

УДК 664.1

Свекловичный жом сахарного производства и перспективы его использования

А. А. Славянский, Д. П. Митрошина*, В. А. Грибкова, В. А. Ермолаев, О. Н. Бондарчук

*Московский государственный университет технологий и управления
им. К. Г. Разумовского, г. Москва, Россия;

e-mail: d_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
31.03.2023;

получена
после доработки
15.05.2023;

принята к публикации
16.05.2023

Ключевые слова:

сахарная
промышленность,
свекловичный жом,
побочные продукты,
экология,
пектиновые вещества,
сахарный сироп

В связи с последними научными достижениями появились новые возможности более глубокой переработки не только сырьевых ресурсов, но и побочной продукции агропромышленного комплекса страны. Свеклосахарное производство является источником ряда побочных продуктов, таких как свекловичный жом, меласса и фильтрационный осадок. Отечественное сахарное производство относится к материалоемким отраслям промышленности, так как объем растительного сырья, а также образующихся побочных продуктов в несколько раз превышает выход готовой продукции – белого сахара. Недостаточное внимание к проблемам более полной переработки побочных продуктов свеклосахарного производства может быть причиной ухудшения экологической обстановки. В настоящее время претерпела обновление не только нормативная документация, регламентирующая качественные показатели используемого сырья и готовой продукции отрасли, но и уточнено определение побочных продуктов сахарного производства, образующихся в производстве белого сахара. В частности побочные продукты свеклосахарной отрасли могут быть использованы для извлечения из них полезных компонентов, пригодных для производства новых пищевых продуктов повышенной пищевой ценности. Основное внимание в статье уделено перспективным направлениям использования свекловичного жома для производства новых видов продуктов питания. Разработан способ производства обогащенного пектиновым экстрактом свекловичного жома сахарного сиропа. Внесение пектинового экстракта свекловичного жома в сироп не только способствует повышению пищевой ценности, но и улучшает его технологические свойства, при этом расширяется линейка новых видов пищевых продуктов и их свойства.

Для цитирования

Славянский А. А. и др. Свекловичный жом сахарного производства и перспективы его использования. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 292–303. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-292-303>.

Beet pulp of sugar production and prospects for its use

Anatoly A. Slavyansky, Daria P. Mitroshina*, Vera A. Gribkova,
Vladimir A. Ermolaev, Olga N. Bondarchuk

*Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Moscow, Russia;
e-mail: d_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Article info

Abstract

Received
31.03.2023;

received
in revised form
15.05.2023;

accepted 16.05.2023

Key words:

sugar industry,
beet pulp,
by-products,
ecology,
pectins,
sugar syrup

Due to the latest scientific achievements new opportunities have appeared for deeper processing of not only raw materials, but also by-products of the country's agro-industrial complex. Beet sugar production is a source of a number of by-products such as beet pulp, molasses and filter cake. Domestic sugar production refers to material-intensive industries, since the volume of vegetable raw materials, as well as by-products formed in the technological process, is several times higher than the yield of finished products – white sugar. Insufficient attention to the problems of more complete processing of by-products of sugar beet production may be the cause of environmental degradation. Currently, not only the regulatory documentation regulating the quality indicators of raw materials used and finished products of the industry has been updated, but also the definition of by-products of sugar production, formed in the production of white sugar, has been clarified. In particular, by-products of the sugar beet industry can be used to extract useful components from them, suitable for the production of new food products with increased nutritional value. The main attention in the paper is paid to promising areas for the use of beet pulp for the production of new types of food products. A method has been developed for the production of sugar syrup enriched with pectin extract of beet pulp. The addition of beet pulp pectin extract to the syrup not only increases the nutritional value, but also improves its technological properties while expanding the range of new types of food products and their properties.

For citation

Slavyansky, A. A. et al. 2023. Beet pulp of sugar production and prospects for its use. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 292–303. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-292-303>.

Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации действует Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды", который определяет вектор развития государственной политики в области экологической безопасности¹. В соответствии с ним одним из приоритетных направлений развития государства является более глубокое использование природных ресурсов, особенно сырьевой базы, а также снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду. Большие массы побочной продукции на предприятиях отрасли могут быть причиной загрязнения почв, воздуха и водных ресурсов. Поэтому проблема их глубокой переработки и утилизации весьма актуальна для всех стран мира. Побочные продукты из растительного сырья могут быть использованы как ценное сырье для производства различной продукции. Преимуществами такого сырья являются возобновляемость, доступность и экологическая безопасность (*Славянский и др., 1984*).

Весомую роль в структуре агропромышленного комплекса занимает свеклосахарная промышленность (*Славянский и др., 2005; Лебедева и др., 2021; Николаева и др., 2021*). В Российской Федерации функционирует около 4500 свеклосахарных хозяйств и порядка 65 сахарных заводов, которые расположены в 25 и в 19 регионах соответственно. В сезоне 2022/23 гг. действовало 65 сахарных заводов. С начала производственного сезона переработано 43,28 млн т сахарной свеклы, что на 5,84 млн т больше чем в сезоне 2021/22, а выработка кристаллического сахара в сезоне 2022/23 г увеличилась на 9 % по сравнению с прошлым сезоном и составила 5,90 млн т (*Донченко и др., 2023*).

В настоящее время свеклосахарная отрасль, как и другие отрасли пищевой промышленности, претерпевает этап пересмотра и обновления нормативной документации. В этом направлении особое внимание обращено не только на пересмотр требований к стандартам, регламентирующим показатели качества основного сырья и продукции отрасли, но и на систему понятий в области терминологии продуктов сахарного производства. В частности, в утвержденном приказом Росстандарта от 9 августа 2018 г. ГОСТ 26884-2018 "Продукты сахарной промышленности. Термины и определения"² введен термин "побочный продукт сахарного производства", который отсутствовал в утратившем силу стандарте ГОСТ 26884-2002³. Согласно этим изменениям в актуализированном стандарте побочными продуктами сахарного производства являются дополнительные продукты, которые образуются при производстве сахара. Такая побочная продукция может быть сырьем для производства новых видов различных компонентов, а также использоваться в качестве готовой продукции в других сферах народного хозяйства. В настоящее время в соответствии с ГОСТ 26884-2018 побочными продуктами сахарного производства являются свекловичный жом, меласса, фильтрационный осадок. Кроме того перечень основной побочной продукции сахарного производства существенно расширен. Так, по новому стандарту, жом вырабатывают сырой, глубокого отжатия, сушеный, сушеный в рассыпном виде, гранулированный сушеный, мелассированный сушеный. Ранее в соответствии с ГОСТ 26884-2002 жом подразделялся на кислый, прессованный, сушеный, обогащенный, брикетированный (гранулированный). Определение термина "меласса" в стандартах совпадает, однако новый стандарт уточняет и ее происхождение (свекловичная или тростниковая сахара-сырца), а также дополнительно в него включено понятие "обессахаренная меласса". Что касается фильтрационного осадка (ГОСТ 26884-2002), то под ним понимали "совокупность твердых частиц с жидкостью", тогда как по новому ГОСТ (26884-2018) фильтрационный осадок переходит в раздел побочной продукции сахарного производства. При этом его трактуют как отфильтрованные частицы карбоната кальция с адсорбированными на их поверхности несахарами.

По информации "Союзроссахар" в производственном сезоне 2021/22 гг. в РФ выработано 30 млн т сырого свекловичного жома и 1,55 млн т гранулированного жома. Прогнозируется увеличение выработки сырого и гранулированного жома в сезоне 2022/23 гг. до 35 млн т и 1,77 млн т соответственно. Ранее экспорт гранулированного жома составлял 83–89 % от общего объема. Причем основными потребителями отечественного жома являлись страны ЕС (около 81 %), Турция и Китай (суммарно 5–15 %), а доля его экспорта в другие страны колебалась от 1 до 5 %. Вместе с тем по причине ряда ограничений на вывоз из РФ растительных отходов в ЕС экспорт гранулированного жома летом 2022 г. составил примерно 289 тыс. т, а основными странами-потребителями его стали Турция и Китай (*Донченко и др., 2023; Славянский и др., 2022*).

Учитывая сложившуюся экономическую обстановку, на сегодняшний день некоторую трудность представляет поиск новых рынков сбыта гранулированного жома. В этой ситуации потребление его внутри страны приобретает особую актуальность (*Ермолаев и др., 2022*).

Свекловичный жом в основном используют для приготовления кормов. Причем для сохранения питательной ценности его высушивают до влажности не более 14 %. Вместе с тем он имеет широкий

¹ Об охране окружающей среды : федер. закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022) // Собрание законодательства РФ. 2002. № 2. Ст. 133. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/.

² ГОСТ 26884-2018. Продукты сахарной промышленности. Термины и определения. М., 2018. 20 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160119>.

³ ГОСТ 26884-2002. Продукты сахарной промышленности. Термины и определения. М., 2012. 12 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030879>.

спектр потенциальных применений в области производства различных химических соединений. Известно, что из 1 т жома может быть выработано 180 кг свекловичного пектина. Химический состав свекловичного жома включает в себя 22–25 % целлюлозы, 21–23 % гемицеллюлозы, 1,8–2,5 % азотистых веществ, 0,8–1,3 % золы, 0,15–0,20 % сахарозы (Зобова и др., 2021; Тужилкин и др., 2012; Штерман и др., 2015). В табл. 1 приведен химический состав сушеного жома.

Таблица 1. Химический состав сушеного жома
Table 1. Chemical composition of dried beet pulp

Наименование	Содержание, %
Азотистые вещества	3,6
Безазотистые экстрактивные вещества	61,1
Сырая клетчатка	17,6
Сырой протеин	7,9
Сырой жир	0,5
Зола	9,3
Влажность	13,0–14,0

Кроме того, в свекловичном жоме содержатся различные аминокислоты, минеральные вещества и витамины (табл. 2 и 3) (Зобова и др., 2021; Славянский и др., 2022).

Таблица 2. Содержание аминокислот в сушеном жоме
Table 2. The content of amino acids in dried beet pulp

Наименование	Содержание, г/1 кг
Лизин	6,1
Метионин	0,60
Триптофан	0,57
Аргинин	2,44
Гистидин	1,24
Треонин	2,91
Изолейцин	1,9
Лейцин	3,67
Валин	3,28
Фенилаланин	2,14
Аспаргиновая кислота	4,59
Серин	3,20
Глутаминовая кислота	7,86
Пролин	2,64
Глицин	2,81
Аланин	2,99
Тирозин	2,62

Таблица 3. Содержание минеральных веществ и витаминов в сушеном жоме
Table 3. The content of minerals and vitamins in dried beet pulp

Наименование	Содержание
Минеральные вещества, г/1 кг	
Кальций	5,0
Фосфор	2,0
Калий	3,4
Магний	2,9
Цинк	15,6
Йод	1,7
Витамины, мг/кг	
V ₁	0,4
V ₂	0,7
V ₃	1,5
V ₅	1,6

Содержащиеся в жоме различные компоненты позволяют рассматривать его в качестве сырья для синтеза различных химических соединений. Так, в состав свекловичного жома входит феруловая кислота, которая путем микробиологической трансформации может быть преобразована в ванилин (*Jiménez-Islas et al., 2022; Saulnier et al., 1999*). В связи с тем, что состав свекловичного жома в основном представлен клетчаткой (целлюлозой), он может служить сырьем для получения карбоксиметилцеллюлозы, которая является наиболее важным водорастворимым производным целлюлозы. Ее получение основано на реакции этерификации – образовании сложных эфиров при взаимодействии кислот и спиртов. На сегодняшний день карбоксиметилцеллюлоза и ее производные широко применяются в качестве загустителя в пищевой и парфюмерно-косметической промышленности, фармацевтике и т. д. (*Katakojwala et al., 2019; Iwuozor et al., 2022; Nair et al., 2016; Gavahian et al., 2019; Sharma et al., 2020; Marzo et al., 2019*).

Свекловичный жом может быть использован в качестве источника биоактивных соединений для получения пищевых продуктов с повышенной пищевой ценностью. Суточная потребность организма человека в пектиновых веществах составляет 2–4 г. Потребность пищевой промышленности в пектине составляет более 10 тыс. т в год. Пектиновые вещества относятся к семейству содержащихся в клеточных стенках растений гетерополисахаридов (*Dranca et al., 2018*). Гидроколлоиды пектинов представляют собой весьма ценные пищевые ингредиенты, которые нашли применение как в пищевой, так и в парфюмерно-косметической и фармацевтической отраслях промышленности. В основном, пектиновые вещества применяют в качестве желеобразующего агента при производстве кондитерских изделий, напитков, соусов, консервной продукции и т. д. Они также обладают биомедицинскими свойствами, поскольку способны оказывать влияние на содержание холестерина в крови, снижать риск развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний и др. На свойства пектиновых веществ в значительной степени влияет их структура, а значит не весь пектин подходит для потенциального применения в пищевой или фармацевтической промышленности.

В настоящее время чаще используются пектиновые вещества из цитрусовых (их кожуры) и яблочных выжимок. Причем особое внимание уделяется получению пектиновых веществ из альтернативных источников, в том числе из свекловичного жома. В его химический состав входит 25–30 % пектиновых веществ, что примерно соответствует их содержанию в яблочных выжимках (15–25 %) и кожуре цитрусовых плодов (30–35 %). Пектиновые вещества сахарной свеклы содержат большое количество ацетильных групп и нейтральных сахаров с более низкой молекулярной массой и из-за белков, ковалентно связанных в боковых цепях, обладают малой гелеобразующей способностью по сравнению с яблочным и цитрусовым пектином. Таким образом, несмотря на доступность, более полное извлечение и низкую стоимость свекловичного пектина, он еще находит незначительное применение в качестве студнеобразователя, хотя обладает значительными эмульгирующими свойствами, а в присутствии солей кальция может образовывать прочные студни.

Наиболее широко распространено получение пектиновых веществ из свекловичного жома по "кислотно-спиртовой" технологии (рис. 1). Данная технология предусматривает несколько последовательных этапов: подготовка сырья и его гидролиз, коагуляция пектина этиловым спиртом или солями металлов, промывание коагулята спиртом, сушка пектина и его помол, фракционирование с помощью сит, упаковка (*Риянова и др., 2017*).

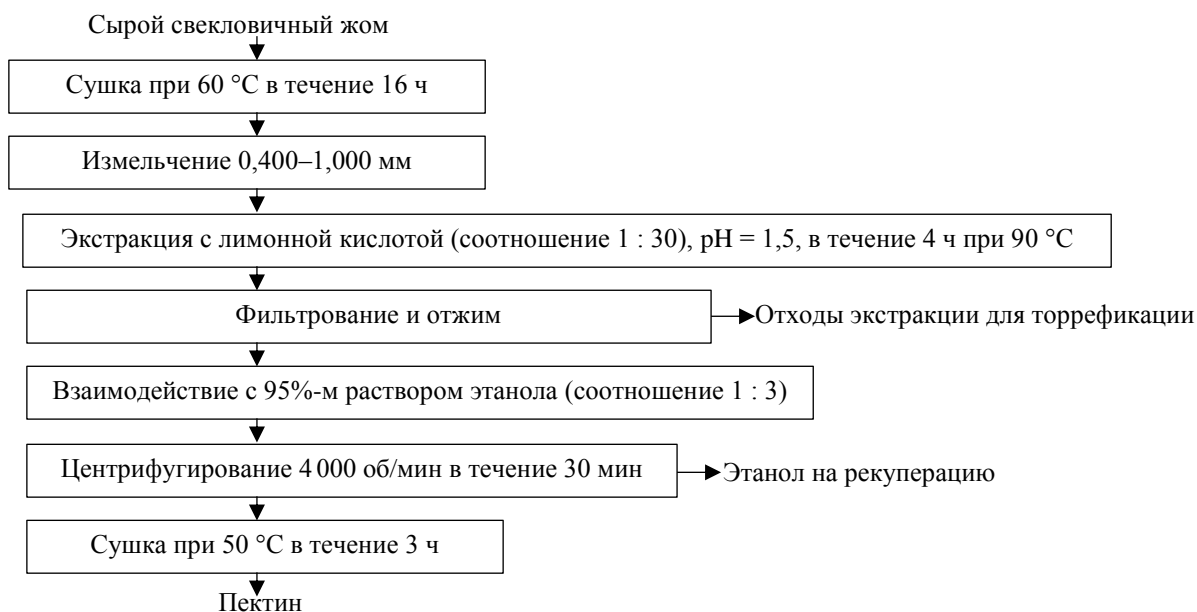


Рис. 1. Блок-схема получения пектина (*Риянова и др., 2017*)
Fig. 1. Flowchart for obtaining pectin (*Riyanova et al., 2017*)

В этой связи одним из перспективных направлений развития свеклосахарной отрасли является производство новых видов разнообразных пектинсодержащих продуктов: пищевых волокон, пюре, экстрактов, концентратов, сухого пектина и т. д. Помимо этого пектиновые вещества представляют собой весьма востребованные функциональные ингредиенты для различных слоев населения, а также для производства продуктов лечебного и профилактического питания.

Учитывая, что пектин представляет собой неотъемлемую часть рациона питания человека, цель исследования – разработка новых пектинсодержащих сахарных продуктов.

Материалы и методы

В пищевой промышленности нашли широкое применение сиропы для производства различных продуктов питания. По ГОСТ 28499-2014⁴ сиропы – это растворы с концентрацией сухих веществ не менее 50,0 %. В соответствии со стандартом их классифицируют по способу обработки (пастеризованные и непастеризованные, с применением или без применения консервантов, холодного, горячего или асептического розлива), по внешнему виду (прозрачные и непрозрачные), а также подразделяют на группы в зависимости от используемого сырья, его содержания в готовом продукте, технологии производства и назначения (табл. 4).

Таблица 4. Основные виды сиропов
Table 4. Main types of syrups

Название сиропов	Состав	Применение
Сироп с соком	Изготовлен на основе сока (натурального или концентрированного и (или) спиртового), допускается наличие ароматизаторов, подсластителей и т. д.	Производство алкогольных и безалкогольных напитков, кондитерской промышленности и др.
Сироп на ароматизаторах	Содержит ароматические вещества или их композиции (ароматизаторы, эфирные масла и т. д.)	Кондитерская, хлебобулочная промышленность и др.
Сироп на растительном сырье	Преобладает использование экстрактов, настоев, композиций растительного сырья и т. д.	Производство алкогольной и безалкогольной продукции, кондитерская промышленность и др.
Сироп специального назначения (установлены требования к содержанию отдельных веществ или всех веществ и т. д.)	Требования указаны в ГОСТ 28499-2014 ⁵	Изготавливается с целью безопасного употребления отдельными категориями людей

В кондитерском производстве в качестве основного сырья используют кристаллический белый сахар, но для получения различных кондитерских изделий его необходимо перевести в растворенное состояние и далее подвергнуть технологической обработке, поэтому в кондитерской промышленности сахарный сироп представляет собой полуфабрикат производства⁶.

В течение последних двух десятилетий существенно расширились представления о влиянии питания на здоровье человека. В связи с изменением условий жизни современного человека в сторону их урбанизации, а также новых представлений о культуре питания, сегодня актуально направление на создание пищевых продуктов, уменьшающих риск возникновения алиментарно-зависимых заболеваний. К ним следует отнести и продукцию, обогащенную низкометоксилированным пектином. Так, был разработан способ производства сахарного сиропа (*Способ...*, 2018), обогащенного пектиновым экстрактом (рис. 2).

Разработанная технология предусматривает растворение кристаллического белого сахара в горячей воде при постоянном перемешивании. С целью повышения пищевой ценности сахарного сиропа в него дополнительно вносят пектиновый экстракт, содержащий 1,5–3,5 % пектина при pH 4,0–6,0. Затем при температуре 85–90 °C содержание сухих веществ в растворе доводят до 65–72 %. Далее с целью

⁴ ГОСТ 28499-2014. Сиропы. Общие технические условия. М., 2018. 8 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115088>.

⁵ Там же.

⁶ ГОСТ Р 53041-2008. Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. М., 2019. 16 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200073044>.

интенсификации перемешивания пектинового экстракта и растворения кристаллов сахара обогащенный сахарный сироп подвергают кавитационно-кумулятивной обработке в суперкавитирующем статическом аппарате, подача сиропа происходит со скоростью 10–15 м/с.

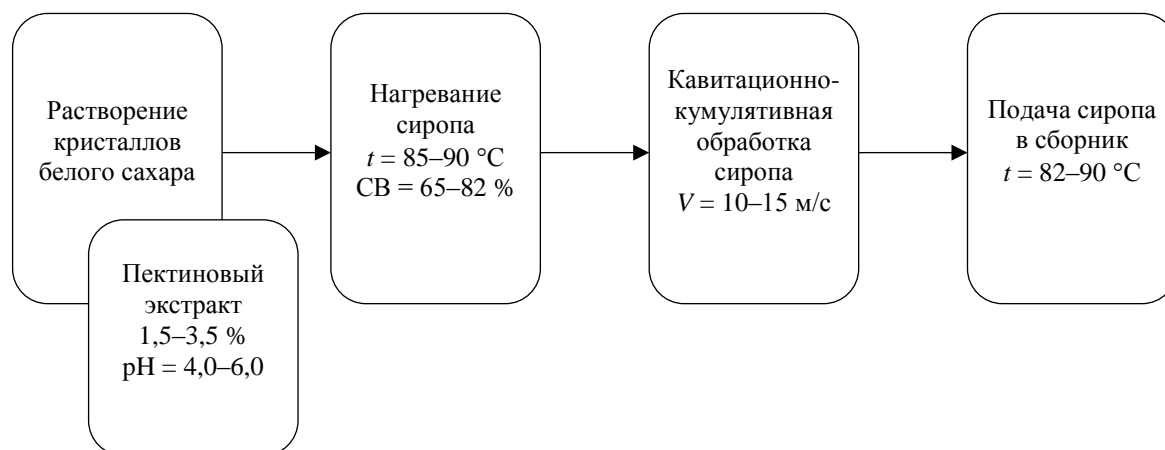


Рис. 2. Схема производства сахарного сиропа с экстрактом пектина
Fig. 2. Scheme for the production of sugar syrup with pectin extract

Кавитация возникает при местном понижении давления в жидкости (Сергеева и др., 2021; Уколов и др., 2021). С возрастанием интенсивности кавитационного воздействия на обрабатываемую жидкость могут возникать колебания и зарождаться пузырьки, которые по достижению максимального размера или при столкновении с относительно высоким давлением, схлопываются, причем в результате этого коллапса в окружающую жидкость выделяется значительное количество энергии в механической, термической и химической форме. В результате гидродинамической кавитации в жидкости образуются ударные волны, микроструи, а также при схлопывании пузырьков возникает высокое напряжение сдвига. На рис. 3 представлено схематическое изображение процесса схлопывания кавитационного микропузырька, пронизываемого микроструей.

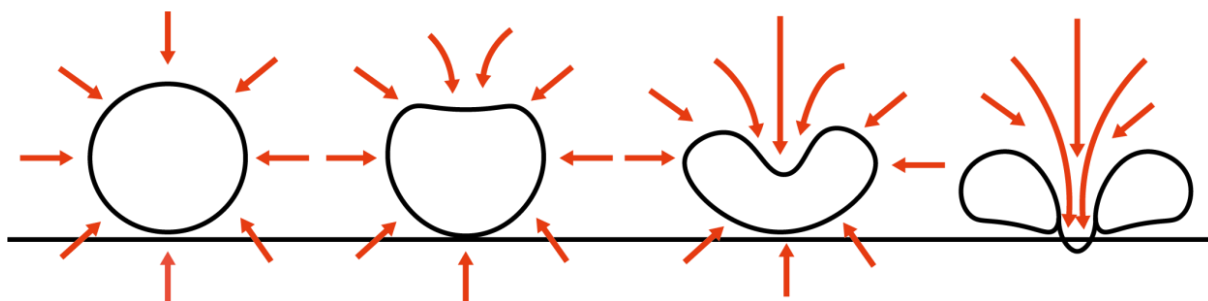


Рис. 3. Процесс схлопывания кавитационного пузырька, пронизываемого микроструей
Fig. 3. The process of collapse of a cavitation bubble penetrated by a liquid microjet

При схлопывании пузырек складывается и проникает через микрострую жидкости. В результате схлопывания вокруг пузырьков наблюдается местное повышение температуры и интенсификация процесса перемешивания сиропа, также благодаря конденсированию пузырьков пара растворяются мелкие кристаллы сахара и исчезают возможные флотационные образования центров кристаллизации сахара в высококонцентрированном сиропе.

После кавитационно-кумулятивной обработки сироп насосом подают в сборник готового сахарного сиропа, где его хранят при температуре 85–90 °С.

Полученный по разработанному способу сахарный сироп исследовали на соответствие требованиям ГОСТ 28499-2014 по органолептическим показателям (ГОСТ ISO 6658-2016⁷).

Для определения содержания в сиропе с пектиновым экстрактом кристаллов сахара и новых центров кристаллизации его изучали под микроскопом с различной степенью увеличения. Анализ проводили

⁷ ГОСТ ISO 6658-2016. Органолептический анализ. Методология. Общее руководство. М., 2016. 20 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139405>.

по методике, зафиксированной в ГОСТ 29245-91⁸. Контроль качества сиропа осуществлялся сразу на выходе из суперкавитирующего статического аппарата и затем каждые 10 минут в течение часа из сборника готового сиропа. При обнаружении кристаллов сахара их отделяли от сиропа с помощью фильтрации через мембранный фильтр с последующим пересчетом на массу сиропа.

На следующем этапе исследования проводился подбор диапазона концентраций вводимого в сироп пектинового экстракта для создания продукта с желаемыми текстурными характеристиками. Измерение вязкости сахарного сиропа с добавлением пектинового экстракта в диапазоне концентраций от 0,15 до 4 % проводили с использованием ротационного вискозиметра Fungilab SMART. Метод базируется на том, что образцы сиропа с различной концентрацией пектинового экстракта помещают в малый зазор между двумя телами, причем одно из них неподвижно, а другое (ротатор ротационного вискозиметра) совершает вращение с постоянной скоростью. Вращение ротора передается к неподвижной поверхности в результате движения вязкой среды, а также отсутствия проскальзывания среды у поверхностей тела, поэтому момент вращения ротора вискозиметра является мерой вязкости.

Текстурные характеристики нового вида сиропа изучали с применением консистометра Боствика LD-BC24 FungiLab. Метод основан на измерении расстояния протекания сиропа по поверхности прибора под действием собственной массы за определенное время. Чем выше скорость движения образца, тем ниже его вязкость.

Пищевую ценность определяли расчетным методом по таблицам химического состава⁹.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования были получены результаты по органолептическому анализу разработанного сахарного сиропа с пектиновым экстрактом. Согласно ГОСТ 28499-2014 сиропы по органолептическим характеристикам должны быть прозрачными и не содержать в своем составе взвешенных частиц. Обогащенный пектиновым экстрактом сахарный сироп обладает сладким вкусом без постороннего запаха, имеет вязкую консистенцию без посторонних включений, а по внешнему виду представляет собой непрозрачную темно-желтую жидкость. Сравнительный анализ пищевой ценности традиционного сахарного сиропа и сиропа с пектиновым экстрактом представлен в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительный анализ пищевой ценности сахарных сиропов
Table 5. Comparative analysis of the nutritional value of sugar syrups

Показатель	Количество, на 100 г	
	Сахарный сироп	Сахарный сироп с добавлением пектинового экстракта свекловичного жома, содержащим 3,5 % пектина
Калорийность, кКал	320,00	295,28
Белки, г	0	0,12
Жиры, г	0	0
Углеводы, г	80	72,4
Пищевые волокна, г	0	2,6
Вода, г	20	26,5

Как пищевой продукт сахарный сироп обладает пониженной пищевой, но высокой энергетической ценностью. По сравнению с традиционным сахарным сиропом, разработанный сироп имеет более высокую пищевую ценность благодаря наличию в нем пищевых волокон – веществ, которые не перевариваются пищеварительными ферментами организма человека, однако они могут быть переработаны полезной микрофлорой кишечника.

Результаты определения содержания в сиропе кристаллов сахара были сравнены с сахарным сиропом, полученным путем растворения в горячей воде при перемешивании за счет барботирования паром до достижения в нем 65–72 % сухих веществ (рис. 4).

Из приведенных данных рис. 4 видно, что способ производства сиропа с экстрактом пектина с использованием гидродинамической кавитации по сравнению с известной технологией производства сахарного сиропа позволяет полностью исключить в нем наличие кристаллов сахара, а также новых центров его кристаллизации.

⁸ ГОСТ 29245-91. Консервы молочные. Методы определения физических и органолептических показателей. М., 2009. 6 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021675>.

⁹ Тутельян В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник. М. : ДеЛи плюс. 2012. 283 с.

Чтобы оценить влияние экстракта на реологические свойства сахарного сиропа в ходе исследования, проводилась оценка вязкости сиропа с добавкой экстракта пектина в количестве от 0,15 до 4 %, содержащим 68 % сухих веществ при pH 4,0–6,0 (рис. 5).

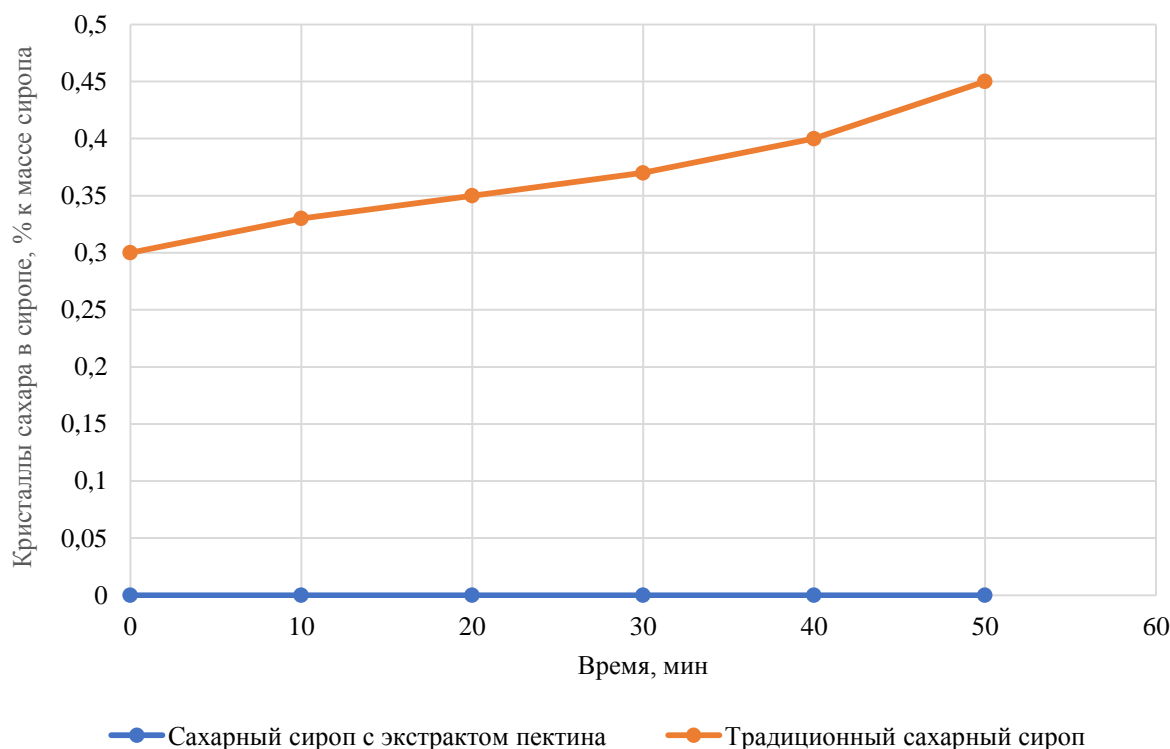


Рис. 4. Анализ сиропа на наличие кристаллов
Fig. 4. Analysis of the syrup for the presence of crystals

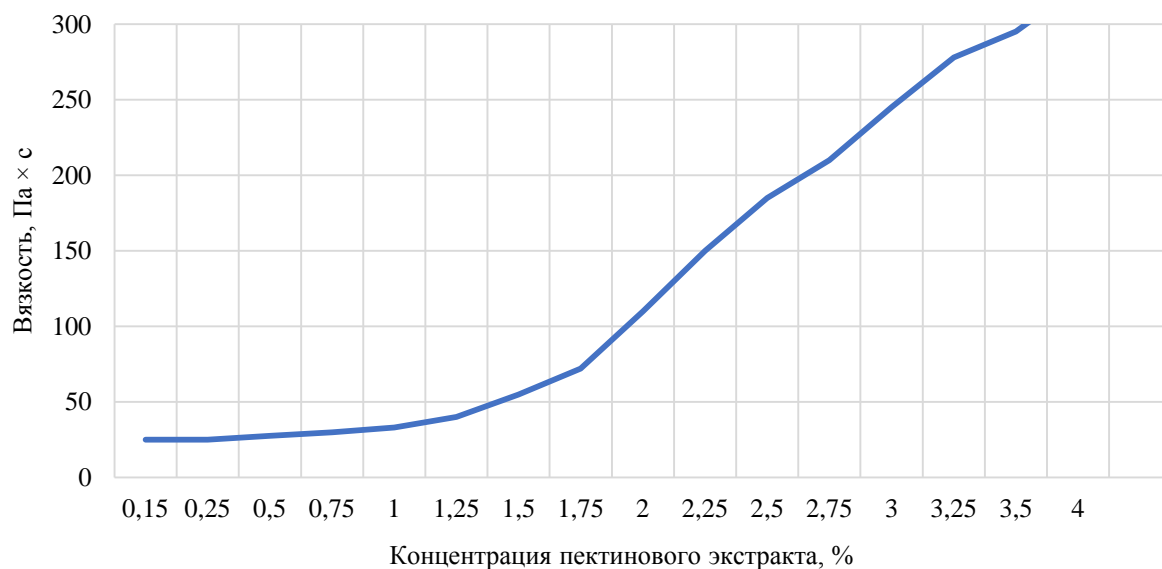


Рис. 5. Изменение вязкости сахарного сиропа в зависимости от концентрации пектинового экстракта
Fig. 5. Change in the viscosity of sugar syrup depending on the concentration of pectin extract

Анализ данных показывает, что с увеличением концентрации пектина в сиропе растет и его вязкость. Свекловичный пектин повышал вязкость растворов сахарозы с 25 до 295 Па×с при концентрациях пектина от 0,1 до 4 % соответственно. Установлено, что для производства обогащенного пектиновыми веществами сиропа наиболее целесообразно добавлять пектин в диапазоне концентраций 1,5–3,5 %. Содержание пектина в экстракте менее 1,5 % увеличивает количество порций экстракта, что экономически не целесообразно.

При повышенной концентрации пектина в экстракте (более 3,5 %) значительно увеличивается вязкость сахарного сиропа, что существенно усложняет его дальнейшее использование.

Консистенцию сахарного сиропа после кавитационной обработки определяли при аналогичных условиях с помощью механического консистометра Боствика. Результаты измерения представлены на рис. 6.

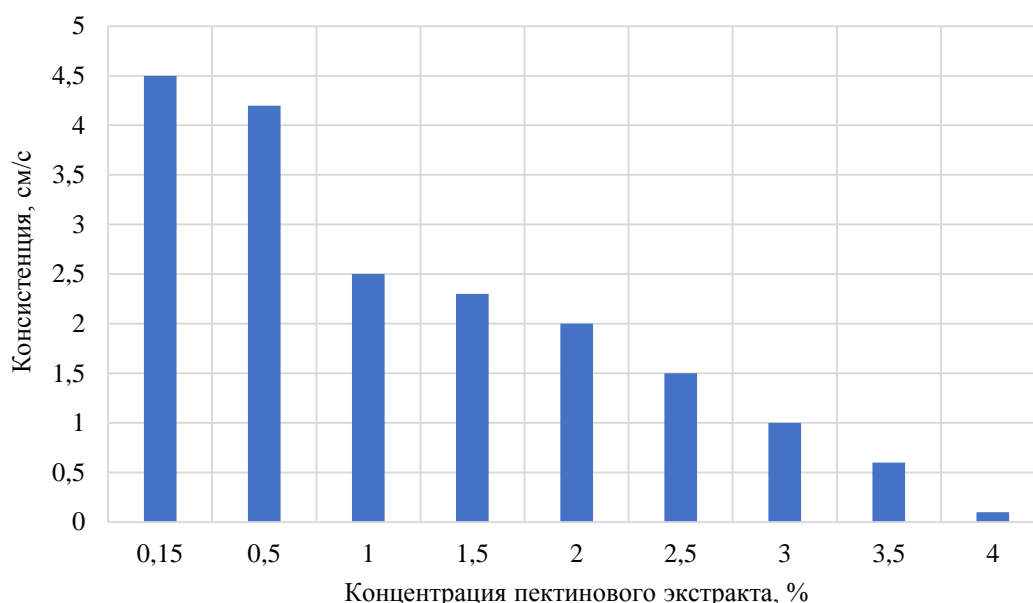


Рис. 6. Изменение консистенции сахарного сиропа после кавитационной обработки в зависимости от концентрации пектинового экстракта

Fig. 6. Change in the consistency of sugar syrup depending on the concentration of pectin extract

Пектиновые вещества в растворе находятся в виде гомогенно диспергированных молекул. С увеличением концентрации пектина в растворе расстояние между молекулами пектина уменьшается, облегчая таким образом межмолекулярные взаимодействия. Исходя из данных, приведенных на рис. 6, видно, что свекловичный пектин существенно влияет на консистенцию сахарного сиропа. Увеличение концентрации экстракта свекловичного пектина в сиропе приводит к возрастанию его консистенции. Таким образом, способность экстракта свекловичного пектина к гелеобразованию и комплексообразованию делает его незаменимым компонентом при изготовлении продуктов, обладающих лечебно-профилактическим действием. Пектиновый экстракт увеличивает вязкость сахарного сиропа, благодаря чему можно сократить количество сахара для его производства, а следовательно, понизить энергетическую ценность получаемого продукта.

Заключение

Пектиновые вещества свекловичного жома могут быть использованы в качестве ценных ингредиентов для производства новых видов продуктов питания. В ходе исследования разработана технология получения сахарного сиропа с добавлением экстракта свекловичного пектина, содержащего 1,5–3,5 % пектина. Уточнены его органолептические характеристики и реологические свойства. Показано, что при содержании в сиропе более 3,5 % пектина его вязкость увеличивается до 325 Па·с. При концентрации пектина менее 1,5 % вязкость сиропа достигает 55 Па·с, т. е. снижается. Готовый сироп может быть использован для производства напитков, а также хлебобулочных и кондитерских изделий. Введение экстракта пектина свекловичного жома в сахарный сироп позволит улучшить его качественные показатели, а также расширить ассортимент продуктов повышенной пищевой ценности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Донченко Л. В., Ластков Д. О. Об актуальности глубокой переработки свекловичного жома в современных условиях // Сахар. 2023. № 2. С. 40–45. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-2-40-45 EDN: GCVDHN.
- Ермолаев В. А., Славянский А. А., Митрошина Д. П., Фёдоров Д. Е. Теплофизический расчет сушки свекловичного жома // Сахар. 2022. № 4. С. 20–24. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-4-20-24. EDN: СНТВВВ.
- Зобова С. Н., Остриков А. Н., Фролова Л. Н., Копылов М. В. [и др.]. Влияние технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе //

- Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83, № 1(87). С. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-71-77>. EDN: FGNCIK.
- Лебедева Н. Н., Славянский А. А., Митрошина Д. П. Усовершенствование процесса кристаллизации сахарозы // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, Ижевск, 11–13 ноября 2020 г. Ижевск, 2021. С. 135–140. EDN: TNEESM.
- Николаева Н. В., Митрошина Д. П., Славянский А. А., Грибкова В. А. [и др.]. Кристаллы сахарозы как основа сахаросодержащих продуктов // Сахар. 2021. № 8. С. 34–39. DOI: [10.24412/2413-5518-2021-8-34-38](https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-8-34-38). EDN: ONLDGW.
- Рянова Э. Э., Кострюкова Н. В. Получение пектина из свекловичного жома // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4–1(58). С. 98–101. DOI: [10.23670/IRJ.2017.58.114](https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.58.114). EDN: YKMOPI.
- Сергеева И. Ю., Рябоконева Л. А., Чигина Т. С. Перспективы применения кавитации в пищевой промышленности // Проблемы и перспективы современной научной мысли в России и за рубежом : сб. тез. III Междунар. конф., Кемерово, 15 ноября 2021 г. Кемерово, 2021. С. 53–55. EDN: BRIMXE.
- Славянский А. А., Митрошина Д. П., Грибкова В. А., Ермолаев В. А. Основные отходы сахарного производства и их использование // Сахар. 2022. № 12. С. 30–37. EDN: DSHKOS.
- Славянский А. А., Мойсеяк М. Б., Диденко В. М., Петрова Л. С. Применение пищевых ПАВ для интенсификации технологических процессов продуктового отделения сахарного завода. М. : МГУПП, 2005. 22 с. EDN: YJCART.
- Славянский А. А., Сапронов А. Р., Лобанова А. П., Пугачев В. А. [и др.]. Улучшение условий работы продуктового отделения на Чимшинском сахарном заводе // Сахарная промышленность. 1984. № 10. С. 22–25. EDN: EECNCT.
- Способ получения сахарного сиропа : пат. № 2644552 С1 Рос. Федерация / А. А. Славянский, П. А. Столяренко № 2016135562 ; заявл. 02.09.2016 ; опубл. 13.02.2018. URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet.
- Тужилкин В. И., Штерман С. В. Сахар в современном мире // Сахар. 2012. № 9. С. 44–51. EDN: PLLWJV.
- Уколов А. И., Родионов В. П., Уколова Ю. В. Использование гидродинамической кавитации на основных этапах пищевых процессов приготовления напитков // сб. тез. докладов участников пула научно-практических конференций. Керчь : КГМТУ, 2021. С. 134–137. URL: https://kgmtu.ru/documents/nauka/2021/Sbornik_Tezisov_Sochi_2021.pdf. EDN: PHVVEM.
- Штерман С. В., Тужилкин В. И., Штерман В. С., Уразбаева К. А. [и др.]. Современные направления промышленного применения сахарозы // Сахар. 2015. № 7. С. 44–47. EDN: UGRGGT.
- Dranca F., Oroian M. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications // Food Research International. 2018. Vol. 113. P. 327–350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>.
- Gavahian M., Munekata P. E. S., Eş I., Lorenzo J. M. [et al.]. Emerging techniques in bioethanol production: from distillation to waste valorization // Green Chemistry. 2019. Vol. 21, Iss. 6. P. 1171–1185.
- Iwuzor K. O., Emenike E. C., Ighalo J. O., Eshiemogie S. [et al.]. Valorization of sugar industry's by-products: A perspective // Sugar Technology. 2022. Vol. 24, Iss. 4. P. 1052–1078. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01143-1>.
- Jiménez-Islas D., Pérez-Romero M. E., Ventura-Cruz I., Flores-Romero M. B. Sugar beet pulp and research efforts to diversify its use // Sugar Beet Cultivation, Management and Processing / eds.: V. Misra, S. Srivastava, A. K. Mall. Springer, Singapore, 2022. P. 955–969. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_47.
- Katakajwala R., Kumar N. A., Chakraborty D., Mohan V. S. Valorization of sugarcane waste: Prospects of a biorefinery // Industrial and Municipal Sludge. Emerging Concerns and Scope for Resource. Butterworth-Heinemann. 2019. P. 47–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815907-1.00003-9>.
- Marzo C., Díaz A. B., Caro I., Blandino A. Status and perspectives in bioethanol production from sugar beet // Bioethanol Production from Food Crops. 2019. P. 61–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00004-7>.
- Nair R. B., Taherzadeh M. J. Valorization of sugar-to-ethanol process waste vinasse: A novel biorefinery approach using edible ascomycetes filamentous fungi // Bioresource Technology. 2016. Vol. 221. P. 469–476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.074>.
- Saulnier L., Thibault J.-F. Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxylans // Journal of the Science of Food and Agriculture. 1999. Vol. 79, Iss. 3. P. 396–402. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990301\)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B).
- Sharma D., Saini A. Lignocellulosic waste valorization and biorefineries concept // Lignocellulosic Ethanol Production from a Biorefinery Perspective. Springer, Singapore, 2020. P. 195–215. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4573-3_7.

References

- Donchenko, L. V., Lastkov, D. O. 2023. On the relevance of deep processing of sugar beet pulp in modern conditions. *Sakhar*, 2, pp. 40–45. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-2-40-45 EDN: GCVDDH. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A., Slavyansky, A. A., Mitroshina, D. P. et al. 2022. Thermophysical calculation of sugar beet pulp drying. *Sakhar*, 4, pp. 20–24. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-4-20-24. EDN: CHTBWB. (In Russ.)
- Zobova, S. N., Ostrikov, A. N., Frolova, L. N., Kopylov, M. V. et al. 2021. Influence of technological regimes on changes in the composition of sugar beet pulp during its processing at the Borinsky sugar factory. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(1–87), pp. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-71-77>. EDN: FGNCIK. (In Russ.)
- Lebedeva, N. N., Slavyansky, A. A., Mitroshina, D. P. 2021. Improving the process of sucrose crystallization. In coll. articles *The development of engineering education and its role in the technical modernization of the agro-industrial complex*. Izhevsk, pp. 135–140. EDN: TNEESM. (In Russ.)
- Nikolaeva, N. V., Mitroshina, D. P., Slavyansky, A. A. et al. 2021. Sucrose crystals as the basis of sugar-containing products. *Sakhar*, 8, pp. 34–39. DOI: 10.24412/2413-5518-2021-8-34-38. EDN: ONLDGW. (In Russ.)
- Riyanova, E. E., Kostryukova, N. V. 2017. Obtaining pectin from sugar beet pulp. *International Research Journal*, 4–1(58), pp. 98–101. DOI: 10.23670/IRJ.2017.58.114. EDN: YKMOPJ. (In Russ.)
- Sergeeva, I. Yu., Ryabokoneva, L. A., Chigina, T. S. 2021. Prospects for the use of cavitation in the food industry. In coll. articles *Problems and prospects of modern scientific thought in Russia and abroad*. Kemerovo, pp. 53–55. EDN: BRIMXE. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Mitroshina, D. P., Gribkova, V. A., Ermolaev, V. A. et al. 2022. The main wastes of sugar production and their use. *Sakhar*, 12, pp. 30–37. EDN: DSHKOS. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Moiseyak, M. B., Didenko, V. M., Petrova, L. S. et al. 2005. The use of food surfactants for the intensification of technological processes of the food department of a sugar factory. Moscow. EDN: YJCAPT. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Saprnov, A. R., Lobanova, A. P., Pugachov, V. A. et al. 1984. Improving the working conditions of the grocery department at the Chimshinsky sugar factory. *Sakharnaya promyshlennost'*, 10, pp. 22–25. EDN: EECHCT. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Stolyarenko, P. A. 2018. Method of producing sugar solution, Russian Federation, Pat. 2644552 C1. (In Russ.) URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet.
- Tuzhilkin, V. I., Shterman, S. V. 2012. Sugar in the modern world. *Sakhar*, 9, pp. 44–51. EDN: PLLWJV. (In Russ.)
- Ukolov, A. I., Rodionov, V. P., Ukolova, Yu. V. 2021. The use of hydrodynamic cavitation at the main stages of food processes in the preparation of drinks. *Collection of abstracts of reports of participants in the pool of scientific and practical conferences*. Kerch, pp. 134–137. URL: https://kgmtu.ru/documents/nauka/2021/Sbornik_Tezisov_Sochi_2021.pdf. EDN: PHVVEM. (In Russ.)
- Shterman, S. V., Tuzhilkin, V. I., Shterman, V. S. et al. 2015. Modern directions of industrial application of sucrose. *Sakhar*, 7, pp. 44–47. EDN: UGRGGT. (In Russ.)
- Dranca, F., Oroian, M. 2018. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, pp. 327–350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>.
- Gavahian, M., Munekata, P. E. S., Eş, I., Lorenzo, J. M. et al. 2019. Emerging techniques in bioethanol production: from distillation to waste valorization. *Green Chemistry*, 21(6), pp. 1171–1185.
- Iwuozor, K. O., Emenike, E. C., Ighalo, J. O., Eshiemogie, S. et al. 2022. Valorization of sugar industry's by-products: A perspective. *Sugar Technology*, 24(4), pp. 1052–1078. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01143-1>.
- Jiménez-Islas, D., Pérez-Romero, M. E., Ventura-Cruz, I., Flores-Romero, M. B. 2022. Sugar beet pulp and research efforts to diversify its use. In *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. Eds.: V. Misra, S. Srivastava, A. K. Mall. Singapore, pp. 955–969. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_47.
- Katakojwala, R., Kumar, N. A., Chakraborty, D., Mohan, V. S. 2019. Valorization of sugarcane waste: Prospects of a biorefinery. *Industrial and Municipal Sludge. Emerging Concerns and Scope for Resource*. Butterworth-Heinemann, pp. 47–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815907-1.00003-9>.
- Marzo, C., Díaz, A. B., Caro, I., Blandino, A. 2019. Status and perspectives in bioethanol production from sugar beet. *Bioethanol Production from Food Crops*, pp. 61–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00004-7>.
- Nair, R. B., Taherzadeh, M. J. 2016. Valorization of sugar-to-ethanol process waste vinasse: A novel biorefinery approach using edible ascomycetes filamentous fungi. *Bioresource Technology*, 221, pp. 469–476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.074>.

Saulnier, L., Thibault, J.-F. 1999. Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxylans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(3), pp. 396–402. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990301\)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B).

Sharma, D., Saini, A. 2020. Lignocellulosic waste valorization and biorefineries concept. *Lignocellulosic In Ethanol Production from a Biorefinery Perspective*. Singapore, pp. 195–215. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4573-3_7.

Сведения об авторах

Славянский Анатолий Анатольевич – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), д-р техн. наук, профессор;
e-mail: mgutu-sahar@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Anatoly A. Slavyansky – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004;
Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University),
Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: mgutu-sahar@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Митрошина Дарья Петровна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), аспирант, ассистент;
e-mail: d_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Daria P. Mitroshina – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004;
Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University),
Ph.D. Student, Assistant; e-mail: d_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Грибкова Вера Анатольевна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), канд. техн. наук, доцент;
e-mail: vera_gribkova@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Vera A. Gribkova – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004;
Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University),
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: vera_gribkova@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Ермолаев Владимир Александрович – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056;
Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: ermolaevvla@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>;
Весенняя ул., 28, г. Кемерово, 650000; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева

Vladimir A. Ermolaev – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, 650056; Kuzbass State Agricultural Academy;
Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: ermolaevvla@rambler.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>;
28 Vesennyaya Str., Kemerovo, 650000; Gorbachev Kuzbass State Technical University

Бондарчук Ольга Николаевна – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056;
Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия; аспирант; e-mail: b120983@list.ru

Olga N. Bondarchuk – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, 650056; Kuzbass State Agricultural Academy,
Ph.D. Student; e-mail: b120983@list.ru