

УДК 664.1.035.1

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ КАК СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ САХАРОЗЫ ИЗ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ

Кульнева Н.Г., Журавлев М.В., Беляева Л.И., Задонских М.С.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
Воронеж, e-mail: zyrav2014@yandex.ru

Одной из важнейших задач аграрной политики России является обеспечение собственной продовольственной независимости. Важным требованием остается производство безопасной продукции питания, соответствующей всем требованиям международной системы здравоохранения. Обеспечение конкурентоспособности белого сахара в соответствии с требованиями Европейских производителей может быть достигнуто внедрением современных технологий, рациональных с точки зрения повышения качества готовой продукции и сбережения материальных и энергетических ресурсов. Производство сахара включает значительное количество энергоемких технологических операций, одной из которых является станция извлечения сахарозы из свекловичной стружки. Предлагаемые технологические приемы позволяют блокировать переход из свекловичной стружки в диффузионный сок различных групп несахаров, в том числе веществ белково-пектинового комплекса, за счет использования некоторых химических соединений. Это повышает качество диффузионного и очищенного соков, позволяет увеличить выход готовой продукции стандартного качества.

**Ключевые слова:** продовольственная безопасность, свеклосахарное производство, экстрагирование сахарозы

## IMPROVING THE QUALITY OF THE FEED WATER AS A METHOD OF INTENSIFICATION OF THE EXTRACTION OF SUCROSE FROM SUGAR-BEET CHIPS

Kulneva N.G., Zhuravlev M.V., Belyaeva L.I., Zadonskykh M.S.

FSBEI PE «Voronezh State University of Engineering Technology»,  
Voronezh, e-mail: zyrav2014@yandex.ru

One of the main tasks of agrarian policy of Russia is to ensure its food independence. An important requirement remains the production of safe food supply that meets all the requirements of the international health system. Ensuring the competitiveness of white sugar in accordance with the requirements of European manufacturers can be achieved by the introduction of modern technologies, rational from the point of view of improving product quality and saving material and energy resources. Sugar production includes a significant amount of energy-intensive technological operations, one of which is the station of extraction of sucrose from beet chips. The proposed technological methods allow to block the transition from beet chips in the diffusion juice of different groups of nonsugars, including substances of protein-pectin complex, due to the use of certain chemical compounds. This improves the quality of diffusion and purified juice, allows to increase the output of finished products of standard quality.

**Keywords:** food security, sugar beet production, the extraction of sucrose

Одной из важнейших задач аграрной политики России является обеспечение собственной продовольственной независимости. Эта концепция разработана в соответствии с требованиями «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы». При этом особый вклад в достижение цели вносят продукты питания растительного происхождения, составляющие значительную долю в рационе питания человека [1].

Важным требованием остается производство безопасной для человека продукции, соответствующей требованиям международной системы здравоохранения. Для России этот вопрос ощущается особенно

остро с момента вступления ее в ВТО и до настоящего времени, в условиях санкционного давления. Однако подобная «политика сдерживания» не только не способна блокировать развитие отечественного АПК, а активизирует научные исследования в сфере переработки и производства сельскохозяйственной продукции [2].

Эффективное развитие отечественного свеклосахарного комплекса в условиях конкуренции с предприятиями ЕС осложняется рядом проблем, одной из которых остается пониженное качество белого сахара по сравнению с требованиями Европейских производителей. Для решения этой проблемы межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации был разработан и утвержден новый ГОСТ

на сахар «ГОСТ 31895–2012. Сахар белый. Технические условия».

На фоне удорожания энергоносителей, вспомогательных материалов и прочего, повышение конкурентоспособности отечественной сахарной промышленности является комплексной проблемой, решение которой требует создания и развития эффективных технологий, внедрение которых позволит экономить энергетические ресурсы, а также использовать отходы, образующиеся на различных стадиях технологического процесса.

Производство сахара включает значительное количество энергоемких технологических операций, оказывающих влияние на эффективную работу всех последующих технологических станций, а также на качество и выход готовой продукции. Одной из таких операций является станция извлечения сахарозы из свекловичной стружки [3].

Современная технология экстрагирования сахарозы из свеклы осуществляется методом горячей жидкостной экстракции, который предусматривает противоточную обработку свекловичной стружки подготовленным экстрагентом [4]. Процесс перехода сахарозы из свекловичной стружки в экстрагент протекает при определенных условиях (температура 72–75 °С) и осуществляется в два этапа: сначала из внутренних слоев свекловичной ткани к ее поверхности, а затем от поверхности стружки в экстрагент. По своей сущности процесс экстрагирования сахарозы является сложным процессом, при котором скорость массопередачи связана с механизмом переноса распределяемого вещества в фазах, между которыми происходит массообмен. Наибольшее влияние на массообмен оказывает молекулярная диффузия [5].

Важнейшим критерием оценки результативности экстракционного процесса является величина коэффициента молекулярной диффузии ( $K_D$ ). Данный коэффициент необходим для расчета и анализа эффективности процесса экстракции, а также выявления основных массообменных характеристик в зависимости от способа проведения экстрагирования и параметров процесса, таких как температура, продолжительность экстракции и др. Согласно уравнению Эйнштейна:

$$K_D = \frac{KT}{\eta} \cdot \frac{F(C-c)}{N} \left[ \frac{M^2}{c} \right].$$

Систематический анализ данного уравнения позволяет выделить ряд факторов, влияющих на коэффициент диффузии. Основными из них являются:

– степень денатурации свекловичной ткани: с ее увеличением пропорционально возрастает величина  $K_D$ , следовательно, процесс экстрагирования протекает эффективнее. Степень денатурации протоплазмы клеток свекловичной ткани зависит в свою очередь от температуры процесса, продолжительности теплового воздействия на стружку, природы экстрагента и др.;

– размер диффундирующих частиц: с увеличением размера величина коэффициента пропорционально уменьшается;

– температура протекания процесса: при повышении температуры увеличивается кинетическая энергия молекул, скорость их движения, уменьшается вязкость взаимодействующих фаз, что способствует более эффективному протеканию процесса;

– вязкость экстрагента: с уменьшением данного параметра величина коэффициента пропорционально возрастает;

– природа экстрагирующей жидкости.

На результативность экстрагирования сахарозы из стружки оказывают влияние различные критерии: конструктивные особенности используемых диффузионных аппаратов, качество питательной воды, микробиологическая обсемененность и многие другие, но главным является качество перерабатываемого сырья. Именно качество поступающей в переработку свеклы играет ключевую роль при выборе технологического режима, обеспечивающего эффективное протекание технологических процессов при минимальных потерях сахарозы на каждом участке производства [6].

Исследовано влияние водных растворов сульфата алюминия ( $Al_2(SO_4)_3$ ) и аммония ( $(NH_4)_2SO_4$ ), используемых для обработки питательной воды, на величину коэффициента молекулярной диффузии сахарозы из свекловичной стружки. Исследования проводили с использованием свеклы высокого и низкого технологического достоинства.

Для исследований готовили водные растворы сульфатов алюминия и аммония, которые затем добавляли в количестве 15% к массе стружки в питательную воду. Полученную смесь нагревали до температуры 72 °С. Далее согласно методике [7] специальным свеклорезным ножом вырезали образцы из свеклы высокого качества, а также подгнившей и увядшей. Каждый из образцов ополаскивали в течение 2-х минут в растворах солей  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $(NH_4)_2SO_4$  и в чистом конденсате. Образцы ошпаривали 60 с и помещали в специальную лабораторную ячейку, добавляли предварительно нагретую до температуры 72 °С смесь водных растворов сульфатов алюминия и аммония с чистым конденсатом и проводили

диффундирование при интенсивном контакте образцов и экстрагента. В качестве варианта сравнения осуществляли экстрагирование по традиционному технологическому варианту.

По истечении необходимого времени отделяли экстракт, термостатировали при температуре 20°C и анализировали (табл. 1, 2).

В результате исследования установлено, что при переработке свеклы пониженного качества величина молекулярного коэффициента диффузии сахарозы снижается в сравнении с показателями здоровой свеклы. Применение растворов предлагаемых солей при обработке свеклы перед экстрагированием оказывает положительное воздействие на величину коэффициента диффузии сахарозы по сравнению с классическим способом проведения диффузионного процесса.

Важнейшей задачей станции экстракционного извлечения сахарозы из стружки является получение диффузионного сока с максимально высокими технологическими показателями в течение всего производственного сезона. В последние декады сезона переработки сырья, когда температура окружающей среды значительно понижается, про-

исходит ухудшение качества свеклы (подмерзает, оттаивает, загнивает), что естественным образом отражается на технологических показателях получаемых полупродуктов. В связи с этим на станции диффундирования сахарозы особое внимание уделяется различным факторам, оказывающим влияние не только на степень обессахаривания свекловичной стружки, но и на качество получаемых диффузионного и очищенного соков. Одним из таких факторов является качество экстрагента (питательной воды). Главной задачей подготовки питательной воды для диффузионного процесса является обеспечение минимального перехода несахаров из свекловичной стружки в диффузионный сок в процессе экстрагирования сахарозы. Традиционные технологические приемы подготовки экстрагента для диффузионного процесса не всегда обеспечивают требуемую величины извлечения сахарозы из стружки более 98%, а также не позволяют добиться высоких технологических показателей получаемого диффузионного сока. Решение этой проблемы возможно за счет использования дополнительных химических реагентов при подготовке питательной воды [7].

**Таблица 1**

Величина молекулярного коэффициента диффузии сахарозы при переработке свеклы высокого технологического качества

Способ проведения диффузии	Без обработки	Обработка экстрагента растворами	
		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Массовая доля сахарозы в экстракте, %	2,15	3,25	3,75
Сахаристость свеклы, %	17	17	17
Отношение среднеобъемных концентраций сахарозы, $C_{эк}/C_{св} \cdot 10^{-2}$	14	19	20
Толщина образцов, $L \cdot 10^{-3}$ м	7	7	7
Поправочный коэффициент, $K \cdot 10^{-8}$ , м <sup>2</sup> /с	2	2	2
Величина $D' \cdot 10^{-2}$	22	26	28
Коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{-10}$ , м <sup>2</sup> /с	42	46	49

**Таблица 2**

Величина молекулярного коэффициента диффузии сахарозы при переработке свеклы пониженного технологического качества

Способ проведения диффузии	Без обработки	Обработка экстрагента растворами	
		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Массовая доля сахарозы в экстракте, %	1,9	2,35	2,85
Сахаристость свеклы, %	15,75	15,75	15,75
Отношение среднеобъемных концентраций сахарозы, $C_{эк}/C_{св} \cdot 10^{-2}$	12	15	18
Толщина образцов, $L \cdot 10^{-3}$ м	7	7	7
Поправочный коэффициент, $K \cdot 10^{-8}$ , м <sup>2</sup> /с	2	2	2
Величина $D' \cdot 10^{-2}$	19	21	24
Коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{-10}$ , м <sup>2</sup> /с	36	40	43

Проведены исследования по влиянию водных растворов сульфатов алюминия и аммония, используемых для обработки питательной воды, на качество получаемых полупродуктов. Для исследований готовили водные растворы данных солей и добавляли в количестве 15% в воду для экстрагирования. Полученную смесь нагревали до температуры 72°C.

Отдельно на специальной лабораторной терке получали свекловичную стружку из свеклы различного технологического достоинства и разделяли на пробы. Нагретую

смесь растворов солей и экстрагента добавляли к пробам свекловичной стружки и осуществляли диффундирование сахарозы. В качестве варианта сравнения проводили экстрагирование по традиционной технологической схеме при температуре 70°C в течение 60 мин. После экстрагирования из сокоотружечной смеси отделяли диффузионный сок, подвергали его известково-углекислотной очистке в соответствии с параметрами типовой технологической схемы (табл. 3, 4)

Таблица 3

Сравнительная оценка показателей полупродуктов при переработке свеклы высокого технологического достоинства

Показатели	Типовая схема диффузии	Реагенты для обработки питательной воды	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
Диффузионный сок			
Чистота, %	83,5	86,2	85,6
Массовая доля белков, %	0,40	0,32	0,38
Очищенный сок			
Чистота, %	91,2	93,2	92,7
Цветность, усл. ед.	16,0	17,7	18,4
Соли кальция, % СаО	0,042	0,031	0,039

Таблица 4

Сравнительная оценка показателей полупродуктов при переработке свеклы низкого технологического достоинства

Показатели	Типовая схема диффузии	Реагенты для обработки питательной воды	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
Диффузионный сок			
Чистота, %	81,2	83,2	82,1
Массовая доля белков, %	0,46	0,38	0,39
Очищенный сок			
Чистота, %	90,5	92,4	91,3
Цветность, усл. ед.	27	21,2	22,4
Соли кальция, % СаО	0,056	0,038	0,041

Анализ полученных полупродуктов свидетельствует о положительном влиянии обработки водными растворами предлагаемых реагентов экстрагента. Полупродукты, полученные по традиционной технологии экстрагирования, имеют более низкие показатели качества. Самые высокие показатели имеют соки, полученные по схеме с добавлением в питательную воду водного раствора сульфата аммония.

В результате проделанного комплекса исследований установлено, что применение растворов предлагаемых солей оказывает положительное влияние на величину молекулярного коэффициента диффузии. Полу-

ченные данные свидетельствуют о высокой эффективности данного приема при переработке свеклы различного технологического достоинства. Экстрагирование сахарозы смесью питательной воды и растворов солей обеспечивают беспрепятственный переход сахарозы из пор свекловичной ткани в экстрагент за счет интенсивного конвективного вымывания. Максимальная величина коэффициента диффузии и наблюдается при использовании раствора сульфата аммония.

Установлено положительное воздействие добавления растворов предлагаемых солей в экстрагент на качественные показатели диффузионного и очищенного

соков. Достигнутые высокие результаты свидетельствуют о высоких коагуляционных свойствах растворов сульфатов алюминия и аммония, что объясняется взаимодействием химически активных реагентов с высокомолекулярными соединениями, находящимися на поверхности свекловичной ткани. Это приводит к их частичной нейтрализации и последующей гетерокоагуляции. Предлагаемый метод обеспечивает комплексное химическое и физико-химическое воздействие на высокомолекулярные несахара свекловичной ткани. При этом снижается растворимость белковых и пектиновых веществ, повышается прочность и упругость свекловичной стружки [8, 9].

#### Список литературы

1. Кульнева Н.Г., Журавлев М.В. Влияние термохимической обработки на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свеклы // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – Воронеж, 2014. – № 3. – С. 146–149.
2. Кульнева Н.Г., Журавлев М.В. Способ интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свеклы в сахарном производстве // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы III международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО ВГАУ. – Воронеж, 2015. – Ч. 1. – С. 300–305.
3. Журавлев М.В. Энергосберегающая технология извлечения сахарозы из свеклы в сахарном производстве // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11 (Ч. 8). – С. 1582–1587.
4. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Колос, 1999. – 495 с.
5. Кульнева Н.Г., Журавлев М.В. Разработка экологически чистой технологии получения диффузионного сока // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: материалы международной научно-технической конференции / ВГУИТ. – Воронеж, 2014. – С. 112–116.
6. Слива, Ю.В. Электрогидравлическая обработка ткани сахарной свеклы: коэффициент диффузии сахарозы в зависимости от режима обработки // Сахар. – 2014. – № 9. – С. 52–54.
7. Кульнева Н.Г., Журавлев М.В., Шматова А.И. Усовершенствованная технология подготовки питающей воды для диффузионного процесса как способ интенсификации экстрагирования сахарозы из свеклы // Современные концепции научных исследований. – 2015. – № 5. – Ч. 2. – С. 123–125.
8. Патент РФ № 2013153019/29, 15.05.2013. Кульнева Н.Г., Журавлев М.В. Способ получения диффузионного сока // Патент России № 2553234. 2013. Бюл. № 21.
9. Патент РФ № 2014108238/28, 22.04.2015. Кульнева Н.Г., Журавлев М.В. Способ получения диффузионного сока // Патент России № 2551551. 2015. Бюл. № 33.