

Влияние термохимической обработки свекловичной стружки на характеристики свекловичной ткани

Н.Г. КУЛЬНЕВА, д-р техн. наук, проф. кафедры ТБСП ВГУИТ (e-mail: ngkulneva@yandex.ru)
М.В. ЖУРАВЛЁВ, канд. техн. наук, инж. кафедры ТБСП ВГУИТ

ВВЕДЕНИЕ

Извлечение сахарозы из свекловичной стружки – один из ключевых этапов свеклосахарного производства, от работы которого зависит ритмичная работа всех последующих станций предприятия, а также качество и выход вырабатываемого сахара. Важнейшей задачей при производстве сахара является поддержание максимальной эффективности работы диффузионного отделения, а также своевременное выявление и устранение различных проблем, возникающих на данном участке производства.

Современная технология экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки сопровождается рядом проблем, а именно:

- величина извлечения сахарозы составляет не более 98%;
- высокие потери сахарозы на станции экстрагирования;
- большой расход пара на достижение заданной температуры процесса;
- большая продолжительность процесса экстрагирования;
- высокая обсеменённость микроорганизмами сокоотружечной смеси в аппарате;
- необходимость применения химических реагентов для обработки питательной воды;
- высокое содержание редуцирующих веществ в диффузионном соке.

Всё это говорит о том, что использование традиционных методов экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки нуждается в совершенствовании, поэтому необходима разработка принципиально новых технологий.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При экстрагировании сахарозы из свекловичной стружки наиболее существенными с точки зрения обеспечения эффективной работы диффузионных аппаратов являются физические свойства свеклович-

ной ткани (упругость, твёрдость и т.д.), влияющие на скорость протекания массообменных процессов. При низких значениях этих показателей происходит слипание и дробление стружки, увеличивается количество брака, что приводит к уплотнению сокоотружечного слоя. Как следствие, затрудняется прохождение экстрагирующей жидкости, что влечёт за собой возрастание потерь сахарозы в свекловичном жоме, увеличение продолжительности диффузионного процесса и ухудшение качества диффузионного сока вследствие интенсивного перехода несахаров [1, 2].

Структурную основу оболочек растительных клеток, определяющую прочность, упругость и эластичность растительной ткани, обеспечивает целлюлоза, отличающаяся длинной цепью с молекулярной массой до нескольких миллионов и значительной энергией взаимодействия между цепями, инкрустированная пектинами, низкомолекулярными фракциями целлюлозы и другими высшими полисахаридами.

Одним из современных направлений повышения прочностных характеристик свекловичной ткани является её химическая обработка различными реагентами. Однако стоимость предлагаемых реагентов довольно высока, что побуждает к поиску альтернативных более доступных вариантов [3].

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Сотрудниками кафедры технологии бродильных и сахаристых производств ВГУИТ проведены исследования по влиянию термохимического воздействия водных растворов солей на структурно-механические свойства свекловичной ткани. В качестве реагентов рассмотрены водные растворы сульфатов аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Исследования проводили на установке, представленной на рис. 1. В основе работы установки заложен принцип гидравлического прессования.

Методика исследования структурно-механических свойств свекловичной ткани состоит в следующем:

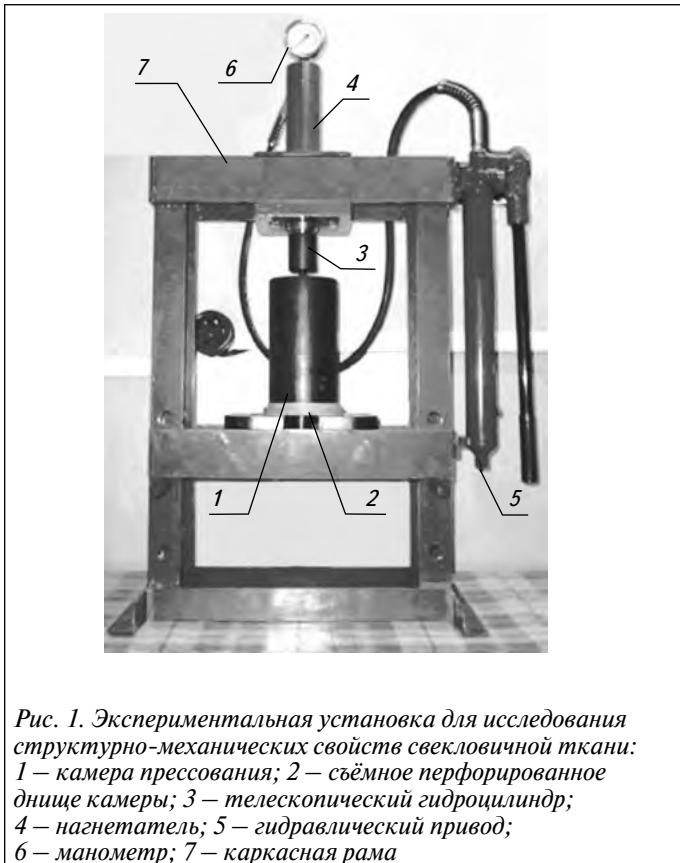


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования структурно-механических свойств свекловичной ткани: 1 – камера прессования; 2 – съёмное перфорированное днище камеры; 3 – телескопический гидроцилиндр; 4 – нагнетатель; 5 – гидравлический привод; 6 – манометр; 7 – каркасная рама

из корнеплода сахарной свёклы получали образцы свекловичной ткани с заданными геометрическими параметрами в соответствии с методикой [4]. Каждый из полученных образцов свёклы подвергали ошпариванию и последующей обработке растворами сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ или сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, подогретыми до температуры 72°C .

Обработанные таким способом образцы сахарной свёклы помещали в камеру прессования и с помощью сжатия рукояти гидравлического привода приводили в движение телескопический цилиндр, воздействующий на поршень, находящийся внутри камеры прессования. Поршень под действием гидравлического давления воздействовал на образец свекловичной ткани, деформируя его. Величину давления регистрировали с помощью манометра. Диапазон прикладываемых давлений составлял от 0,5 до 3 МПа с интервалом варьирования 0,5 МПа.

Эксперимент проводили до тех пор, пока образец свекловичной ткани не деформировался. При этом через равные промежутки показаний манометра фиксировали изменения структуры и геометрической формы исследуемого образца. В качестве варианта сравнения проводили эксперимент с образцом сахарной свёклы, не подвергавшимся термохимической обработке (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из анализа кривых деформационных изменений видно, что термохимическая обработка образцов свёклы паром и растворами предлагаемых реагентов снижает степень деформации испытуемых образцов свёклы в сравнении с показателями контрольного образца, не подвергавшегося термохимической обработке. Контрольный образец выдержал давление 2,5 МПа: дальнейшее увеличение приводит к необратимому разрушению. Для образцов свёклы, подвергнутых термохимической обработке, при давлении 3 МПа происходит их незначительное сжатие без разрушения. Наименьшие деформационные изменения наблюдали у образца свёклы, обработанного паром и раствором сульфата аммония.

Повышенную устойчивость образцов сахарной свёклы к прикладываемому давлению можно объяснить высокой химической активностью сульфатов алюминия и аммония. Ионы этих соединений способны образовывать в поверхностном слое свекловичной ткани нерастворимые комплексные соединения с пектиновыми и белковыми веществами, которые формируют подобие молекулярного каркаса, повышающего устойчивость свекловичной ткани к сдавливающим нагрузкам.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проведённые рядом авторов [5, 6, 7] исследования процесса экстрагирования свидетельствуют, что для извлечения максимального количества сахарозы из свёклы необходимо обеспечить высокую проницаемость свекловичной ткани путём денатурации её белков. Проницаемость оболочки клеток в значительной степени зависит от гидрофильности составляющих её коллоидов, а также характеристик растворов, диффундирующих через клеточные мембраны. Повышение температуры, совмещённое с присутствием в системе ряда химических агентов, способствует обезвоживанию гидрофильных коллоидов и понижению проницаемости клеточной стенки.

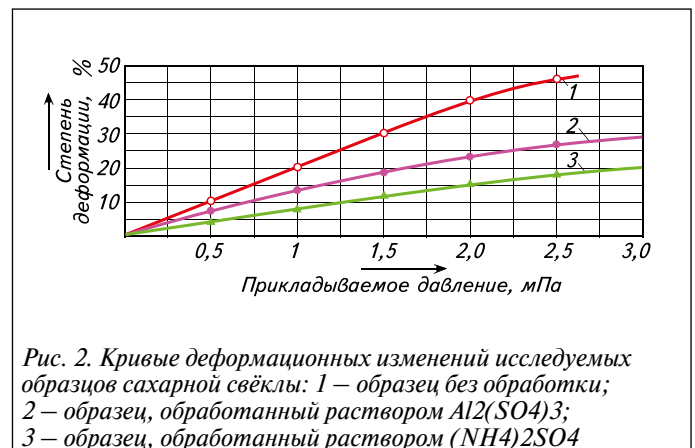


Рис. 2. Кривые деформационных изменений исследуемых образцов сахарной свёклы: 1 – образец без обработки; 2 – образец, обработанный раствором $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; 3 – образец, обработанный раствором $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Важнейшим критерием оценки состояния свекловичной ткани является величина коэффициента молекулярной диффузии D ($\text{м}^2/\text{с}$), который также необходим для выявления основных массообменных характеристик и параметров диффузионного процесса [8]. С увеличением степени денатурации свекловичной ткани пропорционально возрастает величина D , следовательно, процесс экстрагирования протекает эффективнее. Степень денатурации протоплазмы клеток зависит от различных воздействий на свекловичную стружку, в том числе параметров тепловой обработки стружки, температуры диффузионного процесса, природы экстрагента.

Проведены исследования [9] по влиянию процесса термохимической обработки свекловичной ткани из свёклы высокого и низкого технологического достоинства на величину коэффициента эффективной диффузии сахарозы. В качестве тепловых агентов для обработки свекловичной ткани использовали водяной пар и водные растворы солевых реагентов, в частности, применяемых на различных участках свеклосахарного производства: сульфаты аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и кальция CaSO_4 .

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для оценки влияния различных видов термохимического воздействия на молекулярную диффузию использовали метод [10], основанный на определении величины коэффициента эффективной диффузии сахарозы (рис. 3).

Лабораторная установка для определения коэффициента эффективной диффузии состоит из жидкостного термостата и диффузионной камеры (рис. 4). Величину коэффициента определяли отношением концентрации сахарозы в экстрагенте и свёкле с учётом объёмов взаимодействующих фаз, времени экстрагирования и толщины образцов свёклы. Методика определения коэффициента эффективной диффузии состояла в следующем: от общего количества взятой для исследования сахарной свёклы отбирали 10 корнеплодов, которые тщательно отмывали. Далее специальным ножом, состоящим из пары лезвий, из каждого корнеплода вырезали плоскопараллельную пластину заданной толщины. Из каждой пластины трубчатым ножом вырубали по два диска заданного диаметра. Общее количество дисков разделяли на две порции по 10 штук. Первую порцию дисков с целью снижения погрешности методики промывали в течение 5 мин дистиллированной водой, нагретой до температуры 60°C , для удаления с поверхности сахарозы, вышедшей из разрушенных при изрезывании клеток.

После промывания первую порцию дисков истирали в свекловичную кашку и определяли массовую долю сахарозы методом горячего водного дигерирования.

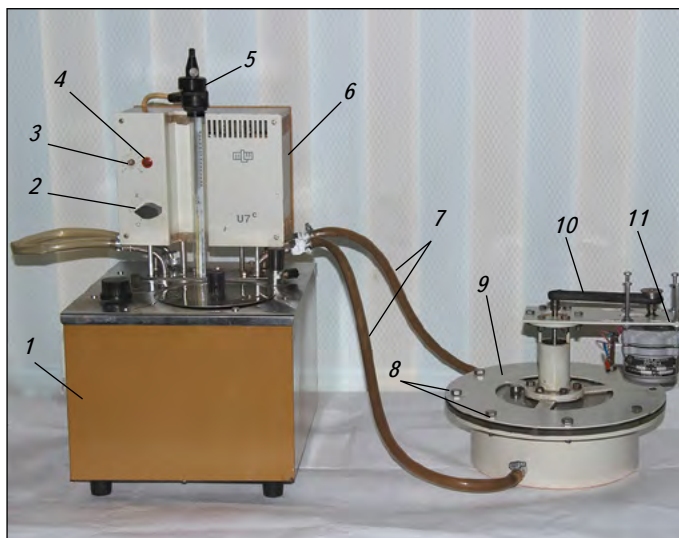


Рис. 3. Установка для определения коэффициента эффективной диффузии сахарозы из свёклы: 1 – термостат жидкостный ТЖ-0-02; 2 – регулятор циркуляции теплового агента; 3 – регулятор мощности нагрева теплового агента; 4 – сигнальная лампа; 5 – электрический термометр сопротивления; 6 – блок управления термостатом ТЖ-0-02; 7 – система гибких шлангов циркуляции теплового агента; 8 – крепежи крышки диффузионной ячейки; 9 – диффузионная камера; 10 – ременная передача; 11 – привод мешалки диффузионной камеры

Вторую порцию дисков ошпаривали в течение 30 с паром, ополаскивали в течение 2 мин в растворах реагентов $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ или CaSO_4 , нагретых до температуры 60°C , и помещали в предварительно нагретую до температуры 72°C термостатируемую диффузионную камеру (см. рис. 4). Диски закрепляли

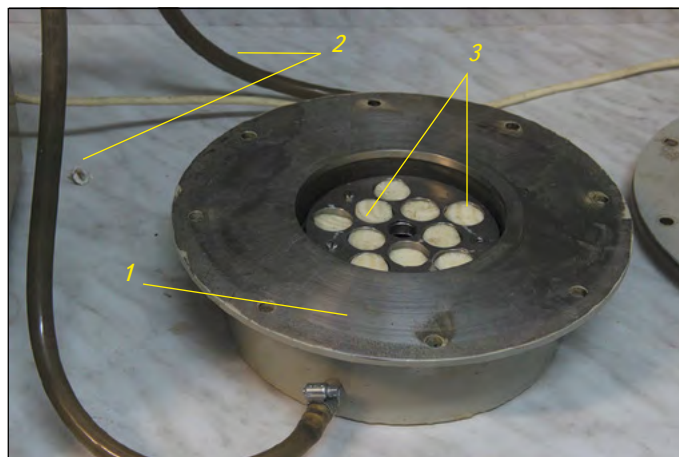


Рис. 4. Диффузионная камера установки по определению величины коэффициента диффузии: 1 – корпус диффузионной камеры; 2 – система гибких шлангов для циркуляции теплоагента; 3 – исследуемые образцы сахарной свёклы

КОМПЛЕКСНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

таким образом, чтобы их нижние торцовые поверхности не контактировали с экстрагентом.

Далее в диффузионную камеру приливали заданное количество экстрагента, подогретого до температуры 72 °С. В качестве экстрагента использовали смесь дистиллированной воды и растворов сульфатов алюминия, аммония или кальция, которые добавляли в количестве 10% к массе стружки в основной экстрагент. После добавления экстрагента герметично закрывали диффузионную камеру и включали перемешивающее устройство. Экстрагирование осуществляли в течение 60 мин.

В качестве варианта сравнения проводили экстрагирование без применения термохимической обработки образцов свёклы, а в качестве экстрагента использовали чистый конденсат.

По окончании эксперимента экстрагент извлекали из диффузионной камеры и определяли в нём массовую долю сахарозы по ГОСТ 12571-98.

На основании полученных значений массовой доли сахарозы в свёкле и экстрагенте рассчитывали отношение среднеобъёмных концентраций сахарозы по формуле

$$X = \frac{CX_{\text{эк}}}{CX_{\text{св}}} \times 10^{-2},$$

где X – отношение среднеобъёмных концентраций сахарозы; $CX_{\text{эк}}$ – содержание сахарозы в экстрагенте, %; $CX_{\text{св}}$ – содержание сахарозы в свёкле, %.

Далее с помощью рассчитанных значений среднеобъёмных концентраций сахарозы в экстрагенте по номограмме определяли искомую величину $d' \times 10^{-2}$, связанную со значением коэффициента эффективной диффузии D сахарозы в сахарной свёкле.

Коэффициент эффективной диффузии находили по формуле

$$D = K \times d',$$

где D – значение коэффициента эффективной диффузии сахарозы из свёклы, м²/с; K – поправочный коэффициент; d' – коэффициент номограммы.

$$K = \frac{l^2}{\tau},$$

где l – толщина дисков сахарной свёклы, м; τ – продолжительность эксперимента, с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значения коэффициента эффективной диффузии для свёклы различного технологического достоинства представлены в табл. 1 и 2.

Установлено, что при переработке свёклы пониженного качества величина коэффициента диффузии сахарозы снижается в сравнении с показателями здо-

ровой свёклы. Проведение термохимической обработки образцов сахарной свёклы с добавлением растворов предлагаемых солей оказывает положительное воздействие на величину коэффициента эффективной диффузии по сравнению с классическим способом, так как обеспечивает беспрепятственный переход сахарозы из пор свекловичной ткани в экстрагент за счёт интенсивного конвективного вымывания. Максимальная величина коэффициента эффектив-

Таблица 1. Величина коэффициента эффективной диффузии сахарозы при переработке свёклы высокого технологического качества

Способ проведения диффузии	Без обработки	Обработка стружки растворами		
		CaSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
Массовая доля сахарозы в экстракте, %	2,15	2,75	3,25	3,75
Сахаристость свёклы, %	17	17	17	17
Отношение среднеобъёмных концентраций сахарозы, $C_{\text{эк}}/C_{\text{св}} \times 10^{-2}$	12	14	19	20
Толщина образцов, $L \times 10^{-3}$ м	7	7	7	7
Величина $d' \times 10^{-2}$	19	22	26	29
Коэффициент диффузии, $D \times 10^{-10}$, м ² /с	36	40	43	45

Таблица 2. Величина коэффициента эффективной диффузии сахарозы при переработке свёклы низкого технологического качества

Способ проведения диффузии	Без обработки	Обработка стружки растворами		
		CaSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
Массовая доля сахарозы в экстракте, %	1,9	2,2	2,35	2,85
Сахаристость свёклы, %	15,75	15,75	15,75	15,75
Отношение среднеобъёмных концентраций сахарозы, $C_{\text{эк}}/C_{\text{св}} \times 10^{-2}$	10	13	16	19
Толщина образцов, $L \times 10^{-3}$ м	7	7	7	7
Величина $d' \times 10^{-2}$	17	20	23	25
Коэффициент диффузии, $D \times 10^{-10}$, м ² /с	32	37	41	43

ной диффузии наблюдается при использовании для термохимической обработки свекловичной стружки раствора сульфата аммония [11, 12].

ВЫВОДЫ

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о целесообразности термохимической обработки свекловичной стружки перед процессом экстрагирования солевыми реагентами. Это обеспечивает снижение деформации свекловичной ткани в 1,5–2 раза, повышает коэффициент диффузии сахарозы при переработке свёклы удовлетворительного качества на 20–25%, низкого качества – на 28–34%. Наиболее высокие показатели достигаются при использовании для термохимической обработки раствора сульфата аммония [13].

Список литературы

1. *Карташов, А.К.* Реакция свекловичной ткани на различные воздействия / А.К. Карташов, Е.П. Коваль // Сахарная промышленность. – 1985. – № 2. – С. 12–15.
2. *Островский, Э.В.* Оценка механических свойств свекловичной стружки / Э.В. Островский, Д.В. Озеров // Сахарная промышленность. – 1989. – № 2. – С. 17–20.
3. *Пушанко, Н.Н.* О температурном режиме в диффузионных аппаратах наклонного типа / Н.Н. Пушанко, Б.Д. Коваленко // Сахар. – 2006. – № 2. – С. 30–34.
4. *Беляева, Л.И.* Исследование упругости ткани сахарной свёклы / Л.И. Беляева, Д.В. Озеров, А.И. Чугунов // Сахар. – 2007. – № 5. – С. 22–24.
5. *Кондратова, О.Ю.* Совершенствование способов экстракции сахарозы из свёклы: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Ю. Кондратова. – М., 2008. – 24 с.
6. *Лысянский, В.М.* Многоступенчатое моделирование процесса нестационарного массообмена в системе твёрдая-жидкая фазы. Повышение эффективности. Совершенствование процессов и аппаратов химических производств / В.М. Лысянский, О.Н. Миссин. – М.: Агропромиздат, 1989. – 180 с.
7. *Bessadok, J.* Modeling the kinetic of solute diffusion from sugarbeet particles based on electric conductivity measurements [Text] / J. Bessadok, L. Khezami, A. Emad // Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development. – 2011. – № 12. – P. 1664–1679.
8. *Кульнева, Н.Г.* Влияние термохимической обработки на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свёклы / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – № 3. – 2014. – С. 146–149.
9. *Кульнева, Н.Г.* Питательная вода для диффузионного извлечения сахарозы из свёклы: обоснование

технологии её подготовки / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв, И.С. Наумченко // Сахар. – 2015. – № 11. – С. 33–35.

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

11. Повышение качества питательной воды как способ интенсификации экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки [Текст] / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлёв, Л.И. Беляева, М.С. Задонских // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11 (ч. 3). – С. 337–341.

12. *Кульнева, Н.Г.* Повышение качества питательной воды как способ интенсификации экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки [Текст] / Н.Г. Кульнева [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11 (ч. 3) – С. 337–341.

13. Пат. 2551551 РФ, МПК7 С13 В1051706 А1. Способ получения диффузионного сока / Кульнева Н.Г., Журавлёв М.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронеж. гос. ун-т. инж. технол. – № 2014108238/14; заявл. 05.03.2014; опубл. 27.05.2015, Бюл. № 34.

Аннотация. Эффективность извлечения сахарозы из свёклы определяется состоянием свекловичной ткани: упругостью, твёрдостью, проницаемостью для экстрагента. Для повышения прочностных характеристик свекловичной ткани проведена её термохимическая обработка с использованием водных растворов сульфатов аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Изменение массообменных характеристик свекловичной ткани под действием термохимической обработки оценивали по коэффициенту молекулярной диффузии сахарозы. Экспериментально установлено существенное повышение прочностных и массообменных свойств свекловичной ткани при совмещённой обработке паром и раствором сульфата аммония. **Ключевые слова:** свекловичная ткань, прочностные характеристики, массообменные характеристики, термохимическая обработка.

Summary. The efficiency of the sucrose extraction from the sugar beet depends on the state of a beet's tissue: elasticity, hardness, permeability for extractant. A thermochemical processing with use aqueous solutions of ammonium sulphate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and aluminium sulphate $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ has been undertaken in order to improve the solidity characteristics of the beet's tissue. A changing of mass exchange characteristics of the beet tissue during the thermochemical processing has been evaluated with use the coefficient of molecular diffusion of sucrose. During the experiment a significant increase of the solidity and mass exchange characteristics of the beet's tissue has been established when simultaneous processing the sugar beet by the steam and solution of ammonium sulphate.

Keywords: beet's tissue, solidity characteristics, mass exchange characteristics, thermochemical processing.