







Перспективные методы интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки







Ольга С. Корнеева	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Светлана Ф. Яковлева	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966
Наталья А. Матвиенко	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Лариса Н. Фролова	¹	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Екатерина А. Мотина	¹	emotina18@mail.ru	 0000-0002-3433-2754
Галина П. Шуваева	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0001-9536-6512

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Свеклосахарная промышленность России имеет неисчерпанные резервы своего развития, поэтому для их использования требуется комплекс мер по повышению эффективности производства сахара, в котором важную роль необходимо уделять процессу экстрагирования. Эффективность процесса экстрагирования определяет условия проведения последующих технологических операций, оказывает влияние на производство сахара в целом. Кроме того, в результате экстрагирования образуется многотоннажный отход свеклосахарного производства – жом, проблемы утилизации которого остро стоят перед сахарной отраслью. Поэтому комплексное рассмотрение процесса производства сахара включает вопросы глубокой переработки жома, как ценного сырьевого ресурса, способствующей уменьшению количества отходов свеклосахарного производства и решающей проблемы загрязнения окружающей среды. Свеклосахарная промышленность занимает важное место в агропромышленном комплексе страны. Среди отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности России свеклосахарное производство одно из наиболее высокоиндустриальных и энергоемких. Эта монопродуктовая отрасль представляет собой весьма своеобразное явление в экономике и, в частности, в пищевой промышленности. В данной статье мы рассмотрим несколько наиболее перспективных методов интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, а также переработки вторичных ресурсов свеклосахарного производства с получением новых продуктов высокого качества.

Ключевые слова: интенсификация, экстрагирование сахарозы, свекловичная стружка, свекловичный жом.

Promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips

Olga S. Korneeva	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Svetlana F. Yakovleva	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966
Natalia A. Matvienko	¹	natali25_81@mail.ru	 0000-0003-4777-003X
Larisa N. Frolova	¹	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Ekaterina A. Motina	¹	emotina18@mail.ru	 0000-0002-3433-2754
Galina P. Shuvaeva	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0001-9536-6512

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The sugar beet industry in Russia has unexhausted reserves of its development, so to use them requires a set of measures to improve the efficiency of sugar production, in which an important role should be given to the extraction process. The efficiency of the extraction process determines the conditions of subsequent technological operations and affects the production of sugar in general. In addition, as a result of extraction produces a multi-tonnage waste of sugar beet production - pulp, the problem of disposal of which is acute for the sugar industry. Therefore, a comprehensive consideration of the process of sugar production includes the issues of deep processing of pulp, as a valuable raw material resource, which contributes to reducing the amount of waste sugar beet production and solving the problem of environmental pollution. Sugar beet industry occupies an important place in the agro-industrial complex of the country. Among the food and processing industries in Russia, sugar beet production is one of the most highly industrialized and energy-intensive. This monoprodukt industry is a very peculiar phenomenon in the economy and, in particular, in the food industry. In this article we will consider some of the most promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips, as well as processing of secondary resources of sugar beet production with obtaining new products of high quality.

Keywords: intensification, sucrose extraction, beet chips, beet pulp.

Для цитирования

Корнеева О.С., Яковлева С.Ф., Матвиенко Н.А., Фролова Л.Н., Мотина Е.А., Шуваева Г.П. Перспективные методы интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 149–155. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-149-155

For citation

Korneeva O.S., Yakovleva S.F., Matvienko N.A., Frolova L.N., Motina E.A., Shuvaeva G.P. Promising methods for intensifying the process of sucrose extraction from beet chips. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 149–155. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-149-155

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Из наиболее перспективных приёмов, позволяющих интенсифицировать процесс экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, а также переработку вторичных ресурсов свеклосахарного производства, является применение электрохимически активированных (ЭХА) водных растворов.

Одним из направлений решения этой задачи является усовершенствование процесса экстрагирования сахарозы с одновременной очисткой диффузионного сока и получением экологически чистого жома посредством предварительной подготовки свекловичной стружки и экстрагента с применением инновационных технологий. Полученный жом можно эффективно использовать как сырьё для производства новой продукции (пектина и пищевых волокон), расширяющей ассортимент отечественных недорогих функциональных продуктов питания, что в свою очередь является стратегическим направлением развития пищевой промышленности в области здорового питания населения России.

От эффективности работы диффузионного отделения во многом зависит выбор варианта проведения известково-углекислотной очистки сахаросодержащего раствора, а количество получаемого товарного сахара находится в непосредственной зависимости от степени извлечения сахарозы из сырья. Таким образом, получение диффузионного сока является одной из наиболее важных операций свеклосахарного производства.

Проведены исследования, убедительно доказывающие, что одним из наиболее перспективных приёмов, позволяющих интенсифицировать процесс экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, является применение электрохимически активированных (ЭХА) водных растворов, полученных в диафрагменном электролизёре [1]. В результате такой обработки получают две фракции растворов: анолит и католит. В объёме электролита под влиянием постоянного электрического тока протекают сложные физико-химические процессы, следствием которых могут быть коагуляция, флуктуация частиц, изменение валентности ионов в окислительно-восстановительных реакциях, деструкция сложных соединений, формирование твёрдой, жидкой и газовой фаз и др.

Подбирая режим активации, можно получать растворы с нужными параметрами. Например, обработка раствора в диафрагменном электролизёре позволяет направленно изменять pH и окислительно-восстановительный потенциал. Особого внимания заслуживают дезинфицирующие свойства ЭХА растворов, особенно анолитов.

Это свойство находит широкое применение в разных областях деятельности человека. Положительные стороны анолитов как дезинфицирующих веществ, выгодно отличают их от химических препаратов, применяемых для этой цели:

отсутствие побочного остаточного химизма вследствие релаксации в исходное состояние (превращение в обычную воду). Поэтому после применения ЭХА растворов не требуется промывки оборудования, исключается токсикация помещений и оборудования, не происходит накопления вредного вещества в готовом продукте, что очень важно для пищевой промышленности;

универсальный спектр действия ЭХА растворов на микробиологические объекты, т. е. губительное действие на все микроорганизмы: бактерии, грибы, вирусы и др., в том числе споровые формы;

отсутствие у микроорганизмов адаптивного эффекта привыкания;

безвредность по отношению к соматическим клеткам растений, животных и человека;

ЭХА раствор готовится непосредственно на месте потребления перед применением, поэтому нет надобности его хранить и транспортировать.

Электрохимическая активация позволяет снижать вязкость растворов благодаря изменению химического состава и накоплению газов в растворе. Это свойство, несомненно, представляет повышенный интерес, поскольку в средах с пониженной вязкостью интенсифицируются массообменные процессы, в том числе и экстрагирование сахарозы.

Исследования показывают, что экстрагирование сахарозы ЭХА растворами наиболее эффективно проводить при температуре 63–65 °C. Между тем, температура традиционной диффузии составляет 72–75 °C. В случае применения ЭХА экстрагента при увеличении температуры выше 65 °C наблюдается ухудшение качества диффузионного сока. Этот эффект можно объяснить влиянием двух факторов. Во-первых, на коэффициент молекулярной диффузии сахарозы активно влияет температура: чем она выше, тем выше коэффициент диффузии и больше сахарозы переходит в раствор, но, вместе с тем, увеличивается гидролиз протопектина, что значительно снижает чистоту диффузионного сока. Во-вторых, активация экстрагента повышает физико-механические свойства стружки и интенсифицирует процесс экстракции из свекловичной ткани. Благодаря этому уже при 65 °C чистота диффузионного сока выше, чем при температуре традиционной диффузии (72 °C). При дальнейшем росте температуры увеличивается переход несахаров в раствор, что отрицательно сказывается на качестве диффузионного сока [2].

Интерес представляют также изучение электрической проводимости, окислительно-восстановительного потенциала, химического состава и других параметров ЭХА растворов. Установлено, что использование электрохимической обработки позволяет снизить вязкость растворов в среднем на 10–12%. Интересен обнаруженный факт, что в воде с большой примесью органических веществ (жомопрессовая вода, вода из открытого водоёма) наблюдается наименьшая вязкость. Так же использование электрохимической активации способствует увеличению коэффициента диффузии в среднем на 15%.

Методы

Нами исследовано влияние способов обработки свекловичной стружки ЭХА растворами различных реагентов на качество получаемых соков. Установлено, что после обработки стружки анолитом с последующим ошпариванием католитом и использованием в качестве экстрагента на диффузии ЭХА католита, соки имеют наилучшие показатели качества. При опрыскивании стружки ЭХА анолитами ее поверхность дезинфицируется, происходит инактивация ферментов, вследствие чего отсутствуют видимые признаки протекания окислительных реакций. Последующее ошпаривание католитами, содержащими ионы поливалентных металлов, способствует фиксации группы несахаров в стружке, что препятствует переходу и накоплению их в диффузионном соке. При такой подготовке свекловичной стружки содержание высокомолекулярных соединений в диффузионном соке снижается в 1,5 раза, в преддефекованном соке – в 3 раза, а в соке II сатурации – в 3,5 раза, содержание редуцирующих веществ и солей кальция в очищенном соке снижается 2 раза, а пектина – в 5 раз соответственно, по сравнению с традиционной схемой. Таким образом, применение водного раствора неорганической соли, подвергнутого электрохимической обработке, для подготовки стружки и воды позволяет повысить эффективность экстрагирования сахарозы за счет повышения чистоты соков, снижения потерь сахарозы в жоме. Обессахаренная свекловичная стружка после процесса экстрагирования и прессования получается светлой, упругой, с минимальными потерями сахарозы (0,18–0,20%) и является ценным сырьем для получения пектина и пищевых волокон.

Далее обессахаренная свекловичная стружка используется для получения пектина с дополнительным извлечением пищевых волокон. При этом на стадии гидролиза-экстрагирования используется ЭХА раствор. Твердая фаза после экстракции католитом поступает на получение пищевых волокон, а гидролизат и экстракт используют для выделения пектиновых веществ.

Установлено, что целесообразнее использовать ЭХА воду как более эффективный гидролизующий агент и проводить процесс гидролиза-экстрагирования в следующем режиме: pH ЭХА воды – 2,5; температура – 65 °С; продолжительность – 90 минут; гидромодуль жомоводяной смеси – 1:7–1:8. Кроме того, ЭХА растворы позволяют снизить температуру и продолжительность процесса, интенсифицировать экстракцию за счет увеличения скорости химического превращения протопектина, дополнительного снижения вязкости. Это определяет повышение выхода пектина на 4% его качества, а также качества пищевых волокон (водоудерживающая способность пищевых волокон повышается на 2,5 г/г ПВ, адсорбционная способность – на 20%) [3]. Полученное технологическое решение является более перспективным по сравнению с традиционным, так как отвечает современным требованиям к экологической безопасности и энергоресурсосбережению. Использование ЭХА гидролизующего агента вместо кислот способствует организации комплексной переработки растительного сырья, повышению выхода пектина и пищевых волокон при сохранении их высокого качества.

Электрохимическая активация позволяет изменять свойства растворов. Подбирая режимы активации, можно получить ЭХА экстрагенты, обеспечивающие наиболее полное извлечение сахарозы при минимальном переходе несахаров в диффузионный сок. Результаты исследования свойств ЭХА растворов могут быть использованы для обоснования механизма их положительного действия в диффузионном процессе и разработки способов по его усовершенствованию.

Применение электрохимической активации позволяет не только интенсифицировать технологию производства сахара, уменьшить расход минеральных сырьевых ресурсов и выбросов отходов в окружающую среду, улучшить экологические показатели производства, но и открывает перспективы создания новых технологий комплексной переработки сахарной свёклы.

Можно сделать вывод о целесообразности использования ЭХА растворов с целью повышения эффективности основных технологических процессов, сокращения расхода вспомогательных материалов и энергетических ресурсов и сохранения экологической безопасности производства.

Поиск способов, интенсифицирующих процесс извлечения сахарозы из свеклы, направленных на решение проблемы комплексной переработки сырья с получением новых продуктов, является перспективным и актуальным научным направлением в развитии технологии сахара, отвечающей современным требованиям [4].

Еще одним существенным этапом подготовки свекловичной стружки к экстракции является ее обработка реагентами.

При экстрагировании сахара наиболее существенными, с точки зрения обеспечения нормальной работы диффузионных аппаратов, являются физико-химические свойства свекловичной ткани (упругость, твердость и т. д.). При низких значениях этих показателей, из-за слипания отдельных стружинок и их дробления, слой уплотняется. В результате этого уменьшается живое сечение стружечного слоя и затрудняется прохождение экстрагируемой жидкости, что влечет за собой увеличение содержания жома, продолжительности процессов, ухудшение в него нес сахаров. Наиболее полное извлечение сахара из стружки при высоком качестве диффузионного сока может быть достигнуто при таком режиме процесса, когда ткань имеет оптимальные показатели прочности.

Важнейшим элементом подготовки свекловичной стружки к экстракции следует считать обработку ее реагентами, переводящими основной компонент клеточной стенки – пектин в нерастворимое состояние. Переход пектина в раствор сопровождается переходом в раствор непереносимых его спутников – гемицеллюлоз, не удаляемых при последующей очистке и способствующих дополнительному мелассообразованию.

Для подготовки свекловичной стружки к экстрагированию использовали кальцийсодержащий реагент – мелкодисперсный порошок гипса в количестве 0,01–0,30% к массе свекловичной стружки [5]. Введение меньшего количества кальцийсодержащего реагента оказывается недостаточным для сохранения структуры свекловичной ткани и повышения активности пектиновых веществ, входящих в состав целевого продукта. При увеличении же массовой доли гипса больше 0,30% к массе свекловичной стружки повышения модуля упругости свекловичной стружки, а также сорбционной способности пищевых волокон по отношению к воде и ионам тяжелых металлов не наблюдается.

Поскольку карбоксильные группы пектина в свекловичной стружке находятся в связанном состоянии, то есть в этерифицированном виде ($-\text{COOCH}_3$), при обработке CaSO_4 происходит их освобождение путем деэтерификации и образования групп ($-\text{COO}-$), одновременно осаждается нерастворимая соль – пектат кальция. При последующем контакте полученных волокон с ионами тяжелых металлов и радионуклидами последние вытесняют кальций из пектата, занимая его место. Кроме того, обработка стружки кальцийсодержащим реагентом повышает ее реологические свойства, что в свою очередь упростит последующие обработку, промывку и прессование свекломассы.

Далее обработанную гипсом свекловичную стружку подвергают экстрагированию водой при температуре 72–75 °С. Выгруженный из диффузионного аппарата свекловичный жом прессуют до содержания сухих веществ 16–18% для более полного удаления нежелательных веществ, перешедших в растворимое состояние в процессе экстрагирования. Наличие в прессованном жоме некоторого количества ионов SO_4^{2-} предохраняет его от потемнения на следующих этапах. Кроме того, сульфат ионы обладают дезинфицирующим действием, снижают неучтенные потери сахарозы в диффузионном отделении.

Затем жом измельчают до размера частиц 0,5–3,0 мм, что позволяет увеличить поверхность растительной массы с целью улучшения процессов экстрагирования растворимых веществ, ингибирования фермента оксидазы и обесцвечивания. При размере частиц жома меньше 0,5 мм измельченная масса плохо прессуется (стекает через сито прессов); больше 3,0 мм – энзиматические системы, вызывающие потемнение продуктов переработки, не полностью ингибируются при обработке сульфитированной водой.

Далее свекловичную массу обрабатывают паром с температурой 105–115° С, что позволяет удалить специфический свекловичный запах и привкус в результате разложения простых аминов, амидов, жиров и других соединений; увеличить клеточную проницаемость ткани для последующей стадии обесцвечивания сульфитированной водой; инактивировать фермент оксидазу. Такая паровая обработка оказывает также стерилизующее действие. В качестве пара с такой температурой можно использовать вторичный пар III–IV корпусов выпарной установки, что способствовало бы рациональному расходу тепла вторичных энергетических ресурсов на сахарном заводе. Обработка жома паром с более высокой температурой (125–130 °С) приводит к лишнему расходу тепла, к рыхлости ткани, что затрудняет дальнейшее прессование и снижает вододерживающую и сорбционную способности свекловичных волокон.

По окончании паровой обработки растительные волокна прессуют до содержания сухих веществ 16,0–18,0% и подвергают экстракции сульфитированной водой при температуре 45–50 °С до достижения рН смеси 5,6–6,5, что способствует удалению низкомолекулярных веществ (остатков сахарозы, возможных пестицидов, нитратов, солей тяжелых металлов и др.), снижению перехода пектиновых веществ в раствор и более полной инактивации фермента оксидазы, предотвращая потемнение волокон при последующих операциях. Проведение экстракции при температуре выше 50 °С приводит к снижению

адсорбционной способности пищевых волокон, что объясняется переходом в растворимое состояние гидрофильных соединений (белков, пектиновых веществ, некоторых полисахаридов гемицеллюлоз).

Безопасность использования сернистого ангидрида, применяемого для получения сульфитированной воды, заключается в его летучести, за счет чего он легко уходит из среды, особенно при нагревании и контакте с воздухом. В связи с вышеуказанным, объясняется отсутствие стадии отмывания свекломассы от сульфитированной воды.

Далее массу прессуют до содержания сухих веществ 20,0–25,0%, сушат до влажности 5,5–6,5%, что позволяет сохранить качественные характеристики пищевых волокон и увеличить срок их хранения. Высушенную массу волокон измельчают до порошкообразного состояния и рассеивают. Фракцию с размером частиц более 0,4 мм возвращают на измельчение.

Результаты и обсуждение

Состав и свойства пищевых волокон, полученных по предлагаемому способу, в сравнении с ближайшим аналогом, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Состав и свойства пищевых волокон

Table 1.

Composition and properties of dietary fiber

Показатель Index	Ближайший аналог The closest analogue	Предлагаемый способ Suggested method
Влажность, % Water content, %	11–12	5,5–6,5
Состав пищевых волокон, % к массе сухих веществ		
Суммарное количество ПВ Total number of PV	78–84	80–86
Сахар Sugar	2–3	2–3
Минеральные вещества Minerals	3–4	3–4
Фракционный состав пищевых волокон, % к массе сухих веществ Fractional composition of dietary fiber, % to the mass of dry substances		
Целлюлоза Cellulose	20–24	22–26
Гемицеллюлоза Hemicellulose	26–28	31–33
Общий пектин Total Pectin	18–20	23–27
нерастворимый протопектин insoluble protopectin	10–11	13–15
растворимый пектин soluble pectin	8–9	10–12
Лигнин Lignin	4–5	4–5
ВУС, г воды/г ПВ VUS, g water/g PV	5,0–5,5	5,8–6,2
Адсорбционная емкость, мг-экв/г ПВ Adsorption capacity, mg-eq/g PV	16,9–22,4	18,6–24,6
Белизна, ед. прибора Whiteness, unit of the device	83,0–85,0	84,3–87,5
Вкус Taste	Нейтральный	Нейтральный
Запах Smell	Нейтральный	Нейтральный

Данный способ позволяет увеличить суммарное количество (выход) пищевых волокон (ПВ) на 4–6%, в том числе целлюлозы на 2–4%, гемицеллюлозы на 3–5%, пектиновых веществ на 5–6%. Улучшаются функциональные свойства ПВ – увеличиваются водоудерживающая способность (ВУС) на 0,7–0,8 г/г ПВ и адсорбционная емкость на 2,6–7,7 мг-экв/г ПВ. Белизна продукта повышается на 1,3–4,5 ед. прибора. Эффективность данного способа заключается в увеличении сорбционных свойств ПВ путем активизации содержащихся в них пектиновых веществ под действием кальцийсодержащего реагента.

Заключение

Разработанный способ прост, не требует дорогостоящих реактивов, обеспечивает большой выход пищевого волокна из свекловичного жома путем уменьшения потерь основных компонентов в процессе экстрагирования свекловичной стружки, паровой обработки и экстракции свекломассы

сульфитированной водой; позволяет улучшить качество готового продукта за счет снижения цветности и повышения сорбционных свойств, а также получить ценную пищевую добавку, которую можно применять в различных отраслях пищевой промышленности.

Кроме того, данный способ отвечает одному из важнейших направлений повышения эффективности современного производства – созданию малоотходных и безотходных технологий, более широкому вовлечению в хозяйственный оборот вторичных сырьевых ресурсов [6–20].

В этой статье мы рассмотрели несколько наиболее перспективных приемов интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки, а также переработки свекловичного жома с целью получения пищевых волокон, которые могут быть использованы в пищевой промышленности для улучшения качества и функциональности различных продуктов.

Литература

- 1 Лосева В.А., Ефремов А.А., Матвиенко Н.А., Путилина Л.Н. Новые виды продукции из сахарной свёклы // Сахар. 2009. № 3. С. 52–55.
- 2 Сидорченко Е.И., Захарченко Т.Н., Пушанко Н.Н. интенсификация процесса экстрагирования сахарозы с применением электромембранной подготовки реагента // Вестник Алматинского технологического университета. 2015. № 4. С. 11-15.
- 3 Олишевский В.В. и др. Оптимальные параметры процесса экстрагирования сахарозы с применением наноразмерного гидроксида алюминия // Сахар. 2020. № 8. С. 8-11.
- 4 Лоскутов А.Ю., Парахин Р.В. Способы повышения эффективности экстрагирования сахарозы // Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки. 2016. С. 51-53.
- 5 Пат. № 2340678, RU, А 23 L 1/214, С 13 С 3/00. Способ получения пищевого волокна из свекловичного жома / Лосева В.А., Путилина Л.Н., Матвиенко Н.А., Шестова С.М. Опубл. 10.12.08, Бюл. № 34.
- 6 Воробьев Е.И., Майшак Ф. Селективное извлечение сахарозы из свёклы методом электроплазмолиза и его влияние на технологию сахарного производства // Сахар. 2018. № 3. С. 19-27.
- 7 Fasahat P. et al. Sucrose accumulation in sugar beet: From fodder beet selection to genomic selection // Sugar Tech. 2018. V. 20. P. 635-644.
- 8 Hosseini S.Z., Abbasi Souraki B. Simulation of mass transfer during sucrose extraction from sugar beet using a combined analytical and semi-empirical model // Chemical Engineering Communications. 2022. P. 1-12.
- 9 McGrath J.M., Townsend B.J. Sugar beet, energy beet, and industrial beet // Industrial crops: Breeding for bioenergy and bioproducts. 2015. P. 81-99.
- 10 Šereš Z. et al. Application of biocides in the process of sucrose extraction from sugar beet: Effect on sucrose content, number of Leuconostoc colonies and wet pulp characteristics // LWT. 2017. V. 75. P. 17-24.
- 11 Jung B. et al. Identification of the transporter responsible for sucrose accumulation in sugar beet taproots // Nature Plants. 2015. V. 1. № 1. P. 1-6.
- 12 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Several-staged alkaline pressing-soaking of electroporated sugar beet slices for minimization of sucrose loss // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016. V. 36. P. 18-25.
- 13 Pan L. et al. Determination of sucrose content in sugar beet by portable visible and near-infrared spectroscopy // Food chemistry. 2015. V. 167. P. 264-271.
- 14 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Pulsed electric field treatment of sugar beet tails as a sustainable feedstock for bioethanol production // Applied Energy. 2016. V. 162. P. 49-57.
- 15 Ruban N.V., Kulneva N.G., Zhuravlev M.V. Justification of the Energy Efficiency of the Technology for the Thermochemical Preparation of Beet Chips for the Extraction of Sucrose Using Exergy Analysis Methods // Health, Food & Biotechnology. 2021. V. 1. № 3. P. 69-83. doi: 10.36107/hfb.2019.i3.s264
- 16 Zhuravlev M.V., Kulneva N.G., Agafonov G.V., Naumchenko I.S. et al. The rationale for the method of thermochemical processing of beet chips before extraction of sucrose // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 640. № 5. P. 052020. doi: 10.1088/1755-1315/640/5/052020
- 17 Степанова Е.Г., Орлов Б.Ю. Использование электротехнологии и тепловой обработки свекловичной стружки при исследовании процесса экстрагирования сахара // Альманах мировой науки. 2016. № 2-1. С. 36-39.
- 18 Кульнева Н.Г., Беляева Л.А., Белогурова Н.А., Карасева О.М. Эффективный способ экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки // Экономика. Инновации. Управление качеством. 2016. № 3. С. 14а-15.
- 19 Степанова Е.Г. и др. Анализ факторов, влияющих на эффективность экстрагирования сахара из свеклы с применением методов электротехнологии // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2020. С. 257-263.
- 20 Семенов Е.В., Славянский А.А. Расчет процесса обессахаривания свекловичной стружки в диффузионном аппарате // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 1 (20). С. 95-101.


References

- 1 Loseva V.A., Efremov A.A., Matvienko N.A., Putilina L.N. New types of sugar beet products. Sugar. 2009. no. 3. pp. 52-55. (in Russian).
- 2 Sidorchenko E.I., Zakharchenko T.N., Pushanko N.N. intensification of the sucrose extraction process using electromembrane preparation of the reagent. Bulletin of the Almaty Technological University. 2015. no. 4. pp. 11-15. (in Russian).
- 3 Olishovsky V.V. et al. Optimal parameters of sucrose extraction process using nanoscale aluminum hydroxide. Sugar. 2020. no. 8. pp. 8-11. (in Russian).
- 4 Loskutov A.Yu., Parakhin R.V. Ways to increase the efficiency of sucrose extraction. Problems, prospects and directions of innovative development of science. 2016. pp. 51-53. (in Russian).
- 5 Loseva V.A., Putilina L.N., Matvienko N.A., Shestova S.M. A method for obtaining dietary fiber from beet pulp. Patent RF, no. 2340678, 2008.
- 6 Vorobyev E.I., Maishak F. Selective extraction of sucrose from beet by electropasmolysis and its effect on sugar production technology. Sugar. 2018. no. 3. pp. 19-27. (in Russian).
- 7 Fasahat P. et al. Sucrose accumulation in sugar beet: From fodder beet selection to genomic selection. Sugar Tech. 2018. vol. 20. pp. 635-644.
- 8 Hosseini S.Z., Abbasi Souraki B. Simulation of mass transfer during sucrose extraction from sugar beet using a combined analytical and semi-empirical model. Chemical Engineering Communications. 2022. pp. 1-12.
- 9 McGrath J.M., Townsend B.J. Sugar beet, energy beet, and industrial beet. Industrial crops: Breeding for bioenergy and bioproducts. 2015. pp. 81-99.
- 10 Šereš Z. et al. Application of biocides in the process of sucrose extraction from sugar beet: Effect on sucrose content, number of Leuconostoc colonies and wet pulp characteristics. LWT. 2017. vol. 75. pp. 17-24.


- 11 Jung B. et al. Identification of the transporter responsible for sucrose accumulation in sugar beet taproots. *Nature Plants*. 2015. vol. 1. no. 1. pp. 1-6.
- 12 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Several-staged alkaline pressing-soaking of electroporated sugar beet slices for minimization of sucrose loss. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2016. vol. 36. pp. 18-25.
- 13 Pan L. et al. Determination of sucrose content in sugar beet by portable visible and near-infrared spectroscopy. *Food chemistry*. 2015. vol. 167. pp. 264-271.
- 14 Almohammed F., Mhemdi H., Vorobiev E. Pulsed electric field treatment of sugar beet tails as a sustainable feedstock for bioethanol production. *Applied Energy*. 2016. vol. 162. pp. 49-57.
- 15 Ruban N.V., Kulneva N.G., Zhuravlev M.V. Justification of the Energy Efficiency of the Technology for the Thermochemical Preparation of Beet Chips for the Extraction of Sucrose Using Exergy Analysis Methods. *Health, Food & Biotechnology*. 2021. vol. 1. no. 3. pp. 69-83. doi: 10.36107/hfb.2019.i3.s264
- 16 Zhuravlev M.V., Kulneva N.G., Agafonov G.V., Naumchenko I.S. et al. The rationale for the method of thermochemical processing of beet chips before extraction of sucrose. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. vol. 640. no. 5. pp. 052020. doi: 10.1088/1755-1315/640/5/052020
- 17 Stepanova E.G., Orlov B.Yu. The use of electrical technology and heat treatment of beet chips in the study of the sugar extraction process. *Almanac of World science*. 2016. no. 2-1. pp. 36-39. (in Russian).
- 18 Kulneva N.G., Belyaeva L.A., Belogurova N.A., Karaseva O.M. An effective method of extracting sucrose from their beet chips. *Economy. Innovation. Quality management*. 2016. no. 3. pp. 14a-15. (in Russian).
- 19 Stepanova E.G. et al. Analysis of factors affecting the efficiency of sugar extraction from beets using electrotechnology methods. *Modern aspects of production and processing of agricultural products*. 2020. pp. 257-263. (in Russian).
- 20 Semenov E.V., Slavyansky A.A. Calculation of the process of desaccharification of beet chips in a diffusion apparatus. *Izvestiya vuzov. Applied chemistry and biotechnology*. 2017. vol. 7. no. 1 (20). pp. 95-101. (in Russian).

Сведения об авторах


Ольга С. Корнеева д.б.н., профессор, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>


Светлана Ф. Яковлева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>


Наталья А. Матвиенко к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>


Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Екатерина А. Мотина к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, emotina18@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3433-2754>

Галина П. Шуваева к.б.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9536-6512>

Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Bio.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Svetlana F. Yakovleva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>


Natalia A. Matvienko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, natali25_81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4777-003X>


Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and devices for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Ekaterina A. Motina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, emotina18@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3433-2754>

Galina P. Shuvaeva Cand. Sci. (Bio.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9536-6512>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 16/01/2023	После редакции 14/02/2023	Принята в печать 02/03/2023
Received 16/01/2023	Accepted in revised 14/02/2023	Accepted 02/03/2023