

# Получение органического сахаристого продукта при упрощённой переработке сахарной свёклы

**Н.Г. КУЛЬНЕВА**, д-р техн. наук, проф. кафедры технологии бродильных и сахаристых производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (e-mail: ngkulneva@yandex.ru)

**И.Ю. СВЕШНИКОВ**, нач. смены ОАО «Елань-Коленовский сахарный завод» (e-mail: ivansveshh@mail.ru)

**Ю.А. НОЗДРЕВАТЫХ**, магистрант Воронежского государственного университета инженерных технологий (e-mail: kartaschowa.iulka@yandex.ru)

## Введение

Переработка сахарной свёклы по традиционной технологии предусматривает получение кристаллического продукта – белого сахара, представляющего собой практически чистую сахарозу (не менее 99,7 %). При этом разлагаются или удаляются в составе отходов ценнейшие компоненты сахарной свёклы – бетаин, органические кислоты, моносахара, минеральные, белковые и пектиновые вещества и многие другие соединения.

Сложившаяся технология сахарного производства отличается большим расходом материальных и энергетических ресурсов, а полученный готовый продукт подвергается нападкам со стороны пропагандистов здорового питания, несмотря на многочисленные аргументы защитников сахара как натурального продукта, сотворённого самой природой. Кроме того, основные промышленные потребители сахара при производстве кондитерских, хлебобулочных изделий и напитков используют сахар в виде растворов, поэтому получение кристаллического сахара во многих случаях экономически не обосновано.

В условиях ориентации населения на потребление продуктов с функциональными свойствами необходима разработка новых технологических решений, направленных на упрощение, снижение себестоимости производства и сохранение природных компонентов исходного сырья.

## Упрощённая технология переработки сахарной свёклы

Предлагаемая упрощённая технология переработки сахарной свёклы может быть реализована в условиях малых предприятий с непосредственным использованием готового сахаристого продукта в качестве альтернативы раствору белого сахара [1]. Кроме того, возможна переработка небольших партий свёклы

в условиях действующего производства с целью расширения ассортимента выпускаемой продукции.

Технология предусматривает прессовый способ извлечения сока из свёклы в две ступени с промежуточной мацерацией, одноступенчатую очистку с заменой карбонизации обработкой ортофосфорной кислотой, адсорбционную очистку активными углями и сгущение полученного сока (рис. 1) [2].

С целью упрощения технологии и снижения расхода тепловых ресурсов рекомендуется заменить энергозатратный и длительный процесс экстрагирования сахарозы прессовым способом с последующей мацерацией каши после первого отжима небольшим количеством горячей воды и повторным прессованием, что снизит потери сахарозы в жоме. Отсутствие длительного термического воздействия на свекловичную ткань сохранит белково-пектиновый комплекс сырья в нативном состоянии, сделает его пригодным к переработке в пектин или пищевые волокна.

Процесс очистки полученного сока заключается в замене карбонизации дефектованного сока на обработку ортофосфорной кислотой в соответствии с уравнением



Замена двухступенчатой карбонизации на обработку ортофосфорной кислотой существенно упростит технологическую схему очистки сока, уменьшит процессы осаждения белковых и пектиновых веществ, органических кислот, разложения моносахаров и азотистых веществ, снизится масса фильтрационного осадка, что упростит процесс его утилизации.

Определены микробиологические показатели полупродуктов, полученных по предлагаемой схеме: КМАФАнМ на МПА для свекловичного

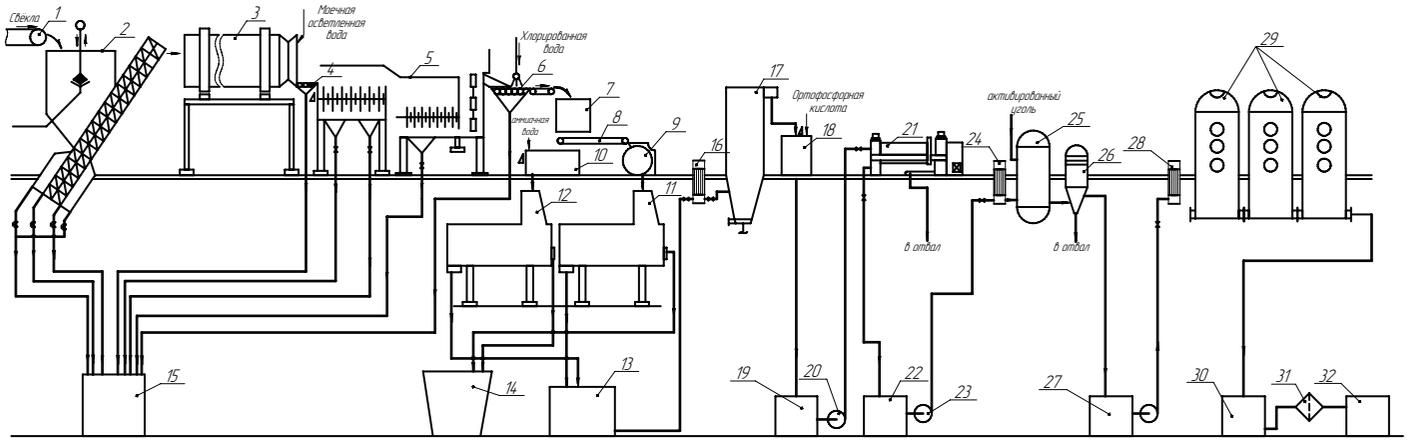


Рис. 1. Технологическая схема упрощённой переработки сахарной свёклы: 1, 8 – конвейер свёклы; 2 – отделитель примесей; 3 – барабанная свекломойка; 4, 6 – водоотделители; 5 – комбинированная свекломойка; 7 – бункер-накопитель для свёклы; 9 – тёрочная машина; 10 – мешалка для промывки свекловичного жома; 11, 12 – жомовые прессы; 13 – сборник свекловичного сока; 14 – бункер для жома; 15 – сборник моечных вод перед осветлением; 16, 24, 28 – подогреватели сока; 17 – дефекатор; 18 – мешалка для обработки ортофосфорной кислоты; 19 – сборник сока; 20 – насос сока; 21 – пресс-камерный фильтр; 22 – сборник очищенного сока; 23 – насос очищенного сока; 25 – адсорбер; 26 – мешочный фильтр; 27 – сборник сока после адсорбционной очистки; 29 – выпарная установка; 30 – сборник сиропа; 31 – сиропный фильтр; 32 – сборник готового продукта

и очищенного соков, плесени для свекловичного сока на СА при разведении  $10^3$  (табл. 1, рис. 2) [3].

Таблица 1. Микробиологические показатели свекловичного и очищенного соков

Этап обработки	Микробиологические показатели	КОЕ/см <sup>3</sup>	
		через 24 ч	через 72 ч
Свекловичный сок	КМАФАнМ	$5,15 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^5$
	Термофилы	0	0
	Плесени и дрожжи	0	$2,5 \cdot 10^4$
Очищенный сок	КМАФАнМ	$2,5 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$
	Термофилы	0	0
	Плесени и дрожжи	0	0
Сок после адсорбционной очистки	КМАФАнМ	$1,5 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^2$
	Термофилы	0	0
	Плесени и дрожжи	0	0

Свекловичный сок после прессования кашки содержит значительное количество микроорганизмов, что обусловлено высоким содержанием микрофлоры в исходном сырье. Часть микроорганизмов не удаляется в процессе 1-й ступени очистки сока и может вызывать ослизнение, повышение цветности, снижение pH сока.

Уязвимым местом разработанной технологии является стадия прессования свекловичной кашки, на которой масса наиболее подвержена микробиологической и химической порче, обусловленной низкой температурой и высокой активностью ферментов свёклы: инвертазы, разлагающей сахарозу, и полифенолоксидазы, вызывающей потемнение.

С целью выбора бактерицидных препаратов, обеспечивающих подавление микрофлоры и повышающих качество полупродуктов в процессе упрощённой переработки, свёклу очищали от примесей, мыли,

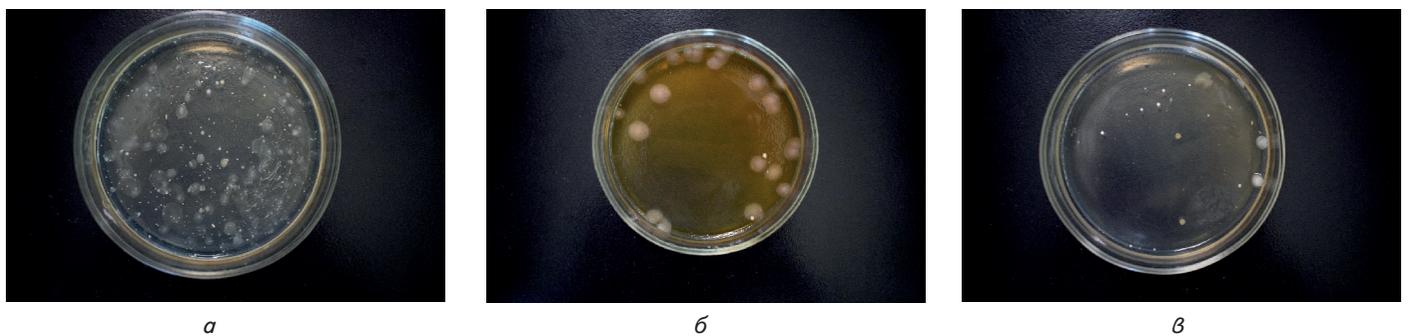


Рис. 2. Колонии КМАФАнМ (а) и плесени (б) в свекловичном соке, колонии КМАФАнМ (в) в очищенном соке

удаляли хвостики и головку, измельчали в кашку. Порции свекловичной кашки обрабатывали растворами реагентов: сульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), натриевой соли дихлоризоциануровой кислоты (ДХИЦ), «Бета-септом». После обработки выдерживали 30 мин и отжимали. Полученный свекловичный сок фильтровали через сито для отделения мезги, подвергали анализу.

Экспериментально установлено, что использование сульфита натрия препятствует потемнению кашки и получаемого свекловичного сока, замедляет разложение белковых веществ.

Для выбора рациональной концентрации реагента обработку свекловичной кашки осуществляли раствором сульфита натрия концентрацией 0,125; 0,25 и 0,5 %. После отжима свекловичный сок подвергали очистке путём дефекации при температуре 80 °С при расходе оксида кальция 1 % к массе сока, выдерживали 10 мин и добавляли ортофосфорную кислоту из расхода 90 % к массе оксида кальция. Образующийся осадок отделяли фильтрованием, свекловичный и очищенный сок анализировали (табл. 2).

**Таблица 2.** Влияние концентрации сульфита натрия на качественные показатели свекловичного и очищенного соков

Показатели	Концентрация сульфита натрия, %			Контрольный вариант без обработки
	0,5	0,25	0,125	
Свекловичный сок				
Массовая доля сухих веществ, %	15,70	15,60	15,60	20,00
Чистота, %	89,28	89,03	89,08	87,75
Содержание редуцирующих веществ, мг/см <sup>3</sup>	0,25	0,25	0,25	0,29
Содержание белков мг/см <sup>3</sup>	0,73	0,74	0,85	0,87
Очищенный сок				
рН	7,80	7,74	7,85	7,45
Цветность, ед. опт. плот.	372,36	375,97	377,11	1197,70
Содержание редуцирующих веществ, мг/см <sup>3</sup>	0,087	0,093	0,093	0,15

### Результаты и обсуждение

По результатам исследования можно сделать вывод, что выбранный препарат обеспечивает высокие качественные показатели очищенного сока.

Выбор оптимальных параметров обработки свекловичной кашки раствором сульфита натрия для снижения бактериальной обсеменённости свекловичного

сока проводили с использованием математических методов планирования эксперимента. Входными факторами процесса были приняты:  $X_1$  – концентрация реагента, %;  $X_2$  – температура раствора реагента, °С.

В качестве выходных факторов процесса использовали:  $Y_1$  – чистоту свекловичного сока, %;  $Y_2$  – содержание белков в свекловичном соке, мг/см<sup>3</sup>;  $Y_3$  – содержание редуцирующих веществ, мг/см<sup>3</sup>;  $Y_4$  – содержание  $\alpha$ -аминного азота в свекловичном соке, мг/см<sup>3</sup>.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии в натуральных величинах:

$$Y_1 = 87,97 - 0,05X_1 - 1,41X_2 + 4,24X_1X_2 - 0,64X_1^2 - 1,63X_2^2;$$

$$Y_2 = 0,49 - 0,06X_1 - 0,03X_2 - 0,11X_1X_2 + 0,35X_1^2 - 0,08X_2^2;$$

$$Y_3 = 0,25 + 0,04X_1 + 0,02X_2 - 0,007X_1X_2 + 0,001X_1^2 - 0,03X_2^2;$$

$$Y_4 = 0,16 + 0,02X_1 + 0,005X_2 + 0,02X_1X_2 + 0,07X_1^2 + 0,08X_2^2.$$

Для оценки степени влияния входных параметров  $X_i$  на выходные  $Y_i$  приведена графическая интерпретация уравнений регрессии (рис. 3).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что оптимальными параметрами обработки свекловичной кашки перед отжимом являются концентрация раствора сульфита натрия 0,25 %, температура раствора 50 °С.

### Сравнительная оценка эффективности

Для оценки эффективности предлагаемого и традиционного способов очистки получали свекловичный сок прямым отжимом. Для очистки упрощённым способом свекловичный сок нагрели до температуры 80 °С, внесли известковое молоко из расчёта 1 % СаО к массе сока, выдержали при 80 °С в течение 10 мин в термостате, внесли ортофосфорную кислоту в количестве 90 % к массе СаО, выдержали 5 мин и отфильтровали.

Для очистки традиционным способом приготовленный сок нагрели до температуры 60 °С и провели предефекацию 15 мин при добавлении известкового молока из расчёта 0,3 % СаО к массе сока. Для основной дефекации добавили 1,5 % СаО, температуру сока увеличили до 80 °С и выдержали 10 мин. I сатурацию провели пропусканием сатурационного газа ( $\text{CO}_2$ ) до рН 11, осадок отфильтровали. Фильтрат нагрели до 92 °С, провели II сатурацию до рН 9, отфильтровали (табл. 3).

Проведённые исследования свидетельствуют о более высокой эффективности очистки сока по упро-

щённому способу в сравнении с традиционным: цветность снижается в три раза, содержание белковых веществ больше на 68 %, азотистых веществ меньше в два раза, что обусловлено отсутствием химического разложения белков.

Для проверки эффективности предлагаемой технологии провели оценку показателей качества соков, полученных на различных этапах упрощённой

переработки свёклы, в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова. Исследования показали, что чистота свекольного сока после химической очистки увеличилась на 4,0 абс. %, после адсорбционной — ещё на 1,1 абс. %. Содержание кондуктометрической золы снизилось на 7,2 %, из которых 2,4 % — в процессе адсорбционной очистки сока. Количество

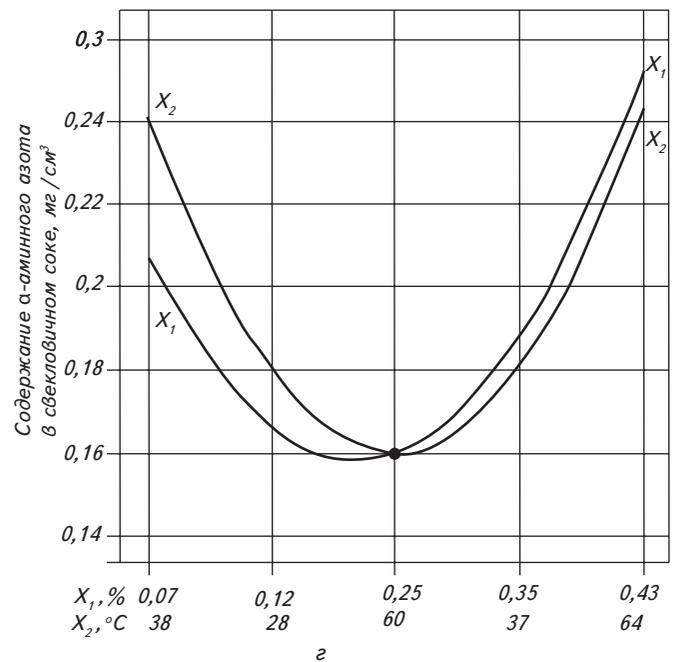
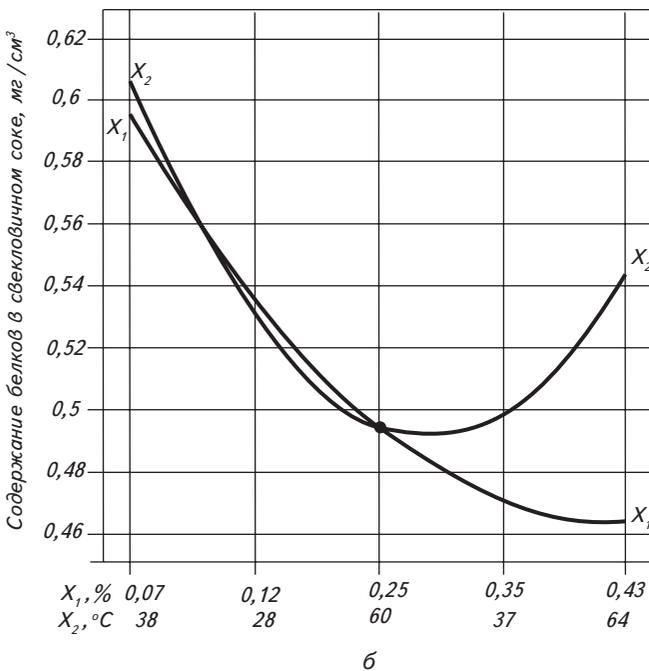
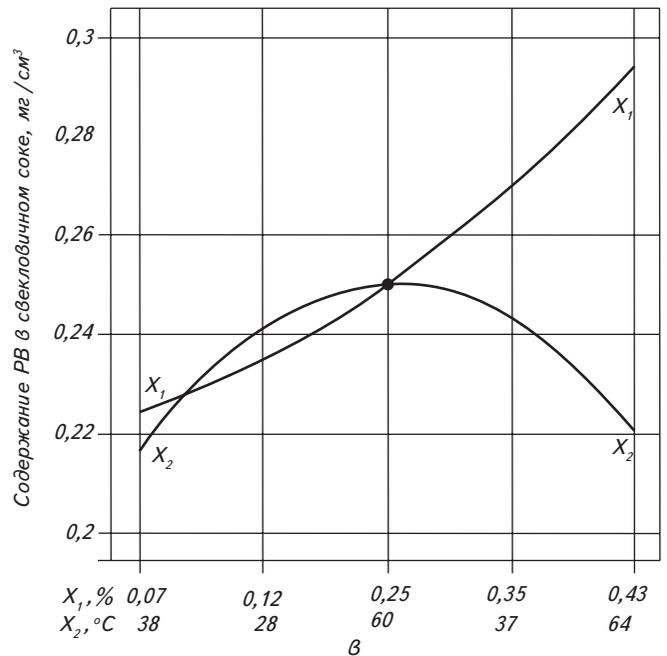
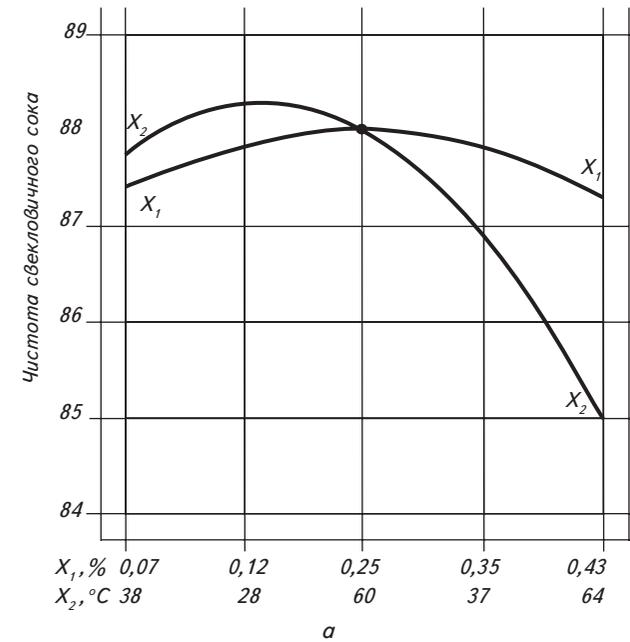


Рис. 3. Графическая интерпретация влияния входных параметров X<sub>i</sub> на выходные Y<sub>i</sub>: а – чистота свекольного сока, %; б – содержание белков в свекольном соке, мг/см<sup>3</sup>; в – содержание редуцирующих веществ в свекольном соке, мг/см<sup>3</sup>; г – содержание α-аминного азота в свекольном соке, мг/см<sup>3</sup>

**Таблица 3. Показатели очищенного сока в зависимости от способа очистки**

Показатель	Способ очистки	
	упрощённый	традиционный
pH	6,66	9,10
Массовая доля сухих веществ, %	21,4	21,0
Чистота, %	90,44	89,14
Цветность, ед. опт. плот.	122,3	373,6
Содержание редуцирующих веществ, мг/см <sup>3</sup>	0,043	0,044
Содержание $\alpha$ -аминного азота, мг/см <sup>3</sup>	0,077	0,162
Содержание белка, мг/см <sup>3</sup>	0,72	0,23

калия в соке после всех этапов очистки сократилось на 10 %,  $\alpha$ -аминного азота на 79,3 %. Массовая доля редуцирующих веществ сока в процессе очистки уменьшилась на 55,5 %.

Полученный по предлагаемой технологии очищенный сок сохраняет природные компоненты свёклы и отличается хорошими вкусовыми характеристиками (рис. 4) [4].

#### Заключение

По результатам исследований сформулированы преимущества схемы упрощённой переработки свёклы по сравнению с традиционной:

- отсутствует длительный, технически сложный и энергетически затратный процесс диффузионного извлечения сахарозы из свёклы;
- повышается экономическая эффективность производства за счёт сокращения расходов на переработку;



а

б

Рис. 4. Очищенный сок (а) и сок после адсорбционной очистки (б), полученные по упрощённой технологии

– не происходит разбавления клеточного сока за счёт добавления большого объёма воды, что снижает энергетические затраты на сгущение;

– используется меньшее количество извести, что предотвращает разложение моносахаридов, белковых и пектиновых веществ;

– замена карбонизации применением ортофосфорной кислоты повышает доступность способа. Получаемый осадок фосфата кальция практически нерастворим в соке, адсорбирует на поверхности значительное количество сопутствующих веществ, после отделения может использоваться в качестве фосфорного удобрения;

– замена вредной для организма человека сульфитации адсорбционной очисткой активным углём, удаляющей окрашенные и пахучие соединения из сока, повышает безопасность продукта;

– сохраняются ценные натуральные компоненты свёклы – сахароза, моносахариды, аминокислоты и амиды аспарагиновой и глутаминовой кислот, бетаин, минеральные соединения, частично органические кислоты, белковые и пектиновые вещества;

– благодаря природным компонентам, сохранившимся в процессе упрощённой переработки сахарной свёклы, полученный очищенный сок можно позиционировать как органический сахаристый продукт и использовать для приготовления хлебобулочных, мучных кондитерских изделий и безалкогольных напитков функционального назначения [5, 6];

– схема упрощённой переработки свёклы может быть рекомендована для повышения экономической эффективности сахаропроизводящих предприятий, особенно в сезоны с излишками сахара на рынке, когда цена падает ниже себестоимости (как в сезоне 2019/20 г.), что делает особенно актуальным для производителей сокращение затратной части.

#### Список литературы

1. Патент РФ № 2704436 Способ получения сахаросодержащего продукта из сахарной свёклы / Н.Г. Кульнева, И.Ю. Свешников, Ю.И. Чернова // Заявл. 05.09.2018; Оpubл. 28.10.2019, Бюл. № 31.
2. Кульнева, Н.Г. Получение функционального продукта из сахарной свёклы / Н.Г. Кульнева, Т.В. Свиридова, М.В. Копылов // Инженерные технологии в сельском и лесном хозяйстве : Матер. Всероссийской национальной научно-практич. конф. Тюмень, ГАУ Северного Зауралья, 21–22 мая 2020 г. – С. 201–206.
3. Формирование технологического качества полупродуктов при упрощённой переработке сахарной свёклы / Н.Г. Кульнева, Л.Н. Путилина, Ю.А. Ноз-

## Форум и выставка по глубокой переработке зерна и промышленной биотехнологии «Грэйнтек»

# Грэйнтек

Форум и экспо по глубокой переработке зерна и биоэкономике

+7 (495) 585-5167 | info@graintek.ru | www.graintek.ru

**Форум является уникальным специализированным событием отрасли в России и СНГ и пройдёт 17–18 февраля 2021 года в отеле Холидей Инн Лесная, Москва**

В фокусе Форума – практические аспекты глубокой переработки зерна для производства как продуктов питания и кормов, так и биотехнологических продуктов с высокой добавленной стоимостью.

**Темы Форума:** производство и рынок нативных и модифицированных крахмалов, клейковины, сиропов, органических кислот, аминокислот (лизин, треонин, триптофан и т. д.), сахарозаменителей (сорбит, ксилит, маннит и т. д.) и других химических веществ.

19 февраля 2021 года пройдёт семинар «ГрэйнЭксперт», посвящённый практическим вопросам запуска и эксплуатации завода глубокой переработки зерна. Семинар проводится для технических специалистов, которые отвечают за производственный процесс и высокое качество конечной продукции.



древяных, К.Ю. Шумкина // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов. Сб. докладов Междунар. научно-практич. конф. Курск, 8–9 сентября 2020 г. – Курск : Курский федеральный аграрный научный центр, 2020. – С. 120–124.

4. Ресурсосберегающая технология переработки сахарной свёклы / Н.Г. Кульнева, Л.Н. Путилина, Н.А. Лазутина // Сахарная свёкла. – 2019. – № 10. – С. 32–36.

5. Использование очищенного свекловичного сока при производстве хлебобулочных изделий и напитков / Н.Г. Кульнева, И.М. Жаркова, Н.В. Зуева, Ю.И. Чернова // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности : Матер. междунар. научно-практич. конф., посв. 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского гос. аграрн. ун-та им. императора Петра I. Россия, Воронеж, 7–9 ноября 2018 г. – Ч. II. – Воронеж : Воронежский ГАУ, 2018. – С. 52–55.

6. Кульнева, Н.Г. Напитки на основе очищенного свекловичного сока / Н.Г. Кульнева [и др.] // Продо-вольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» : Сб. научн. статей

и докладов V Междунар. научно-практич. конф. Воронеж, 23 ноября 2018 г. – С. 535–540.

**Аннотация.** Предложена технология упрощённой переработки сахарной свёклы, обеспечивающая экономию материальных и энергетических ресурсов. Разработана аппаратурно-технологическая схема, обоснованы основные параметры переработки свёклы. Проведена апробация полученного сахаристого продукта в качестве сырья при производстве хлебобулочных изделий и безалкогольных напитков.

Рекомендуется для использования на малых предприятиях и сахарных заводах с целью создания альтернативы раствору белого сахара и расширения ассортимента продукции.

**Ключевые слова:** упрощённая переработка, органический сахаристый продукт, прессовый способ, бактерицидные препараты, ортофосфорная кислота.

**Summary.** The technology of simplified processing of sugar beet is proposed, which ensures the saving of material and energy resources. An instrumental and technological scheme has been developed, the main parameters of beet processing have been substantiated. The obtained sugary product was tested as a raw material in the production of bakery products and soft drinks.

Recommended for use in small businesses and existing sugar factories in order to create an alternative to white sugar solution and expand the range of products.

**Keywords:** simplified processing, organic sugary product, pressing method, bactericidal preparations, orthophosphoric acid.