.989).

Keywords: soluble non-sugars, high-molecular-weight compounds, sugar beet, sugar production system, process juice, regression analysis.

For citation: Belyaeva LI, Pruzhin MK, Ostapenko AV, et al. Evaluation of the relationship between high-molecular-weight compounds in processing juices and sugar beet quality. *Bulletin of KSAU*. 2026;(3):252-262. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-3-252-262.

Funding: the work was carried out within the framework of the State Research Assignment No. FGZU-2023-0002 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the period 2023–2027.

Введение. Сахарная свекла – сахароносное растительное сырье, используемое для промышленного производства пищевого продукта белого сахара. В ее состав кроме сахарозы входит множество других компонентов, обобщенно называемых несахарами. С точки зрения технологии производства сахара, направленной на получение высокоочищенного продукта, наиболее значимыми считают несахара клеточного сока сахарной свеклы или растворимые несахара, которые в той или иной степени отрицатель-

но влияют на функционирование пищевой системы, протекание технологических процессов, выход сахара, его качество и свойства.

Из числа растворимых несахаров наибольшего внимания заслуживает группа химических веществ коллоидной дисперсности, находящихся в основном в форме высокомолекулярных соединений (ВМС) в количестве 0,40–2,50 % к массе свеклы [1]. Они представлены преимущественно органическими соединениями: белковыми и пектиновыми веществами, полисахари-

дами, оказывающими влияние на пенообразующие и вязкостные свойства пищевой системы производства сахара. В пищевую систему ВМС поступают вместе с клеточным соком в процессе экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки; при известково-углекислотной очистке основная их масса удаляется, но в очищенном соке остаются устойчивые фракции, переходящие в последующие процессы сгущения сока и кристаллизации сахарозы. При этом незначительное их количество, характерное для здоровой сахарной свеклы, не оказывает негативного влияния на функционирование пищевой системы. Повышенное содержание ВМС, связанное с ухудшением качества корнеплодов (инфицированием, хранением), приводит к увеличению количества пены и вязкости в пищевой системе, нарушению ее равновесия, что тормозит протекание всех технологических процессов [2–4]. Остаточные количества ВМС могут включаться в кристаллы белого сахара, оказывая отрицательное воздействие на его потребительские свойства – потерю прозрачности и повышение флокуло- и пенообразующей способности растворов сахара [5, 6]. Функционально-технологические свойства такого сахара как сырьевого ингредиента для продуктов питания снижаются, что создает проблемы в пищевых технологиях [7].

Наиболее технологически проблемные ВМС представлены полисахаридами в форме декстрана (полимер глюкозы) и левана (полимер фруктозы), являющимися продуктами жизнедеятельности слизиобразующих бактерий рода *Leuconostoc mesenteroides* и *Bacillus* [8]. Слизистый бактериоз – типичное заболевание сахарной свеклы в периоды вегетации и хранения, особенно при подмораживании и оттаивании корнеплодов, которое может продолжить свое активное развитие в благоприятных условиях первичных процессов технологической линии производства сахара. Бактериальные полисахариды хорошо растворимы в воде, поэтому в процессе экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки они свободно переходят в диффузионный сок. В процессе его очистки под действием извести они образуют желеобразные комплексные соединения, которые затрудняют процесс фильтрования технологических соков и сиропа; замедляют процессы кристаллизации сахарозы и центрифугирования утфелей [9]. В результате наблюдается увеличение ресурсо-

затрат, повышение потерь сахарозы, снижение потребительских свойств белого сахара – появление мутности раствора сахара, ухудшение кристаллоструктуры, увеличение степени риска его инфицирования [10].

Для устранения образования и удаления указанных биополимеров используют технологические вспомогательные средства (ТВС) – ферментные препараты классов декстраназы и леваназы, антимикробные средства и пеногасители, которые вводят в пищевую систему в процессе экстрагирования сахарозы [11, 12]. Представленная совокупность (композиция) ТВС, выступая в качестве фактора стабильности пищевой системы, переводит ее в устойчивое равновесное состояние за счет функционального действия средств – разрушения полисахаридов, подавления жизнедеятельности микроорганизмов, снижения образования пены и ее удаления. В результате дальнейший формат пищевой системы в процессах известково-углекислотной очистки диффузионного сока приближен к устойчивому состоянию, характерному для здоровой сахарной свеклы. О нормальном, равновесном функционировании пищевой системы свидетельствуют достижения заданных значений показателей ее стабильности, в качестве которых выступают: содержание сахарозы, эффект очистки, содержание молочной кислоты, рН, мутность, цветность технологических соков.

Цель исследования – выявить уровень связи ВМС диффузионного и очищенного соков с качеством сахарной свеклы при воздействии композиции функциональных ТВС на пищевую систему производства сахара.

Задачи: установление закономерности изменения содержания ВМС технологических соков во взаимосвязи с состоянием пищевой системы в зависимости от содержания растворимых несахаров сахарной свеклы и общей дозы применяемой композиции ТВС методом численного эксперимента; определение уровня соответствия расчетных результатов фактическим значениям лабораторного опыта.

Объекты и методы. Объектом исследований служили здоровые свежескопанные и хранившиеся корнеплоды сахарной свеклы, в т. ч. образцы сахарной свеклы, выращенной в Курской области в 2024 и 2025 гг. Последние включали совокупности корнеплодов различных районированных гибридов (Бриз, Эйфория, Ре-

кордина, БТС-590, Волна и др.), возделываемых по интенсивной технологии с последующим хранением в кагатах. Корнеплоды сахарной свеклы были ранжированы в зависимости от чистоты клеточного сока и доли пораженных слизистым бактериозом: соответственно ранг качества: 0 – более 90,1 %, отсутствуют; 1 – 89,1–90,0 и 1 %; 2 – 88,1–89,0 и 6 %; 3 – 86,1–88,0 и 10 %; 4 – 84,1–86,0 и 15 % [13]. Численный опыт включал два фактора на четырех уровнях их варьирования. Каждый из 16 вариантов факториального численного опыта отражал заданное матрицей планирования соотношение содержания растворимых несахаров (9,9; 11,9; 13,9 и 15,9 % к массе СВ – фактор А) и общей максимальной, средней, минимальной и ниже минимального уровня дозы композиции препаратов (7,5; 15,0; 22,5 и 30,0 кг/1000 т свеклы – фактор В). Дозы препаратов устанавливали согласно технологической документации по их применению. Каждая отдельная композиция ТВС, вводимая в пищевую систему процесса экстрагирования сахарозы, включала следующие дозы препаратов: ферментный препарат «Декстрасепт 2» по ТУ 20.14.64-001-09265941-2017 соответственно 2,0; 4,0; 6,0 и 8,0 кг/1000 т свеклы; антимикробное средство «Бетасепт» по ТУ 2381-001-92287788-2014 – 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 кг/1000 т свеклы; пеногаситель «Волтес ФСС 93» по ТУ 2226-100-34686523-09 – 5,0; 10,0; 15,0 и 20,0 кг/1000 т свеклы.

В качестве зависимых переменных параметров приняты предполагаемые численные значения содержания ВМС в клеточном, диффузионном и очищенном соках, % к массе СВ, и показатели стабильности пищевой системы – содержание сахарозы и редуцирующих веществ в диффузионном и очищенном соках, % к массе СВ; рН диффузионного сока; эффект очистки на диффузии; мутность очищенного сока, мг/дм³. Численные значения выше приведенных показателей были получены по результатам мета-анализа данных литературных источников и по собственным результатам исследований на основе экспертной оценки с учетом уровня влияния функциональных ТВС – положительного, отрицательного, допустимых и пороговых значений, характера взаимосвязи между показателями и других факторов [1–4, 8, 12, 14–16].

Результаты численного эксперимента сравнивали с фактическими данными, полученными при проведении процесса экстрагирования са-

харозы из свекловичной стружки в условиях лабораторного опыта. Лабораторный опыт проводили путем физического моделирования процесса экстрагирования сахарозы (Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства. М.: ЦНИИТЭИ пищепром, 1985. 372 с.) по следующей методике. Освобожденные от примесей корнеплоды сахарной свеклы отмывали и изрезывали в стружку желобчатой формы толщиной 0,5–1,0 мм специальным лабораторным свеклорезным ножом. На свекловичную стружку вносили заданную дозу ферментного препарата «Декстрасепт 2» путем распыления, затем добавляли экстрагент – подогретую до температуры 80–90 °С и подкисленную серной кислотой до рН 5,5–6,0 водопроводную воду в соотношении стружка : вода как 1 : 1. Смесь нагревали на водяной бане, процесс экстрагирования проводили при температуре 68–72 °С с последовательным вводом в начале процесса заданных доз антимикробного средства «Бетасепт» и затем пеногасителя «Волтес ФСС 93» при периодическом перемешивании. Полученный диффузионный сок очищали от мезги, пропуская через сито. Эксперименты проводились в 3-кратной повторности. Содержание ВМС и показатели стабильности пищевой системы определяли по общепринятым в сахарном производстве методикам (Инструкция по химико-техническому контролю и учету сахарного производства. Киев: ВНИИСП, 1983. 476 с.).

Для обработки данных использовали соответствующие алгоритмы дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа. Статистическую значимость коэффициентов регрессии оценивали на основе t-критерия при $\alpha = 0,05$ и уровня р-значения. Для характеристики адекватности полученных уравнений регрессии служил F-критерий Фишера. Расчетный критерий Фишера ($F_{расч}$) вычисляли на основе соотношения дисперсий адекватности ($S^2_{ад}$) и воспроизводимости ($S^2_{воспр}$). Коэффициент детерминации (R^2) характеризовал совокупную долю вклада в вариацию отклика всех вошедших в модель факторов. Значение R^2 , близкое к 1,0, принято считать индикатором степени соответствия модели экспериментальным данным [17]. Эффекты влияния изучаемых ТВС на изменение показателей рассчитывали при помощи алгоритма Йетса. Показатель наименьшей существенной разности ($HCP_{0,05}$), характеризующий статисти-

ческую значимость эффектов влияния изучаемых факторов, определяли по результатам дисперсионного анализа данных опыта [18]. Статистическую обработку данных проводили в соответствии с методами описательной статистики и регрессионного анализа в среде табличного процессора MS Excel, а также с помощью функций и специальных опций Excel Statistical (XLSTAT).

Результаты и их обсуждение. Численные значения исследуемых показателей по вариантам опыта приведены в таблице 1. Результаты корреляционного анализа содержания ВМС диффузионного (ВМС_{диф}) и очищенного соков (ВМС_{очищ}) и показателей стабильности пищевой системы свидетельствовали о наличии значимой тесной связи (по шкале Чеддока) между ними. Весьма высокая положительная связь обнаружена между содержанием ВМС диффузионного и очищенного соков и мутностью очищенного сока ($M_{очищ}$, мг/дм³), соответственно

r 0,977 и 0,971, а с содержанием сахарозы в соках – отрицательная: диффузионном (соответственно r –0,948 и –0,932) и очищенном (соответственно r –0,987 и –0,979). Выявленная высокая корреляция подтверждена ранее полученными нами данными [12, 15] и согласовывается с результатами других исследователей [6, 8, 14]. Показатель стабильности пищевой системы в виде уровня мутности очищенного сока обусловлен в основном наличием в ней несоагулировавших ВМС, большая часть которых бактериального происхождения. Они негативно влияют на протекание процессов экстрагирования сахарозы и известково-углекислотной очистки, и, соответственно, на полноту извлечения и сохранения целевого компонента по технологическому потоку. Поэтому, чем большее количество ВМС содержится в диффузионном и очищенном соках, тем меньше в них содержание сахарозы.

Таблица 1

Значения исследуемых показателей по вариантам численного опыта
Values of the studied indicators for variants of numerical experiment

Вариант опыта	Фактор А (НСХ, % к массе СВ)	Фактор В (общая доза комбинации ТВС, кг/1000 т свеклы)	ВМС _{диф}	ВМС _{очищ}	СХ _{диф}	СХ _{очищ}	$M_{очищ}$ мг/дм ³
			% к массе СВ				
1	9,9	7,5	2,82	1,41	90,9	92,6	120
2	11,9	7,5	3,71	2,01	88,8	90,8	161
3	13,9	7,5	5,09	4,12	85,6	87,7	202
4	15,9	7,5	6,52	4,65	83,8	85,2	252
5	9,9	15,0	1,85	1,01	92,1	94,6	92
6	11,9	15,0	2,62	1,46	89,2	92,3	118
7	13,9	15,0	3,49	2,33	87,1	90,4	161
8	15,9	15,0	5,32	3,01	85,2	88,2	196
9	9,9	22,5	1,58	0,84	92,3	94,8	80
10	11,9	22,5	2,35	1,27	89,7	92,9	109
11	13,9	22,5	3,11	2,06	87,8	91,2	148
12	15,9	22,5	4,99	2,79	86,0	89,1	171
13	9,9	30,0	1,50	0,72	92,4	94,9	72
14	11,9	30,0	2,09	1,13	90,2	93,3	105
15	13,9	30,0	2,99	1,89	88,1	91,5	131
16	15,9	30,0	4,19	2,62	86,2	89,5	152

Статистически значимое влияние взаимодействия изучаемых факторов на ВМС диффузионного и очищенного соков установлено только на средних уровнях их варьирования. Из таблицы 2 видно, что влияние содержания раство-

римых несахаров сахарной свеклы проявилось в увеличении содержания ВМС, что обусловлено в основном микробиологическим состоянием корнеплодов, которое имеет тенденцию ухудшения в ряду рангов качества от 0 до 4. В ре-

зультате происходит изменение химического состава корнеплодов за счет появления продуктов метаболизма микроорганизмов – высокомолекулярных полисахаридов, редуцирующих веществ, органических кислот, в основном молочной [8]. Снижение содержания ВМС происходит под аддитивным влиянием применяемой композиции ТВС, которая осуществляет ингибирование микробиологической зараженности пищевой системы в процессе экстрагирования сахарозы за счет результативного согласованного воз-

действия на систему индивидуальных технологических эффектов композиции средств – гидролизующего высокомолекулярные полисахариды ферментного препарата, дезинфицирующего антимикробного средства и пеногасящего [12]. Указанное позволило пищевой системе в данном процессе приобрести равновесие, стабильность и далее сохранять свою устойчивость в процессах известково-углекислотной очистки диффузионного сока.

Таблица 2

Средние эффекты действия и взаимодействия изучаемых факторов для ВМС технологических соков
Average main and interaction effects of the studied factors on HMWC in processing juices

Показатель	Уровень варьирования	A	B	AB
ВМС _{диф}	–	0,76	–1,22	–0,14
	0	1,73	–1,53	–0,54
	+	3,32	–1,84	–0,38
	НСР ₀₅	0,36	0,36	0,18
ВМС _{очищ}	–	0,47	–1,10	–0,13
	0	1,61	–1,31	–1,11
	+	2,27	–1,46	–0,97
	НСР ₀₅	0,61	0,61	0,30

Выявлена доля вклада изучаемых факторов в варьирование ВМС диффузионного и очищенного соков: значительный вклад вносило содержание растворимых несахаров сахарной свеклы

(73,5 и 68,6 % соответственно); а влияние общей дозы композиции ТВС составило 21,9 и 22,8 %.

Далее были получены регрессионные уравнения:

$$ВМС_{диф} = 5,552 - 0,657A - 1,348B + 0,052AA + 0,004BB - 0,0072AB, \quad (1)$$

$$F_{факт} = 0,989; F_{табл} = 2,40; R^2_{норм} = 0,98; p\text{-значение} = 0,509.$$

$$ВМС_{очищ} = -3,353 + 0,602A - 0,078B + 0,004BB - 0,011AB, \quad (2)$$

$$F_{факт} = 0,946; F_{табл} = 2,40; R^2_{норм} = 0,93; p\text{-значение} = 0,542.$$

Уравнения регрессии адекватно отражали совокупное влияние содержания растворимых несахаров сахарной свеклы и общей дозы композиции ТВС на содержание ВМС диффузионного и очищенного соков. Это подтверждено соответствующим уровнем критерия Фишера ($F_{факт}$), коэффициентов детерминации ($R^2_{норм}$) и p -значения.

Достигнутый методом численного эксперимента уровень формализации пищевой системы позволил получить соответствующие поверхности отклика регрессионных моделей ВМС диффузионного и очищенного соков от количес-

тва растворимых несахаров сахарной свеклы и общей дозы композиции ТВС (рис. 1).

Представленные на рисунке 1 (а, б) поверхности отклика свидетельствуют о закономерном увеличении содержания ВМС в диффузионном и очищенном соках при увеличении количества растворимых несахаров сахарной свеклы; применяемая композиция функциональных ТВС в средних и максимальных общих дозах оказывала положительное влияние на снижение содержания ВМС в технологических соках, что согласуется с научными данными [12, 15].

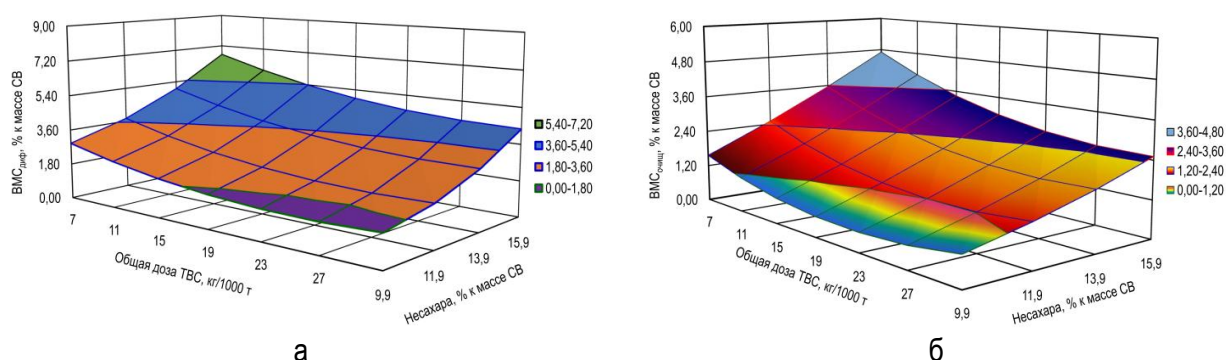


Рис. 1. Зависимости содержания ВМС в диффузионном (а) и очищенном соках (б) от содержания растворимых несахаров сахарной свеклы и общей дозы композиции ТВС
 Dependence of HMWC content in diffusion juice (a) and purified juice (b) on soluble non-sugars content in sugar beet and total dosage of the TPAs composition

Для определения сопоставимости результатов численного опыта получены экспериментальные данные в лабораторных условиях в процессе экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки. Фактические значения ВМС диффузионного сока из сахарной свеклы рангов 0, 3 и 4 и дополнительных показателей ста-

бильности пищевой системы при общих дозах (ниже минимальной, минимальной и максимальной) композиции ТВС, включающей ферментный препарат «Декстрасепт 2», антимикробное средство «Бетасепт» и пеногаситель «Волтес ФСС 93», представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты лабораторных исследований для сахарной свеклы рангов 0, 3 и 4
Laboratory test results for sugar beet of grades 0, 3, and 4

Вариант опыта	Ранг сахарной свеклы	Содержание растворимых НСХ, % к массе СВ (фактор А)	Общая доза композиции ТВС, кг/1000 т свеклы (фактор В)	Высокомолекулярные соединения сока		Показатель стабильности			
				ВМС _{кл} , к массе СВ	ВМС _{диф} , % к массе СВ	СХ _{диф} , % к массе СВ	РВ _{диф} , % к массе СВ	рН	ЭФО _{диф} , %
1	0	9,03	7,5	2,58	1,31	92,5	0,53	6,2	18,02
2			15,0	2,58	1,03	92,9	0,46	6,2	22,72
3	3	12,71	7,5	3,86	4,87	87,9	3,79	6,2	5,4
4			30,0	3,86	3,19	89,2	3,61	6,2	16,8
5	4	14,10	7,5	5,34	6,71	86,4	5,96	5,8	4,1
6			30,0	5,34	5,54	86,8	5,76	6,0	7,4

Для сахарной свеклы ранга 0 в условиях применяемых заданных доз композиции ТВС наблюдалось снижение содержания ВМС в диффузионном соке по отношению к клеточному соку (ВМС_{кл}) за счет их коагуляции под действием температуры до минимальных остаточных количеств – менее 2,1 % к СВ сока, которые не влияют на вязкостные свойства пищевой системы [12]. Во взаимосвязи с ВМС диффузионного сока значения показателей стабильности пищевой системы также были ниже научно обоснованных пороговых значений, составляющих: содержание сахарозы в диффузион-

ном соке (СХ_{диф}) – более 90,0 % к массе СВ, редуцирующих веществ (РВ_{диф}) – менее 1,0 % к массе СВ, рН – 6,2–6,4, эффект очистки на диффузии (ЭФО_{диф}) – более 15,0 % [12]. Отмеченное подтверждает устойчивое состояние пищевой системы. При этом применение композиции ТВС в минимальной общей дозе позволило снизить содержание ВМС на 21 % и редуцирующих веществ на 13 %, увеличить содержание сахарозы на 0,4 % абс. и эффект очистки на диффузии на 4,7 % абс. в сравнении с дозой, ниже минимальной. То есть в условиях свекло-сахарного производства при переработке здо-

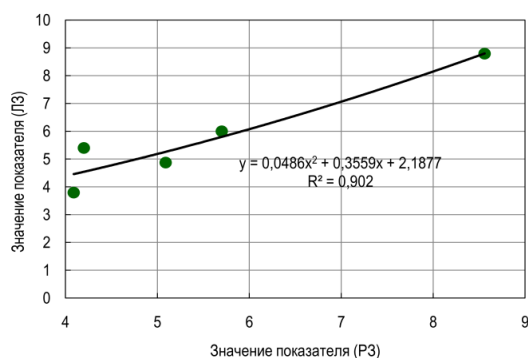
ровой, не хранившийся сахарной свеклы желательно применять указанную композицию ТВС в минимальной дозе, что будет способствовать получению диффузионного сока более высокого качества и в дальнейшем обусловит эффективное функционирование пищевой системы.

Для сахарной свеклы рангов 3 и 4 также имело место снижение содержания ВМС в диффузионном соке по отношению к клеточному соку при максимальной дозе комбинации ТВС, но с превышением минимальных остаточных количеств ВМС в соке и выходе пищевой системы из состояния устойчивости. Об указанном свидетельствуют значения показателей стабильности, превышающие их пороговые уровни.

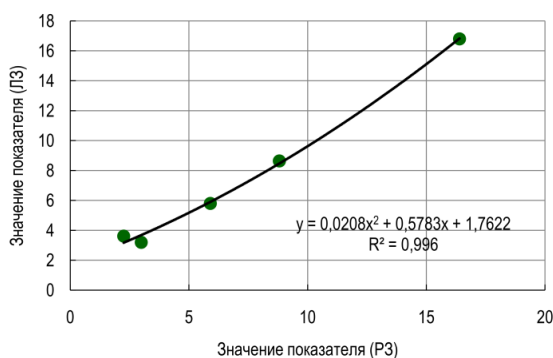
Сопряженность и воспроизводимость расчетных и фактических значений исследуемых показателей подтверждали полученные обобщенные их зависимости. В качестве примера на рисунке 2 приведена общая зависимость исследуемых показателей для сахарной свеклы ранга 3 при общей ниже минимальной (а) и максимальной дозах (б) применяемой композиции

ТВС. Об отсутствии различий между фактическими и расчетными значениями свидетельствовали коэффициенты детерминации регрессионных уравнений R^2 (0,902 и 0,996), а также р-значения (0,5218 и 0,2538).

Проведенные исследования позволили получить зависимости для расчета ВМС в диффузионном и очищенном соках по содержанию в них сахарозы, об адекватности которых свидетельствует коэффициент детерминации R^2 регрессионных уравнений (рис. 3). Следует отметить, что на производстве постоянно осуществляют контроль сахарозы в технологических соках. Применение уравнения (см. рис. 3, а) будет полезно для прогнозных расчетов содержания ВМС в диффузионном соке с целью корректировки технологического режима их удаления в процессах известково-углекислотной очистки. В то же время оценить эффективность удаления ВМС и спрогнозировать их миграцию в пищевой системе далее по технологическому потоку можно будет, применяя уравнение (см. рис. 3, б).

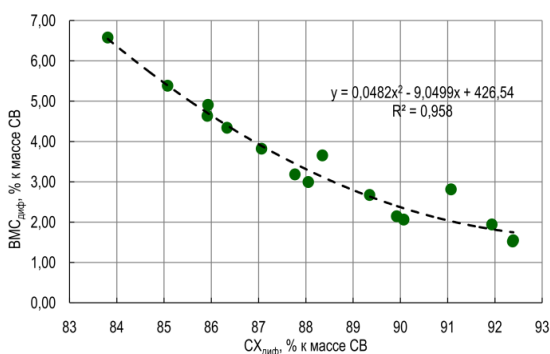


а

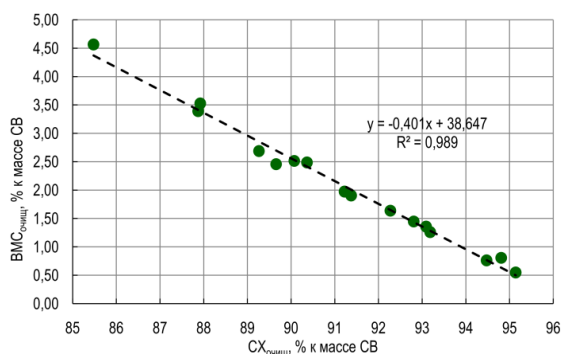


б

Рис. 2. Оценка сходимости фактических и расчетных значений изучаемых показателей для сахарной свеклы ранга 3 при общей ниже минимальной (а) и максимальной дозах (б) композиции ТВС
Evaluation of the correspondence between experimental and calculated values of the studied parameters for sugar beet of grade 3 at total TPAs composition dosages below the minimum (a) and at the maximum (б)



а



б

Рис. 3. Зависимость для расчета содержания ВМС в технологических соках по содержанию в них сахарозы
Dependence of HMWC content in processing juices on their sucrose content

Заключение. Результаты исследований указывают на высокий уровень связи содержания ВМС диффузионного и очищенного соков с концентрацией растворимых несахаров сахарной свеклы. Применяемая в процессе экстрагирования сахарозы композиция ТВС, включающая ферментный препарат, антимикробное средство и пеногаситель в средних и максимальных общих дозах, приводила к снижению содержания ВМС в технологических соках. Доля вклада влияния исходного качества сахарной свеклы на содержание ВМС варьировала в пределах 68,6–73,5 %, а композиции ТВС – 21,9–22,8 %. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей, отмечающих положительное влияние применяемых в отдельности антимикробного средства и ферментного препарата на снижение ВМС в технологических соках. Впервые показано, что при переработке здоро-

вой сахарной свеклы (с наименьшим содержанием растворимых несахаров) в условиях свеклосахарного производства следует применять указанную композицию ТВС в минимальной общей дозе, что приводило к снижению содержания ВМС в диффузионном соке на 21 %, увеличению содержания сахарозы на 0,4 % абс. и эффекта очистки на диффузии на 4,7 % абс. В перспективе это может способствовать эффективному функционированию пищевой системы. Предложены адекватные регрессионные уравнения для прогнозного расчета содержания ВМС в диффузионном соке для применения специалистами технологических служб сахарных заводов в производственном контроле в качестве дополнительного приема корректировки технологического режима с целью эффективного удаления ВМС и получения более качественного белого сахара.

Список источников

1. Пушанко Н.Н., Лагода В.А., Шурбованный В.Н., и др. Теория и практика разделения суспензий в свеклосахарном производстве. Книга 1. Образование суспензий и их свойства. Киев: Сталь, 2017. 541 с.
2. Решетова Р.С., Баранов О.М. Влияние несахаров сахарной свеклы на технологию и выход сахара // Сахар. 2023. № 8. С. 30–36. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-8-30-36. EDN: PSAAIA.
3. Чернявская Л.И., Моканюк Ю.А., Кухар В.Н., и др. Факторы, влияющие на технологические качества сахарной свеклы современных селекций и эффективность ее переработки // Сахар. 2020. № 9. С. 24–33. DOI: 10.24411/2413-5518-2020-82-10902. EDN: FHRRKR.
4. Голыбин В.А., Федорук В.А., Матвиенко Н.А., и др. Эффективность переработки свеклы пониженного качества. // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80, № 2. С. 206–210. DOI: 10.20914/2310–1202–2018–2–206–210. EDN: YBECJV.
5. Тарасова Е.А., Гурьева К.Б., Славянский А.А., и др. Развитие сахарной отрасли по направлению эффективного взаимодействия с потребителями // Сахар. 2021. № 9. С. 30–34. DOI: 10.24412/2413-5518-2021-9-30-34. EDN: AGDDUL.
6. Егорова М.И., Пузанова Л.Н., Михалева И.С., и др. Результаты мониторинга флокулообразующей способности растворов белого сахара // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 3. С. 67–72. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10312. EDN: NVAMXL.
7. Даишева Н.М., Люсьи И.Н., Семенихин С.О., и др. Требования к качеству и безопасности сахара, используемого при производстве пищевой продукции // Научные труды КубГТУ. 2018. № 8. С. 33–42. EDN: YKWBQT.
8. Кухар В.Н., Чернявский А.П., Чернявская Л.И., и др. Эффективность переработки сахарной свеклы в зависимости от ее технологических качеств и особенностей ведения процесса. Часть 1 // Сахар. 2020. № 1. С. 19–31. EDN: QTGKCS.
9. Abraham K., Brykczynski H., Rudolph-Floter E.S.J., et al. Targeted dextranase application for problem mitigation during sucrose crystallization // International Sugar Journal. 2020. Vol. 122, N 1455. P. 198–203.
10. Сапронова Л.А. Способы повышения качества кристаллического сахара // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 5. С. 9–14. EDN: YRPLIJ.

11. Ying L., Da-feng L., Rong-Zhen L., et al. Solution for dextran problem with applications of dextran detection kit and dextranase in China cane/beet sugar factories // *International Sugar Journal*. 2018. Vol. 120, N 1432. P. 296–298.
12. Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., и др. Технологические приемы ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы при производстве сахара // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35, № 2. С. 66–72. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10211. EDN: GEHOJQ.
13. Егорова М.И., Смирнова Л.Ю., Пузанова Л.Н. Критерии оценки сахарной свеклы как сырья для производства сахара // *Достижения науки и техники АПК*. 2024. Т. 38, № 8. С. 67–74. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_8_67. EDN: ZGVPMТ.
14. Кульнева Н.Г., Путилина Л.Н. Эффективность бактерицидной обработки свекловичной стружки перед экстрагированием // *Сахар*. 2018. № 9. С. 26–29. EDN: YAJYLR.
15. Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., и др. Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 3. С. 458–469. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-458-469. EDN: DJPPNZ.
16. Зелепукин Ю.И., Зелепукин С.Ю. Повышение фильтрационных свойств соков при переработке сахарной свеклы // *Сахар*. 2022. № 4. С. 32–35. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-4-32-35. EDN: TCEEVY.
17. Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Науменко Н.В., и др. Оптимизация процесса экстракции биоактивных веществ из вишневого жмыха // *Пищевые системы*. 2025. Т. 8, № 3. С. 335–342. DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-3-335-342. EDN: SPUCZE.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2023. 349 с.

References

1. Pushanko NN, Lagoda VA, Shurbovanny VN, et al. Teoriya i praktika rasgeleniya suspensii w cveklocaharnom proisvodctve. Kniga. 1: Obrasovanie suspensii i ih cvoictva. Kyiv: Stal'; 2017. 541 p. (In Russ.).
2. Reshetova RS, Baranov OM. Vliyanie necaharov caharnoi cvekly na tehnologiyu i vyhod cahara. *Sahar*. 2023;8:3-36. (In Russ.). DOI: 10.24412/2413-5518-2023-82-30-36. EDN: PSAAIA.
3. Chernyavskaya LI, Mokanyuk YA, Kukhar VN, et al. Factory, vliyayuschie na tehnologiheckie kahestva caharnoi cvekly covremennyh celexii i effektivnoct ee pererabotki. *Sahar*. 2020;9:24-33. (In Russ.). DOI: 10.24411/2413-5518-2020-82-10902. EDN: FHRRKR.
4. Golybin VA, Fedoruk VA, Matvienko NA, et.al. Efficiency of low quality beet processing. *Vestnik VGUI*. 2018;80(2):206-210. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-206-210. EDN: YBECJV.
5. Tarasova EA, Gurieva KB, Slavyansky AA, et al. Razvitie saharnoi otrasli po napravleniyu effektivnogo vzaimodeistviya s potrebitelyami. *Sahar*. 2021;9:30-34. (In Russ.). DOI: 10.24412/2413-5518-2021-9-30-34. EDN: AGDDUL.
6. Egorova MI, Puzanova LN, Mikhailova IS, et al. Results of Monitoring the floccule-forming ability of white sugar solutions. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021;35(3):67-72. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10312. EDN: NVAMXL.
7. Daisheva NM, Lyusy IN, Semenikhin SO, et al. Trebovaniya k kahestvu i besopasnosti cahara, icpolsyemogo pri proisvodctve pishevoi prodyuktii. *Nauhnye Trudy KubGTU*. 2018;8:33-42. (In Russ.). EDN: YKWBQT.
8. Kukhar VN, Chernyavskiy AP, Chernyavskaya LI, et al. Effektivnoct pererabotki caharnoi cvekly v savicimosti ot ee tehnologiheckih kahestv i ocobennoctei vedeniya processa. Ch. 1. *Sahar*. 2020;1:19-31. (In Russ.). EDN: QTGKCS.
9. Abraham K, Brykczynski H, Rudolph-Floter ESJ, et al. Targeted dextranase application for problem mitigation during sucrose crystallization. *Int Sugar J*. 2020;122(1455):198-203.

10. Saprionova LA. Methods for improving the quality of crystalline sugar. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;5:9-14. (In Russ.). EDN: YRPLIJ.
11. Ying L, Da-feng L, Rong-Zhen L, et al. Solution for dextran problem with applications of dextran detection kit and dextranase in China cane/beet sugar factories. *Int Sugar J*. 2018;120(1432):296-298.
12. Belyaeva LI, Pruzhin MK, Ostapenko AV, et al. Technological methods for inhibiting bacterial infection of the process of extracting sucrose in the sugar production. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021;35(2):66-72. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10211. EDN: GEHOJQ.
13. Egorova MI, Smirnova LYu, Puzanova LN. Criteria for assessing sugar beet a raw material for sugar production. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2024;38(8):67-74. (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451_2024_38_8_67. EDN: ZGVPMТ.
14. Kulneva NG, Putilina LN. Effektivnost bakterizidnoi obrabotki cveklovichnoi ctrugki pered ekstragirovaniem. *Sahar*. 2018;9:26-29. (In Russ.). EDN: YAJYLR.
15. Belyaeva LI, Pruzhin MK, Ostapenko AV, et al. Improvement of technological indicators of semifinished products of sugar production from bacterially infected sugar beet. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(3):458-469. (In Russ.) DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-458-469. EDN: DJPPNZ.
16. Zelepukin Yul, Zelepukin SYu. Povyshenie filtraxionnykh svoistv sokov pri pererabotke saharnoi svekly. *Sahar*. 2022;4:32-35. (In Russ.). DOI: 10.24412/2413-5518-2022-4-32-35. EDN: TCEEVY.
17. Zinina OV, Vishnyakova EA, Naumenko NV, et al. (2025). Optimization of the extraction process of bioactive substances from cherry pomace. *Food Systems*. 2025;8(3):335-342. (In Russ.). DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-3-335-342. EDN: SPUCZE.
18. Dosphehov BA. *Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy*. 5-e isd., pererab. i dop. Moscow: AlyanС; 2023. 349 p. (In Russ.).

Статья принята к публикации 10.02.2026 / The article accepted for publication 10.02.2026.

Информация об авторах:

Любовь Ивановна Беляева, ведущий научный сотрудник лаборатории технологий сахара и методов контроля продукции, кандидат технических наук, доцент

Михаил Константинович Пружин, старший научный сотрудник лаборатории технологий сахара и методов контроля продукции, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Алла Владимировна Остапенко, старший научный сотрудник лаборатории технологий сахара и методов контроля продукции

Татьяна Ивановна Сысоева, научный сотрудник сектора испытаний готовой продукции и сырья

Data on authors:

Lyubov I. Belyaeva, Leading Researcher, Laboratory of Sugar Technologies and Product Quality Control Methods, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Mikhail K. Pruzhin, Senior Researcher, Laboratory of Sugar Technologies and Product Quality Control Methods, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Alla V. Ostapenko, Senior Researcher, Laboratory of Sugar Technologies and Product Quality Control Methods

Tatyana I. Sysoeva, Researcher, Section for Testing of Finished Products and Raw Materials