

Способы повышения эффективности диффузионного извлечения сахарозы из свёклы

Н.Г. КУЛЬНЕВА, д-р техн. наук, проф., **М.В. ЖУРАВЛЁВ**, инж. кафедры ТБСП ВГУИТ
Воронежский государственный университет инженерных технологий

Извлечение сахарозы из свекловичной стружки является ключевым этапом свеклосахарного производства. Качество получаемого диффузионного сока оказывает решающее влияние на эффективную работу всех последующих технологических участков предприятия (очистку, сгущение, кристаллизацию), в конечном итоге — на выход и качество готовой продукции. Поэтому важнейшей задачей при производстве сахара становится поддержание максимальной эффективности работы диффузионного отделения, а также своевременное выявление и устранение различных проблем, возникающих на данном участке производства [3, 9].

Современным решением большинства проблем является предварительная подготовка свекловичной стружки к диффузионному процессу. Под подготовкой следует понимать термохимическую обработку паром и водными растворами реагентов, способных переводить основной компонент клеточной стенки — пектин в нерастворимое состояние. В одних случаях это сульфат алюминия, суперфосфат, гипс, в других — полупродукты сахарного производства [1, 4].

Сотрудниками института проведены исследования по использованию различных теплоносителей для обработки свекловичной стружки перед процессом экстрагирования сахарозы. Исследовано влияние длительности тепловой обработки свекловичной стружки горячим паром на качественные показатели диффузионного и очищенного соков, а также на величину коэффициента эффективной

диффузии сахарозы с целью определения рациональной продолжительности ошпаривания. Эффект влияния термообработки стружки оценивался по качественным показателям полупродуктов (диффузионного и очищенного соков) и величине эффективного коэффициента диффузии сахарозы.

Согласно методике проведения эксперимента с помощью полупродуктового устройства получали свекловичную стружку с заданными геометрическими параметрами, близкими к производственным показателям. От общего количества стружки отбирали пять порций по 200 г, четыре из которых ошпаривали горячим паром в течение 30, 60, 90 и 120 с соответственно, помещали в лабораторный экстрактор, добавляли по 200 см³ экстрагента, нагретого до 72 °С. Диффундирование сахарозы осуществляли при температуре 72 °С и постоянном перемешивании в течение 60 мин. В качестве варианта для сравнения проводили диффундирование сахарозы из стружки (пятая навеска), не подвергавшейся ошпариванию.

По истечении времени диффундирования разделяли обессахаренную свекловичную стружку и диффузионный сок, термостатировали при температуре 20 °С и анализировали. Далее сок подвергали физико-химической очистке, которая включала в себя прогрессивную предварительную дефекацию, основную горячую дефекацию, 1-ю и 2-ю сатурации с промежуточным фильтрованием (рис. 1). Полученные полупродукты анализировали по методикам, принятым в свеклосахарном производстве [5].

Результаты анализа диффузионного и очищенного соков представлены на рис. 2 и 3.

Анализ построенных графических зависимостей свидетельствует о значительном влиянии ошпаривания на качество полупродуктов. Установлено, что с увеличением продолжительности ошпаривания свекловичной стружки показатели качества диффузионного и очищенного соков пропорционально улучшаются. Однако длительная тепловая обработка (более 60 с) вызывает отрицательный технологический эффект. Ухудшение качества полупродуктов при длительном ошпаривании обусловлено интенсивным воздействием греющего пара на микроструктуру свекловичной ткани, в результате чего происходит глубокая деструкция клеточных стенок, которая создает условия для беспрепятственного перехода не только клеточного сока, содержащего сахарозу, но и всех остальных компонентов свекловичных клеток (высокомолекулярные соединения, вещества белково-пектинового комплекса, внутренние органеллы клеток).

Изучение влияния продолжительности термического воздействия на массообменные характеристики диффузионного процесса проводили по величине коэффициента эффективной диффузии сахарозы в соответствии с методикой [6] (табл. 1, рис. 4).

Анализ экспериментальных значений коэффициента эффективной диффузии показывает, что с увеличением продолжительности ошпаривания до 60 с коэффициент пропорционально возрастает. Увеличе-



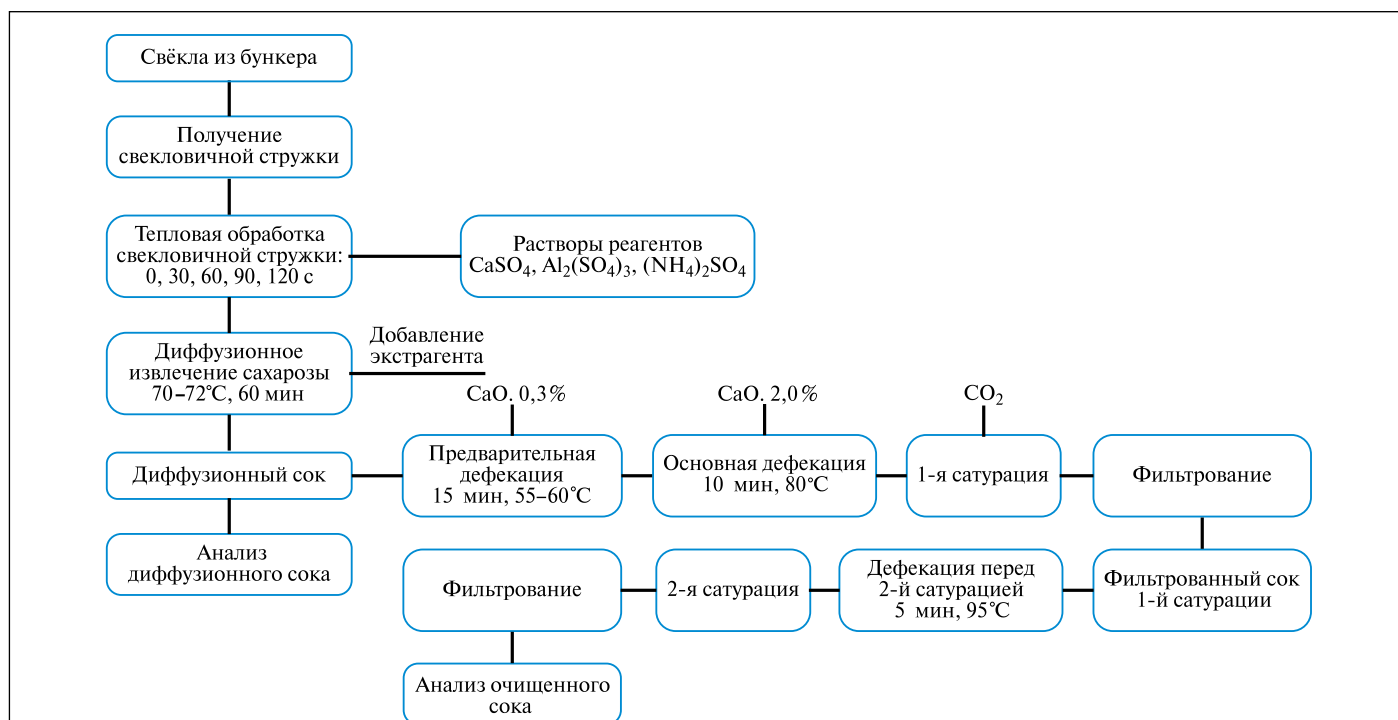


Рис. 1. Блок-схема проведения эксперимента по исследованию влияния тепловой обработки на качество полупродуктов

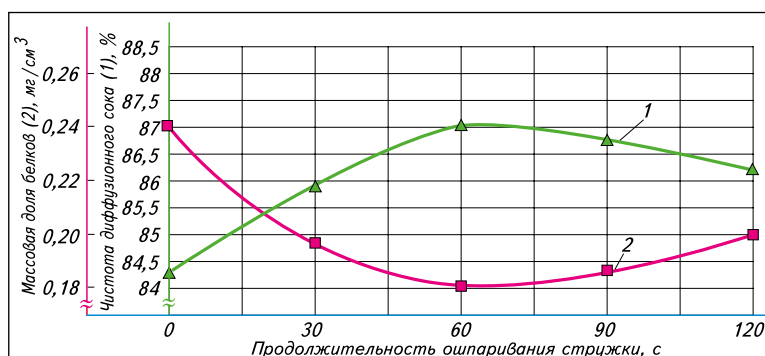


Рис. 2. Графическая интерпретация качественных показателей диффузионного сока в зависимости от продолжительности ошпаривания свекловичной стружки

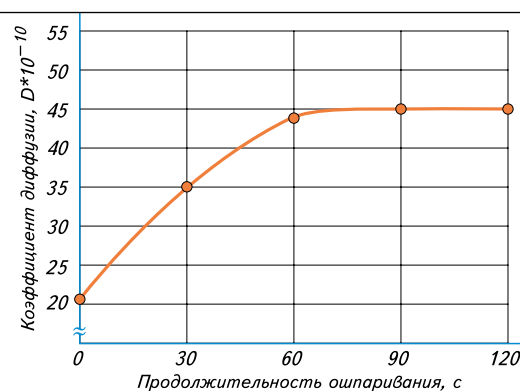


Рис. 4. Влияние продолжительности ошпаривания на величину коэффициента эффективной диффузии

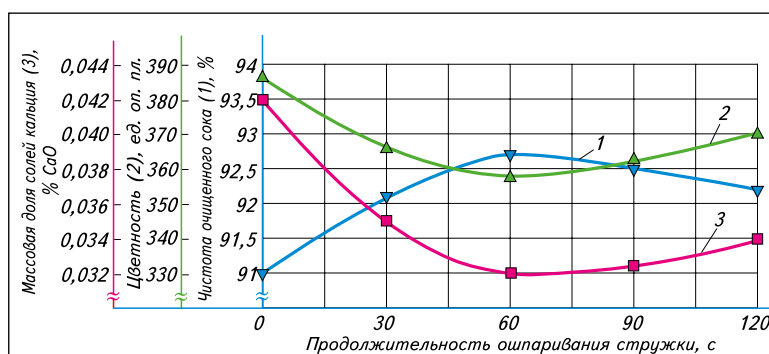


Рис. 3. Графическая интерпретация качественных показателей очищенного сока в зависимости от продолжительности ошпаривания свекловичной стружки

Таблица 1. Величина коэффициента эффективной диффузии сахарозы в зависимости от продолжительности ошпаривания

Продолжительность ошпаривания, с	0	30	60	90	120
Массовая доля сахарозы в экстрагенте, %	2,0	2,25	2,95	3,25	3,25
Дигестия свёклы, %	17	17	17	17	17
Отношение среднеемких концентраций сахарозы, $C_{эк} / C_{св} \times 10^{-2}$	12	16	20	21	22
Величина $D \times 10^{-2}$	11	16	22	23	23
Коэффициент диффузии, $m^2/c \times 10^{-10}$	21	35	44	45	45

ние длительности ошпаривания от 60 до 120 с не приносит желаемого технологического эффекта и способствует перерасходу пара. Наивысшее значение коэффициента эффективной диффузии (45×10^{-10}) зафиксировано при длительности теплового воздействия 60 с.

Для достижения максимальной результативности диффузионного процесса необходимо определить наиболее эффективные составляющие термохимической обработки свекловичной стружки. Важной задачей здесь является выбор химического реагента, который позволит оптимизировать протекание диффузионного процесса, достичь лучших технологических показателей полупродуктов и получить диффузионный и очищенный соки с наивысшими технологическими показателями. В этих целях были рассмотрены водные растворы сульфатов аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, кальция CaSO_4 . Как вариант для сравнения был использован классический способ осуществления диффузионного процесса.

Исследовано проведение диффузионного процесса с применением термохимической обработки свекловичной стружки греющим паром и растворами предлагаемых солевых реагентов перед экстрагированием [2]. Качественные показатели полупродуктов и величина коэффициента эффективной диффузии представлены в табл. 2 и на рис. 5, 6.

Анализ показателей качества полупродуктов, полученных по схеме с предварительной термохимической подготовкой свекловичной стружки, свидетельствует о целесообразности данного воздействия. Наиболее высокие значения показателей наблюдаются у полупродуктов, полученных при обработке раствором сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Анализ значений коэффициента диффузии приводит к заключению о положительном влиянии термохимической обработки свеклович-

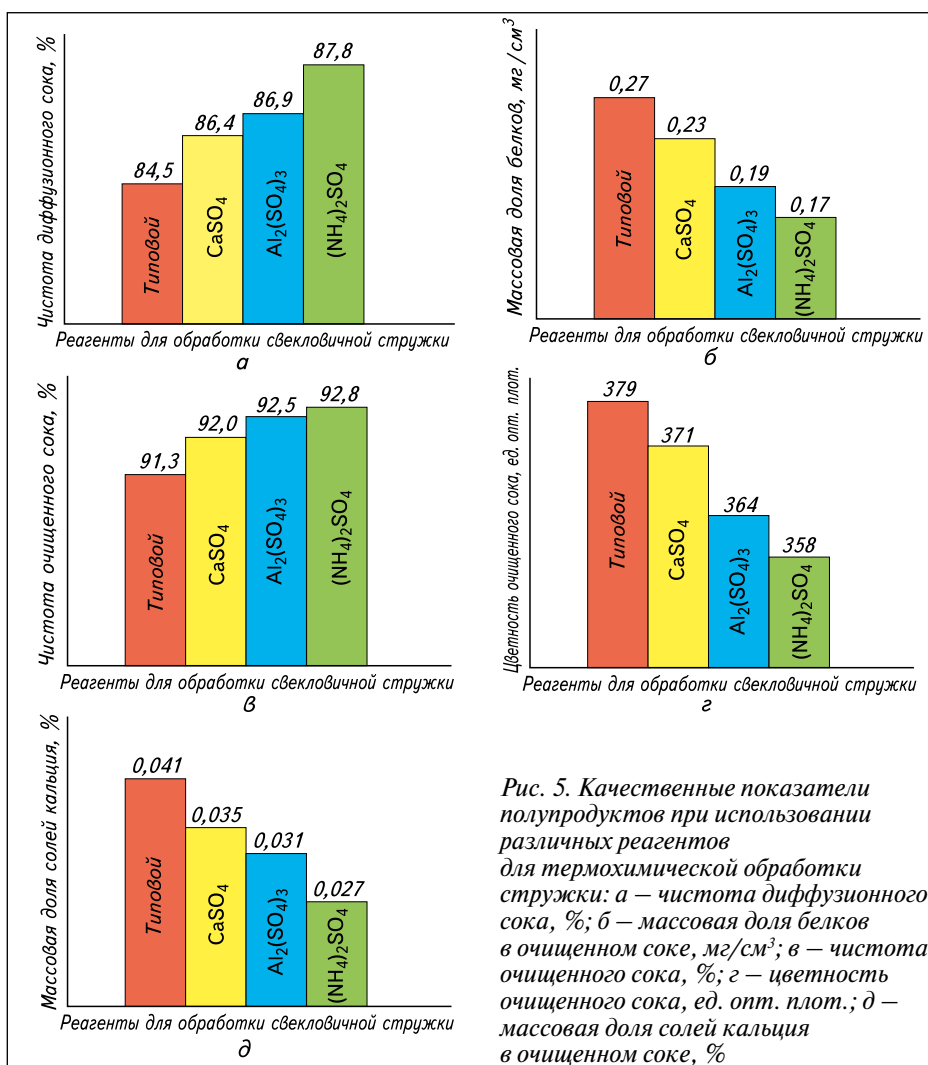


Рис. 5. Качественные показатели полупродуктов при использовании различных реагентов для термохимической обработки стружки: а — чистота диффузионного сока, %; б — массовая доля белков в очищенном соке, мг/см³; в — чистота очищенного сока, %; г — цветность очищенного сока, ед. опт. плот.; д — массовая доля солей кальция в очищенном соке, %

ной стружки растворами предлагаемых реагентов на его величину. Обработка растворами реагентов, нагретых до температуры 72 °С, позволяет добиться высокой степени плазмолиза клеток за счёт интенсивного проникновения растворов вглубь свекловичной ткани, что увеличивает её проницаемость и интенсифицирует переход молекул сахарозы из пор в экстрагент в условиях интенсивного конвективного вымывания. Активное взаимодействие свекловичной ткани и горячих растворов реагентов провоцирует тепловое расширение клеток, обусловленное высоким температурным градиентом, что в конечном итоге приводит к образованию пор и каверн в оболочках клеток

ткани и их последующей деструкции. Данное явление снижает внутриклеточное давление («эффект квазидиффузии»). Наивысшее зна-

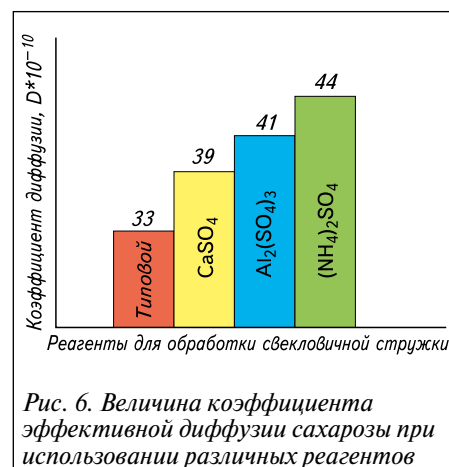


Рис. 6. Величина коэффициента эффективной диффузии сахарозы при использовании различных реагентов

Таблица 2. Величина коэффициента эффективной диффузии в зависимости от применяемых реагентов

Способ проведения диффузии	Без обработки	С обработкой стружки растворами		
		CaSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
Массовая доля сахарозы в экстракте, %	2,2	2,85	3,15	3,55
Сахаристость свёклы, %	16,25	16,25	16,25	16,25
Отношение среднеобъёмных концентраций сахарозы, Сэк / Ссв × 10 ⁻²	11	13	18	21
Толщина образцов, L × 10 ⁻³ м	7	7	7	7
Величина d' × 10 ⁻²	17	21	24	27
Коэффициент диффузии, D × 10 ⁻¹⁰ , м ² /с	33	39	41	44

чение коэффициента диффузии достигается при обработке свекловичной ткани горячим раствором сульфата аммония (NH₄)₂SO₄.

Извлечение сахарозы из свекловичной стружки с использованием предварительной термохимической подготовки к диффузионному процессу требует тщательного подбора параметров обработки в целях получения полупродуктов с максимально высокими качественными показателями при условии рационального использования реагентов и необходимых материалов. Выбор оптимальных параметров процесса осуществлён на основе математических методов планирования эксперимента. Результаты исследования были обработаны с использованием программы Design-Expert v.10, что позволило получить уравнения регрессии и графические зависимости, отражающие взаимосвязь между параметрами термохимической обработки свекловичной стружки раствором сульфата аммония и качественными показателями диффузионного и очищенного соков. В итоге применения совокупности данных методов определены оптимальные значения параметров термохимической обработки свекловичной стружки: продолжительность ошпаривания — 60 с, длительность контакта свекловичной стружки и раствора реагента — 30 с, температура раствора для обработки стружки — 75 °С, массовая доля реагента в растворе — 0,1% [7, 8].

Проведённые экспериментальные исследования свидетельствуют

о целесообразности использования водного раствора сульфата аммония для термохимической обработки свекловичной стружки. Это подтверждается качественными показателями полупродуктов и высокой эффективностью массообменных характеристик диффузионного процесса.

Список литературы

1. Верченко, Л.М. Влияние гидроксида алюминия в наноформе на несахара диффузионного сока [Текст] / Л.М. Верченко, С.В. Ткаченко, Л.М. Хомичак // Сахар. — 2013. — № 10. — С. 44–37.
2. Кульнева, Н.Г. Влияние различных реагентов на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свёклы [Текст] / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — № 1. — 2015. — С. 191–194.
3. Кульнева, Н.Г. Разработка эффективного способа экстрагирования сахарозы из свёклы [Текст] / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв // Вестник Воронежского

государственного университета инженерных технологий. — № 1. — 2014. — С. 162–164.

4. Кульнева, Н.Г. Эффективность тепловой обработки свекловичной стружки перед экстрагированием сахарозы на Балашовском сахарном комбинате [Текст] / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв, А.А. Швецов // Сахар. — 2016. — № 3. — С. 44–46.

5. Методы исследования сырья и продуктов сахарного производства: теория и практика [Текст] / В.А. Голыбин, Н.Г. Кульнева, В.А. Федорук, Г.С. Миронова; Воронежск. гос. ун-т инж. технол. — Воронеж : ВГУИТ, 2013. — 260 с.

6. Пат. 1270698 Российская Федерация, МПК7 А1 4 G 01 N 33/00. Способ определения коэффициента диффузии сахарозы в сахарной свёкле [Текст] / В.Н. Кармаев, Т.С. Корниенко; заявитель и патентообладатель Воронежск. гос. технол. акад. — № 2000132175/13; заявл. 24.05.1984; опубл. 15.11.1986, Бюл. № 42.

7. Пат. 2553234 РФ, МПК7 C10 B103014182 A1. Способ получения диффузионного сока / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежск. гос. ун-т инж. технол. — № 2013153019/13; заявл. 29.11.2013; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 12.

8. Пат. 2551551 РФ, МПК7 C13 B1051706 A1. Способ получения диффузионного сока / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежск. гос. ун-т инж. технол. — № 2014108238/14; заявл. 05.03.2014; опубл. 27.05.2015, Бюл. № 34.

9. Palzer, K. Process for continuous pressure extraction of dried sugar beet cossettes [Text] / K. Palzer, W. Emte, N. Meskat // Journal of Food Engineering. — 2010. — № 4. — P. 1382–1390.

Аннотация. Диффузионное извлечение сахарозы — ключевой этап свеклосахарного производства, определяющий эффективность всех последующих технологических участков предприятия. Современным способом повышения эффективности процесса является термохимическая обработка свекловичной стружки перед диффузией.

Исследовано проведение диффузионного процесса с обработкой свекловичной стружки греющим паром и растворами солевых реагентов перед экстрагированием. Анализ качественных показателей полупродуктов и величины коэффициента эффективной диффузии свидетельствует о целесообразности термохимической обработки стружки перед экстрагированием паром и раствором сульфата аммония.

Ключевые слова: свекловичная стружка, термохимическая обработка, коэффициент эффективной диффузии, сульфат аммония.

Summary. Diffusion sucrose extraction is the key step in the sugar beet production, determining the effectiveness of all the subsequent technological enterprise zones. The modern way of increasing the efficiency of the process is a thermochemical treatment of beet chips before the diffusion. Carrying out of the diffusion process with the processing of sugar beet chips with heating steam and salt reagent solutions before extraction was investigated. Analysis of quality indicators of semi-products and the value of the effective diffusion coefficient shows the usefulness of the thermochemical treatment of chips prior to extraction with steam and ammonium sulfate solution.

Keywords: sugar beet chips, thermochemical treatment, effective diffusion coefficient, ammonium sulfate.