

Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции

УДК 664.1:633.63:54.062

DOI:10.31857/S2500262721050148

ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЫХОДА САХАРА С СОСТАВОМ НЕСАХАРОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

М.И. Егорова, кандидат технических наук,
Л.Н. Пузанова, кандидат сельскохозяйственных наук,
Л.Ю. Смирнова, научный сотрудник,
Е.В. Леонтьева, кандидат сельскохозяйственных наук

*Курский федеральный аграрный научный центр,
 305021, Курск, ул. Карла Маркса, д. 70 Б
 E-mail: rniisp@gmail.com*

В статье рассматривается методологический подход к оценке взаимосвязи показателей выхода готового продукта (сахара) и его потерь в мелассе с составом несахаров сырья сахарной свеклы (содержанием калия, натрия, α -аминного азота) в условиях Республики Татарстан. Все установленные зависимости демонстрируют линейный характер с преимущественно очень высоким и высоким уровнем положительной связи для потерь целевого компонента в мелассе и отрицательной связи с выходом готового продукта. Более значительный вклад в величину выхода целевого компонента и его потерь в мелассе оказывает содержание α -аминного азота. Интерпретация регрессионных зависимостей позволяет обозначить область максимального выхода сахара и его минимальных потерь в мелассе, которая ограничивается содержанием α -аминного азота до 2 ммоль/100 г свеклы и суммой натрия и калия до 6 ммоль/100 г свеклы. Указанные величины содержания несахаров в сахарной свекле в условиях Республики Татарстан позволяют обеспечить высокие показатели эффективности производства сахара. При сравнении прогнозных результатов деятельности свеклосахарных заводов, рассчитанных на основе полученных зависимостей, с фактическими результатами за 2019 и 2020 гг. отмечена их высокая сходимость. При использовании данных для центральных регионов страны отмечено завышение прогнозных величин, по отношению к фактическим, что подтверждает региональные различия состава сахарной свеклы и ее поведения при переработке. Следовательно, рассматриваемые зависимости должны устанавливаться для конкретного сахаропроизводящего региона.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE YIELD OF SUGAR AND THE COMPOSITION OF NONSUGARS OF SUGAR BEET IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Egorova M.I., Puzanova L.N., Smirnova L.Yu., Leonteva E.V.

*Federal Agricultural Kursk Research Center
 305021, Kursk, ul. Karla Marksa, 70 B
 E-mail: rniisp@gmail.com*

The article discusses a methodological approach to assessing the relationship between indicators of the output of the finished product – sugar and sugar loss in molasses with the composition of nonsugars of raw materials – sugar beet. The relationships of these indicators from the content of potassium, sodium, α -amino nitrogen in raw materials is analyzed using the conditions of the Republic of Tatarstan as an example. All obtained dependencies show a linear character with predominantly very high and high levels of positive relationship for loss of the target component in molasses and a negative relationship with of the finished product yield. The analysis of the formed regression equations showed that the content of α -amine nitrogen makes a more significant contribution to the yield of the target component and its losses in molasses. Interpretation of regression dependences allows us to designate the area of minimum sugar losses in molasses and maximum sugar yield, which is limited by the content of α -amino nitrogen up to 2 mmol/100 g of beet and the sum of sodium and potassium up to 6 mmol/100 g of beet. The indicated values of the content of nonsugars in sugar beet in the conditions of the Republic of Tatarstan make it possible to ensure high indicators of the efficiency of sugar production. When comparing the forecast results of sugar beet factories, calculated on the basis of the obtained dependencies, with the actual for 2019 and 2020 in the conditions of the Republic of Tatarstan, their high convergence was noted. When comparing the same results for the central regions of the country, an overestimation of the predicted values in relation to the actual ones was noted, this confirms the regional differences in the composition of sugar beet and its behavior during processing. It is shown that the considered dependences should be established for a specific sugar-producing region.

Ключевые слова: сахарная свекла (*Beta vulgaris L. v. saccharifera*), выход сахара, потери сахара в мелассе, несахара, калий, натрий, α -аминный азот, взаимосвязь

Key words: sugar beet (*Beta vulgaris L. v. saccharifera*), sugar yield, sugar loss in molasses, nonsugars, potassium, sodium, α -amino nitrogen, relationship

Современная обстановка в экономике заставляет разрабатывать стратегии, которые формируют ключевые возможности развития и достижения конкурентных целей [1]. В полной мере это относится и к свеклосахарным заводам, которые сталкиваются с колебаниями объемов поставок сырья – сахарной свеклы, что приводит к перепроизводству или дефициту на рынке сахара. Для снятия такой напряженности на уровне государства и отрасли предпринимаются меры по развитию экспорта белого сахара, свекловичного

сахара-сырца, увеличению площади посевов сахарной свеклы, выводу или консервации мощностей переработки [2] и др.

В качестве критериев конкурентоспособности свеклосахарных заводов рассматривают различные показатели [3], в том числе длительность производственного сезона, которая должна составлять не менее 120...150 суток, что связано с объемами перерабатываемого сырья. Для 11 российских свеклосахарных заводов мощностью более 7 тыс. т переработки свеклы в

сутки при максимальной длительности сезона 150 суток потребуются более 1 млн т сырья. Однако если в сезон переработки урожая 2019 г. такого уровня достигли 7 российских предприятий, то при переработке сахарной свеклы 2020 г. это удалось лишь на двух заводах – ООО «Агроснабсахар» (Липецкая область) и ОАО «Заинский сахар» (Республика Татарстан), которые произвели соответственно 211 и 193 тыс. т белого сахара.

ОАО «Заинский сахар» входит в холдинг «Агросила», 12 агрофирм которого поставляют ему сырье. По сути, свеклосахарный кластер «Агросилы» это большой системный комплекс аграрно-пищевой технологии [4, 5], в рамках которого осуществляется поступательное развитие подсистемы растениеводческой продукции и перерабатывающей подсистемы на основе современных агротехнологий и освоения мирового опыта [6]. На заводе внедрена система бережливого производства [7] «Агро», по итогам аудита в 2018 г. он удостоен знака серебряного уровня развития по принципу Всеобщей производственной системы Toyota (Т-TPS) – это первый результат среди предприятий мировой пищевой промышленности. В последние годы система бережливого производства в организациях ассоциируется с решением задач модернизации и развитием предприятия на основе научно-технического прогресса [8].

Объединение сельскохозяйственных и перерабатывающих технологий в сложные технологические системы неизбежно, а интеграция их усилий приводит к саморазвитию таких систем [9]. Важная особенность подобных комплексов – преодоление технологических и технических барьеров по всей цепочке [5], установление общего темпа их эволюции, необходимость создания технологических требований к выходным параметрам процессов по всем подсистемам [9].

В комплексе сквозной аграрно-пищевой технологии производства сахара выходными параметрами аграрной подсистемы выступают показатели сахарной свеклы, характеризующие ее технологическую адекватность [10]. Связано это с тем, что технология сахара, преобразующая живой растительный объект в кристаллическую форму высокоочищенного дисахарида, реализуется в технологических линиях, которым из-за вариативности показателей сырья присуща вариативность внешней и внутренней среды. Именно различия в составе сырья вызывают введение или исключение отдельных стадий в технологическом потоке производства сахара [11].

В мировой практике оценка технологической адекватности сахарной свеклы имеет множество аспектов, но наиболее часто ее определяют по потенциальной эффективности производства сахара – показателям выхода белого сахара и потерям сахара в мелассе. Как правило, определение этих прогнозных величин основано на эмпирических формулах, учитывающих содержание в сахарной свекле сахарозы, калия, натрия, α -аминного азота [12].

ОАО «Заинский сахар» – один из лидеров свеклосахарной отрасли России характеризуется высокими технико-экономическими показателями. Вместе с тем, резервом дальнейшего развития и поддержания конкурентоспособности для завода может быть работа с агрофирмами в части повышения технологической адекватности сырья. В основе такой кооперации сельскохозяйственной и перерабатывающей технологий должны лежать дополнительные требования к сахарной свекле, не обозначенные в ГОСТ 33884 «Свекла

сахарная. Технические условия». Это согласуется с общемировыми тенденциями определения прогнозируемого выхода сахара на основе учета содержания несахаров в сахарной свеклы – калия, натрия, α -аминного азота. Определение значений таких нормативов должно опираться на научно обоснованные величины применительно к условиям зоны выращивания сахарной свеклы.

Цель исследований – оценить взаимосвязь выхода сахара с составом несахаров сахарной свеклы, возделываемой в зоне свеклосеяния ОАО «Заинский сахар».

Методика. Работу проводили с образцами сахарной свеклы, выращенной в 2020 г. в 10 агрофирмах зоны свеклосеяния ОАО «Заинский сахар». При приемке корнеплодов заводом было отобрано (по ГОСТ 33884-2016) 190 проб корнеплодов 13 гибридов. Пробоподготовку осуществляли по ГОСТ Р 53036-2008 путем отмывания корнеплодов, удаления хвостиков, корешков, отделения примесей органического и неорганического происхождения, измельчения в мезгу. В лаборатории ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в свекловичной мезге определяли содержание сахарозы, а также несахаров – калия, натрия, α -аминного азота. Концентрацию сахарозы измеряли методом холодного водного дигерирования (по методике ICUMSA GS6-1), в качестве осветлителя использовали раствор уксуснокислого свинца массовой концентрацией 2,5 %. Содержание α -аминного азота определяли по методике ICUMSA GS6-5, модифицированной в части приготовления рабочих реактивов, аликвот исследуемого раствора и рабочих реактивов при измерении [13], натрия и калия – потенциометрически ионоселективными электродами по скорректированной методике [14]. Прогнозируемые потери сахара в мелассе и его выход из сахарной свеклы каждой пробы рассчитывали по Брауншвейгской формуле [15], принимая стандартные потери сахарозы до мелассы на уровне 0,9 %.

Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики и регрессионного анализа с построением аппроксимирующих зависимостей и определением коэффициентов парной корреляции между искомыми параметрами. Выявленные зависи-

Табл. 1. Химический состав сахарной свеклы зоны свеклосеяния ОАО «Заинский сахар» и прогнозные результаты ее переработки

Показатель	max	min	$X \pm \varepsilon$	V, %	Me
Сахаристость, %	21,32	14,85	18,37 \pm 0,15	5,85	18,57
α -N, ммоль/100 г свеклы	6,68	0,61	1,81 \pm 0,17	65,70	1,39
K, ммоль/100 г свеклы	8,01	1,65	4,31 \pm 0,16	26,70	4,25
Na, ммоль/100 г свеклы	4,52	0,47	1,93 \pm 0,10	35,95	1,89
K+Na, ммоль/100 г свеклы	11,24	2,28	6,24 \pm 0,23	26,69	6,15
Схм, %	3,43	0,91	1,66 \pm 0,06	25,82	1,57
B, %	19,13	11,58	15,81 \pm 0,19	8,72	16,11
*min – минимальная величина показателя, max – максимальная величина показателя, $X \pm \varepsilon$ – средняя, Me – медиана, V – коэффициент вариации.					

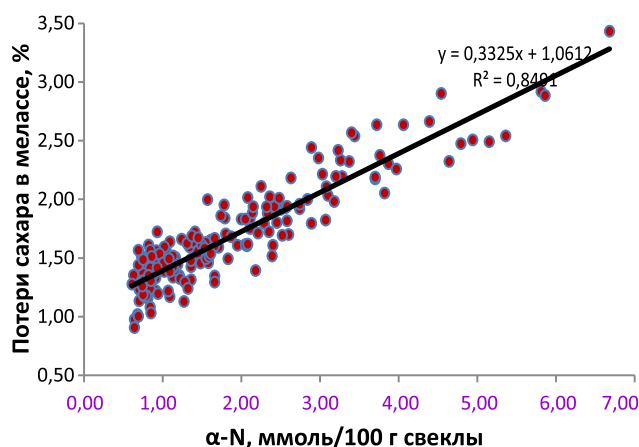


Рис. 1. Зависимость потерь сахара в мелассе от содержания α -аминного азота в сахарной свекле.

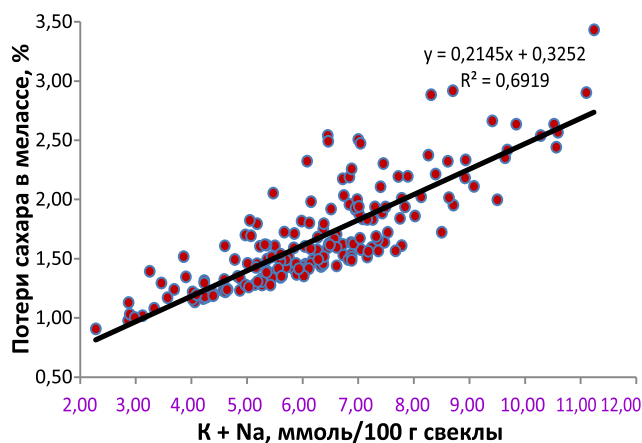


Рис. 2. Зависимость потерь сахара в мелассе от содержания суммы калия и натрия в сахарной свекле.

мости представляли в виде регрессионных уравнений для кодированных и натуральных значений факторов. Показатели адекватности уравнений определяли с использованием критерия Фишера и коэффициента детерминации (R^2). Устанавливали зависимости прогнозируемых потерь сахара в мелассе и выхода сахара от содержания α -аминного азота, а также суммы (для удобства представления графических результатов) калия и натрия в сахарной свекле.

Результаты и обсуждение. Коэффициенты вариации (V) прогнозных величины потерь сахара в мелассе (Sx_m) и выхода сахара (B), рассчитанные на основании данных о содержании в корнеплодах сахарной свеклы сахарозы, калия, натрия, α -аминного азота составляли 8,72 и 25,82 % (табл. 1).

Поскольку щелочные элементы (калий и натрий), а также α -аминный азот служат сильными мелассообразователями, с увеличением их содержания в сахарной свекле потери сахара в мелассе возрастают. Зависимость расчетных потерь сахара в мелассе от содержания α -аминного азота в сахарной свекле (рис. 1) имеет линейный характер с высоким коэффициентом аппроксимации. Коэффициент парной корреляции между рассматриваемыми величинами $r = 0,921$ свидетельствует об очень высокой положительной связи по шкале Чеддока.

В среднем по России за сезон переработки сахарной свеклы урожая 2020 г. потери сахара в мелассе составили 1,93 %, в Республике Татарстан – 1,69 %, в 2019 г. – соответственно 1,78 % и 1,49 %. При ориентации на усредненную величину потерь 1,80 % можно отметить, что содержание сахара в мелассе менее этой величины отмечается при содержании α -аминного азота менее 2,5 ммоль/100 г свеклы (см. рис. 1). При величине этого показателя на уровне 1,0...1,5 ммоль/100 г свеклы потери сахара в мелассе можно уменьшить до 1,30...1,40 %.

В то же время, в центральных регионах страны (Воронежская, Тамбовская, Брянская области) по данным 2019 г. при среднем содержании α -аминного азота в сахарной свекле 2,10 ммоль/100 г свеклы, близком по величине к наблюдаемому в Республике Татарстан, прогнозируемые потери сахара в мелассе находятся на более высоком уровне 2,14 % [16]. Это подчеркивает региональные различия состава сахарной свеклы и ее поведения при переработке. Одновременно в целом потери в 2019 г. остаются более низкими, чем в 2020 г. По данным Союзроссахара в среднем для указанных

центральных регионов они находились на уровне 1,90 % и 2,05 %.

Зависимость расчетных потерь сахара в мелассе от содержания суммы калия и натрия в сахарной свекле также имеет линейный характер (рис. 2), но с коэффициентом аппроксимации ниже, чем у предыдущей зависимости, что может быть обусловлено большим разбросом величины этого показателя. Коэффициент парной корреляции между рассматриваемыми величинами $r = 0,832$ свидетельствует о высокой положительной связи, хотя она менее сильная, чем между потерями сахара в мелассе и α -аминным азотом.

Потерь сахара в мелассе менее 1,80 % можно ожидать при сумме калия и натрия менее 7 ммоль/100 г свеклы (см. рис. 2), менее 1,40 % – при величине этого показателя менее 5 ммоль/100 г свеклы. Для центральных регионов страны (Воронежская, Тамбовская, Брянская области) в 2019 г. прогнозируемые потери сахара в мелассе на уровне 2,14 % достигались при среднем содержании суммы натрия и калия в сахарной свекле 6,69 ммоль/100 г свеклы [16], то есть по щелочным элементам в сахарной свекле и их влиянию на результаты переработки отмечаются еще большие региональные различия.

Зависимость выхода сахара от содержания α -аминного азота в сахарной свекле имеет линейный характер (рис. 3), коэффициент аппроксимации указывает на разброс величин этого показателя. Коэффициент парной корреляции $r = -0,774$ свидетельствует о высокой

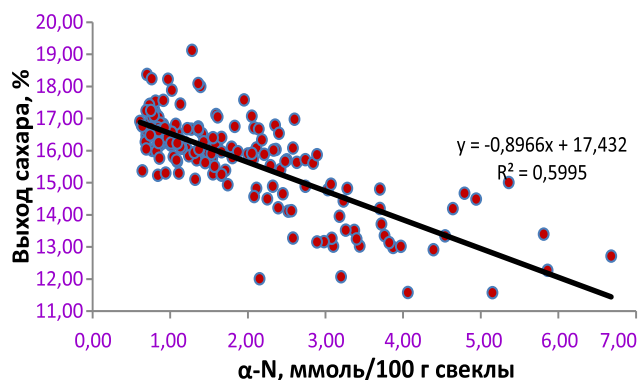


Рис. 3. Зависимость выхода сахара от содержания α -аминного азота в сахарной свекле.

Табл. 2. Уравнения регрессии, отражающие изменение потерь сахара в мелассе и выхода сахара под влиянием мелассообразующих несахаров

Показатель	Уравнение регрессии	Показатели адекватности уравнения		
		F _{факт}	F ₀₅	R ²
Потери сахара в мелассе, %	$Y_1 = 0,4799 + 0,24A + 0,12B + 0,12C$	61938	2,65	0,999
Выход сахара, %	$Y_2 = 18,4213 - 0,7769A - 0,3663B - 0,1947C$	118,2	2,65	0,656

отрицательной связи. Увеличение содержания α-аминого азота до 2 ммоль/100 г свеклы понижает выход сахара до 15,64 %, до 2,5 ммоль/100 г свеклы – до 15,19 %. Полученные эмпирические данные подтверждают фактические результаты работы ОАО «Заинский сахар»: по данным Союзрассахара по итогам сезона переработки сахарной свеклы урожая 2020 г. при средней сахаристости 18,78 % выход сахара составил 15,65 %.

В то же время в центральных регионах России при переработке сахарной свеклы урожая 2019 г. при средней сахаристости 18,02 %, содержании α-аминого азота в сахарной свекле 2,10 ммоль/100 г свеклы, выход сахара составил 14,93 % [16]. Расчетный выход сахара согласно установленным эмпирическим зависимостям равен 15,54 %, что на 0,61 % выше. То есть находит подтверждение их предназначенность исключительно для условий конкретного свеклосеющего региона, в котором они получены.

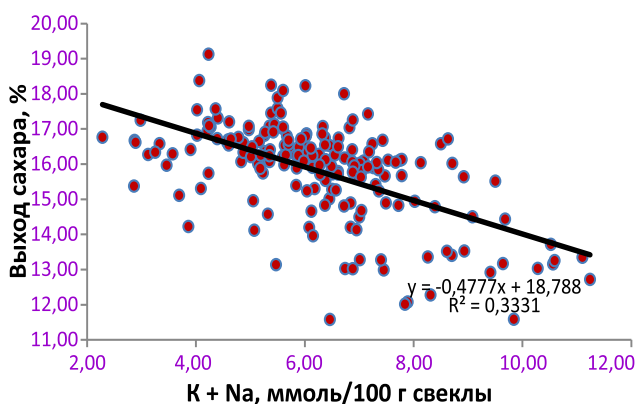


Рис. 4. Зависимость выхода сахара от содержания суммы калия и натрия в сахарной свекле.

Зависимость выхода сахара от содержания суммы калия и натрия в сахарной свекле также имеет линейный характер (рис. 4), коэффициент аппроксимации указывает на разброс анализируемых величин. Коэффициент парной корреляции $r = -0,577$ свидетельствует о заметной отрицательной связи. Однако она менее сильная, чем между выходом сахара и содержанием α-аминого азота. Соответствующий расчет по полученной зависимости выхода сахара для условий центральных регионов России в 2019 г., исходя из приведенных [16] уровней сахаристости (18,02 %) и содержания калия и натрия (6,69 ммоль/100 г свеклы), дает результат выше на 0,66 %.

Полиномиальные уравнения, количественно связывающие воздействие содержания α-аминого азота (А), калия (В), натрия (С) на показатели потерь сахара в мелассе (Y₁) и выход сахара (Y₂) с учетом только значимых коэффициентов регрессии (табл. 2) отвечают требованиям статистической адекватности исходя из значений критерия Фишера (фактическое значение

больше табличного $F > F_{05}$) и коэффициента детерминации R². Анализ формализованных результатов, полученных с использованием этих уравнений, показывает следующее: повышение содержания α-аминого азота на 1 ммоль/100 г свеклы приводит в среднем к увеличению потерь сахара в мелассе на 0,24 % и снижению выхода сахара на 0,78 %. Рост концентрации калия и натрия на 1 ммоль/100 г свеклы сопровождается увеличением потерь сахара в мелассе на 0,12 % (для каждого элемента) и снижению выхода сахара на 0,37 % и 0,19 % соответственно. Стандартизированные формы уравнений регрессии свидетельствуют, что наибольшее влияние показатели потенциальной эффективности производства сахара (выход белого сахара и потери сахара в мелассе) оказывает содержание α-аминого азота в сахарной свекле (фактор А).

Результаты анализа графиков квадратичных уравнений регрессии, при расчете которых сумму переменных содержания калия (В) и натрия (С) объединили в одну переменную D, указывают на отсутствие задачи достижения минимального уровня потерь сахара в мелассе 1,3...1,4 %, можно обозначить соответствующую область, которая ограничивается следующими координатами: содержание α-аминого азота до 2 ммоль/100 г свеклы, сумма калия и натрия до 6 ммоль/100 г свеклы (рис. 5). При такой концентрации мелассообразующих несахаров в сахарной свекле выход сахара превышает 17 % (рис. 6).

Таким образом, на основании оценки взаимосвязи показателей эффективности производства сахара с составом несахаров сахарной свеклы показан более существенный вклад в величину потерь сахара в мелассе и выхода сахара содержания α-аминого азота в сахарной свекле. Для достижения высоких показателей эффективности производства сахара в Республике Татарстан оптимальный уровень α-аминого азота до

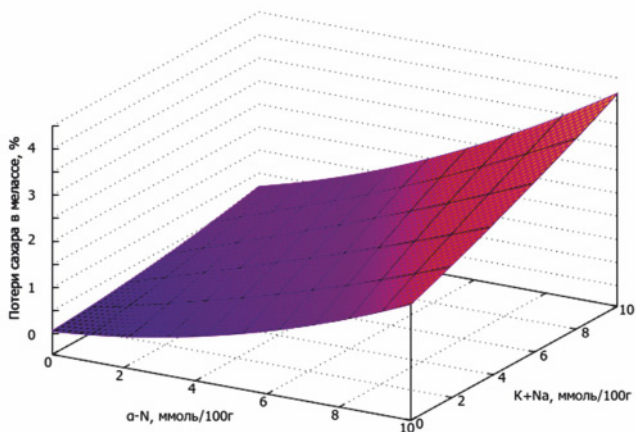


Рис. 5. Квадратичная зависимость потерь сахара в мелассе от содержания мелассообразующих несахаров.

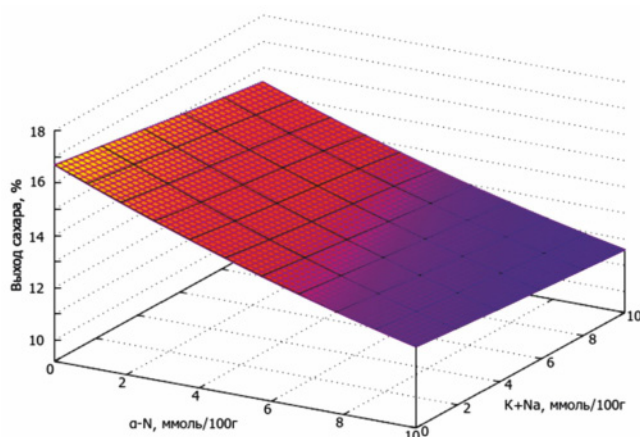


Рис. 6. Квадратичная зависимость выхода сахара от содержания мелассообразующих несахаров.

жен быть ниже 2 ммоль/100 г свеклы, калия и натрия в сумме – не более 6 ммоль/100 г свеклы. Учитывая региональные различия состава сахарной свеклы, оптимальные уровни содержания мелассообразующих несахаров для каждого сахаропроизводящего региона следует устанавливать отдельно на основе аналогичных зависимостей.

Литература

1. Овчинникова Т. И., Марков А. В., Дуванова Ю. Н. О сущности понятия «стратегическая конкурентоспособность» // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С. 417–422.
2. Иванов Е. В. Предварительные итоги свеклосахарного производства в сезоне 2019/2020 – рекорды, рекорды, рекорды // Сахарная свекла. 2020. № 1. С. 2–5.
3. Иванов Е. В. Каковы перспективы свеклосахарной отрасли в новом сезоне // Сахарная свекла. 2020. № 5. С. 2–9.
4. Егорова М. И., Епифанова Н. П. Сквозная аграрно-пищевая технология производства сахара // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008. № 3. С. 91–92.
5. Панфилов В. А. Системный комплекс «Аграрно-пищевая технология» // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 4. С. 6–9.
6. Балабанова Г. И. Как «Заинский сахар» превраща-

ет минусы в плюсы // Сахарная свекла. 2016. № 4. С. 24–27.

7. Питель Т. С. Бережливое производство как инструмент преобразования деятельности предприятий АПК // Вестник аграрной науки. 2018. № 4 (73). С. 111–114.
8. Галин З. Г., Фролова О. Н., Ковшиов В. А. Концепция бережливого производства в молочном скотоводстве Республики Башкортостан: принципы и неуклонное сокращение потерь // Вестник Евразийской науки. 2019. № 6. Т. II. URL: <https://esj.today/PDF/107ECVN619.pdf>. (дата обращения: 20.06.2021)
9. Панфилов В. А. Синергетический подход к проектированию сложных технологий АПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 4–7.
10. Оценка технологической адекватности свеклы сахарной как сырья для производства сахара / М. И. Егорова, Л. Н. Пузанова, С. В. Хлюпина и др. // Аграрная наука. 2018. № 7-8. С. 50–54.
11. De Bruijn, J. M. The fascinating sweet world of sugar technology – never a dull moment // Sugar industry. 2012. Vol. 137. № 11. P. 697–706.
12. De Bruijn J. M. Impact of beet quality on sugar manufacture. Part 1. General considerations of the technological beet quality // Sugar Industry. 2020. Vol. 145. № 2. P. 86–93.
13. Азотистые вещества сахарной свеклы и продуктов сахарного производства и экспресс-методы их определения / В. Н. Кухар, А. П. Чернявский, Л. И. Чернявская и др. // Сахар. 2019. № 4. С. 42–59.
14. Egorova M. I., Puzanova L. N., Smirnova L. Yu. Technological adequacy of sugar beet hybrids for the 2019 harvest in Kursk Region // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 640. 052026. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/640/5/052026/meta> (дата обращения: 20.06.2021). doi:10.1088/1755-1315/640/5/052026.
15. Neubewerbung des technischen Wertes von Zuckerrüben / K. Buchholz, B. Märländer, H. Glatzkowski, et al. // Zuckerindustrie. 1995. № 2 (120). P. 113–121.
16. Путилина Л. Н., Лазутина Н. А. Повышение технологического качества сахарной свеклы в результате внекорневого внесения препарата «БиоТерра Антистресс» // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 9–19.

Поступила в редакцию 25.06.2021
 После доработки 08.08.2021
 Принята к публикации 25.08.2021