

УДК 664.1.031

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ САХАРОЗЫ ИЗ СВЕКЛЫ В САХАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Журавлев М.В.

ФГБОУВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
Воронеж, e-mail: zyrav2014@ya.ru

Применение наклонных диффузионных аппаратов для экстрагирования сахарозы из свеклы сопровождается неравномерным обогревом сокоотрующей смеси по длине аппарата, что снижает степень извлечения сахарозы из стружки, увеличивает ее потери в жоме, затраты пара на процесс экстрагирования. Исследована возможность термической обработки свекловичной стружки растворами специальных реагентов перед процессом экстрагирования сахарозы. Изучено влияние электрохимической активации растворов на эффективность предварительной обработки стружки. Для описания процесса были использованы математические методы планирования эксперимента. Применение предлагаемых растворов для обработки стружки перед экстрагированием позволяет снизить величину потерь сахарозы в диффузионном отделении, повысить качественные показатели очищенных соков, уменьшить энергетические затраты на прессование и сушку жома. Реализация способа обеспечивает повышение выхода товарного сахара на уровне 0,30–0,35%.

Ключевые слова: экстрагирование сахарозы, предварительная обработка свекловичной стружки, электрохимическая активация, математические методы планирования, энергетические затраты

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF THE EXTRACTION OF SUCROSE FROM SUGAR BEET DURING SUGAR PRODUCTION

Zhuravlev M.V.

FSBEE HPE «Voronezh State University of Engineering Technologies»,
Voronezh, e-mail: zyrav2014@ya.ru

Application of slanted diffusers for the extraction of sucrose from sugar beet is accompanied with irregular heating of juice- and flakes mixture in the unit length, which reduces the degree of extraction of sucrose from flakes, increases its loss in pulp and vapour costs for the extraction process. We investigated the thermal processing of beet flakes with solutions of special reagents before the sucrose extraction process. The influence of electrochemical activation of solutions on the effectiveness of flakes pre-processing was studied. Mathematical methods of experiment planning were used to describe the process. Application of the suggested solutions for the processing of flakes before the extraction allows to reduce losses of sucrose in diffusion compartment, to increase quality indicators of clarified juices, to reduce energy costs on the pressing and drying of sugar beet pulp. This method realization provides the increase of the output of commercial sugar at the level of 0,30–0,35 percent.

Keywords: extraction of sucrose, preliminary processing (pre-processing) of beet flakes, electrochemical activation, mathematical methods of planning, energy costs

На современном этапе социального и экономического развития человеческого общества одной из важнейших задач является сохранение природных ресурсов путем их рационального использования. Сахарная промышленность, перерабатывающая значительные объемы сахарной свеклы, по своей сложности, удельному водопотреблению и затратам энергии не имеет аналогов среди других пищевых предприятий и по своей значимости приближается к таким отраслям промышленности, как металлургическая, химическая, целлюлозно-бумажная, нефтеперерабатывающая и другие [1].

По своей энергоемкости, сложности и стоимости теплоэнергетического комплекса, по неразрывности связей между технологическими и теплоэнергетическими процессами сахарное производство занимает одно из первых мест среди отраслей пищевой индустрии. При этом расход топлива на отечественных сахарных заводах составляет порядка 5,5%, в то время как на европейских – 2,5%, а затраты на энергию

и топливо в настоящее время с учетом энергоносителей составляют 35–40% от общих затрат на переработку свеклы [3].

Такой высокий уровень затрат энергии и ресурсов требует внедрения современных энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Одним из эффективных мероприятий, способствующих снижению энергетических и ресурсных затрат сахарного производства, является совершенствование процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки. От проведения этого процесса зависит работа всех последующих станций предприятия, включая качество и выход готовой продукции.

На результативность извлечения сахарозы из свекловичной стружки влияют наряду с качеством перерабатываемого сырья предварительная подготовка свекловичной стружки к экстрагированию и рациональное использование возвратной жомо-прессовой воды.

Современная технология экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки

предусматривает противоточную обработку сырья специально подготовленным экстрагентом при температуре процесса 70–72 °С. Такое значение температуры необходимо для денатурации белков и разрушения протоплазмы клеток свекловичной ткани, благодаря чему происходит высвобождение молекул сахарозы из стружки в экстрагент. Данный способ позволяет извлечь до 98 % сахарозы из сырья [5].

На большинстве сахарных заводов экстрагирование осуществляют в наклонных диффузионных аппаратах. Их достоинством является возможность подогревания стружки непосредственно в аппарате. Проведение диффузионного процесса в аппаратах такой конструкции сопровождается рядом проблем: неравномерный обогрев сокостружечной смеси по длине аппарата, что приводит к снижению степени извлечения сахарозы из стружки, а также интенсивному развитию микроорганизмов внутри аппарата. Как следствие, увеличиваются по-

тери сахарозы на станции экстрагирования, расход пара на достижение заданной температуры, продолжительность процесса [4].

Современным решением данной проблемы является предварительная обработка свекловичной стружки горячими жидкими реагентами (ошпаривание). В качестве реагентов нами предлагается использовать водные растворы сернокислого глинозема $Al_2(SO_4)_3$ и хлорной извести.

Растворы реагентов в количестве 10 % к массе стружки нагревали до температуры 70 °С и проводили ошпаривание свекловичной стружки нагретым раствором в течение 1 мин. В качестве экстрагента использовали конденсат, который затем добавляли в количестве 90 % при температуре 70 °С. Диффузию проводили при температуре 70 °С в течение 60 мин. После экстрагирования из сокостружечной смеси отделяли диффузионный сок, термостатировали его при температуре 20 °С, осуществляли анализ показателей качества полученного сока (табл. 1, 2).

Таблица 1

Качественные показатели диффузионного сока в зависимости от применяемых реагентов

Показатели	Типовая диффузия	Реагенты для предварительной обработки свекловичной стружки	
		$Al_2(SO_4)_3$	Хлорная известь
Чистота, %	84,4	85,6	85,2
pH	6,86	6,76	6,88

После завершения диффузионного процесса проводили преддефекацию диффузионного сока при температуре 55–60 °С продолжительностью 15 мин с добавлением суспензии сока I сатурации и известкового молока до pH

сока 11,0–11,6, далее тепло-горячую основную дефекацию добавлением известкового молока до pH 12,0–12,2 и обрабатывали диоксидом углерода (I сатурация) при температуре 90 °С до pH 11,0–11,2, отделяли осадок (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная оценка реагентов для предварительной обработки свекловичной стружки

Показатель	Типовая схема	Реагент для обработки	
		Сульфат алюминия	Хлорная известь
Чистота диффузионного сока, %	84,4	85,8	85,6
pH диффузионного сока	6,65	6,7	6,6
Массовая доля белков в диффузионном соке, г/100 г сухих веществ	1,1	0,79	0,81
Скорость отстаивания преддефекованного сока, см/мин	2,85	3,20	2,98
Скорость отстаивания сока I сатурации, см/мин	4,0	5,5	5,0
Объем осадка сока I сатурации, %	40	30	35

Процесс II сатурации проводили при температуре 95 °С с доведением pH сока до 9,0–9,2. В очищенном соке определяли чистоту, цветность, массовую долю солей кальция (табл. 3).

Для выбора рациональной концентрации предлагаемых реагентов их растворы с различной концентрацией при температуре 70 °С использовали для предварительной обработки стружки, добавляя в количестве

10 % к массе стружки, выдерживали 1 мин. Далее к пробам добавляли экстрагент при температуре 70 °С в количестве 90 % по массе, проводили диффузию в течение 60 мин при перемешивании. Отделяли диффузионный сок от сокостружечной смеси и термостатировали его при температуре 20 °С. Анализ качественных показателей полученного диффузионного сока показан в табл. 4, 5.

Таблица 3

Показатели сока II сатурации при различных способах подготовки стружки к экстрагированию

Показатели	Типовая диффузия	Реагенты для предварительной обработки свежесковичной стружки	
		Хлорная известь	Сульфат алюминия
Чистота, %	90,2	91,4	91,7
Цветность, усл. ед.	19,1	18,6	17,9
Массовая доля солей кальция, % СаО	0,048	0,045	0,043

Таблица 4

Выбор оптимальной концентрации сульфата алюминия

Концентрация сульфата алюминия, %	Показатели диффузионного сока		
	Чистота, %	рН	Массовая доля белков, мг/см ³
0,01	83,6	6,18	0,77
0,05	84,3	6,15	0,48
0,10	83,8	6,12	0,66
Типовая схема диффузии	82,8	6,41	0,86

Таблица 5

Выбор оптимальной концентрации хлорной извести

Показатели диффузионного сока	Типовая схема диффузии	Концентрация раствора хлорной извести, %	
		0,10%	0,05%
Чистота, %	82,3	83,8	82,9
рН	6,3	6,33	6,28
Массовая доля белка, %	0,56	0,39	0,44

В результате анализа качественных показателей полученного диффузионного сока установлено, что самые высокие показатели имеет сок, полученный из стружки, обработанной раствором сульфата алюминия с концентрацией 0,05%, или раствором хлорной извести концентрацией 0,10%.

Проведены исследования по сравнению эффективности обработки свежесковичной стружки растворами различных солей перед экстрагированием [4]. Использовали растворы $Al_2(SO_4)_3$ концентрацией 0,05% и хлорной извести концентрацией 0,10%

Показатели диффузионного и очищенного сока представлены в табл. 6 и на рис. 1.

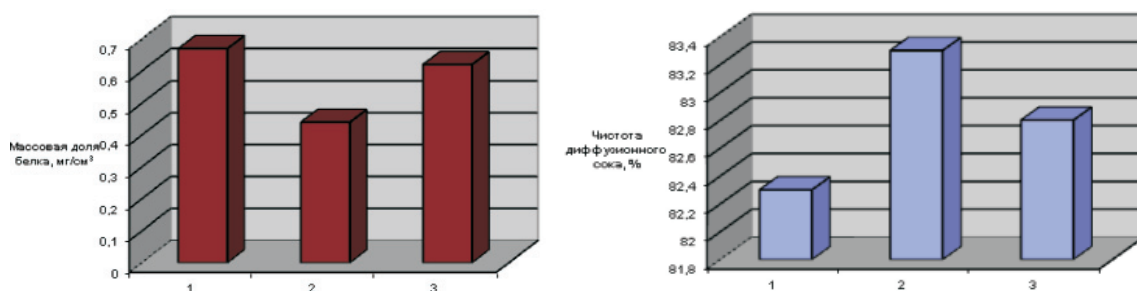


Рис. 1. Сравнение показателей диффузионного сока, полученного различными способами: 1 – типовая диффузия; 2 – с предварительной обработкой 0,05% раствором сульфата алюминия; 3 – с предварительной обработкой 0,10% раствором хлорной извести

В результате проведенного исследования установлено, что обработка стружки раствором сульфата алюминия с концентрацией 0,05% позволяет достичь лучших показателей по сравнению с раствором хлорной извести с концентрацией 0,10%.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности сахарного производства является активация различных технологических сред на основе применения электрофизических и электрохимических воздействий.

Возможность использования электрических полей обусловлена наличием электрически заряженных частиц, взаимодействующих с внешним электрическим полем, в растительном сырье, продуктах его переработки, а также в различных производственных жидкостях [2].

Интерес представляет электрохимическая активация растворов (ЭХА), применяемых в сахарном производстве. Нами проведены исследования, касающиеся влияния ЭХА растворов предлагаемых реагентов на качественные показатели полупродуктов сахарного производства. Исследована эффективность использования различных реагентов после ЭХА для обработки свекловичной стружки. Для этого растворы предлагаемых реагентов подвергали ЭХА в специальной лабораторной ячейке и использовали для предварительной обработки стружки, добавляя их в количестве 10% к массе стружки, выдерживали 1 мин. Далее проводили диф-

фузию в течение 60 мин при перемешивании по 2 вариантам: с предварительным ошпариванием стружки активированными растворами реагентов и по типовой схеме (рис. 2).

Для оценки эффективности процесса экстрагирования большое значение имеет способность обессахаренной стружки (жомы) удерживать влагу: чем больше воды будет удалено путем прессования, тем меньше будут затраты энергоносителей на процесс сушки жома, который является ценным кормовым ресурсом. Удаленная жомо-прессовая вода возвращается в технологический процесс в качестве экстрагента, что снижает образование жомо-кислых вод, отрицательно влияющих на экологическую обстановку вблизи сахарного завода. После окончания процесса диффузии обессахаренную стружку отделяли и направляли на прессование на вертикальном прессе. В отжатом жоме определяли массовую долю влаги с использованием влагомера Чижовой (табл. 7).

Таблица 6

Сравнительная оценка способов подготовки стружки к экстрагированию

Показатели	Типовая схема диффузии	Реагенты для предварительной обработки стружки	
		Сульфат алюминия, 0,05% раствор	Хлорная известь, 0,10% раствор
Диффузионный сок			
Чистота, %	82,5	84,4	83,1
Массовая доля белков, %	0,39	0,32	0,38
Очищенный сок			
Чистота, %	91,2	92,4	91,8
Цветность, усл. ед.	16,0	14,2	15,2
Соли кальция, % СаО	0,048	0,033	0,039

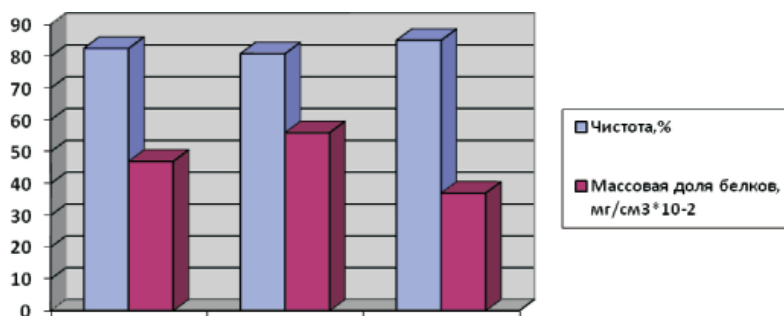


Рис. 2. Показатели диффузионного сока в зависимости от способа проведения процесса экстрагирования

Таблица 7

Влияние способа подготовки реагента для термической обработки на способность стружки к обезвоживанию

Показатели	Растворы после ЭХА		Растворы без ЭХА		Типовая
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Хлорная известь	Al ₂ (SO ₄) ₃	Хлорная известь	
Массовая доля влаги, %	76,4	74,8	77	76,8	78,2
Массовая доля сухих веществ, %	23,6	25,2	23	23,2	21,8

В результате экспериментальных исследований установлено, что применение ЭХА растворов для обработки стружки перед процессом экстрагирования позволяет достичь высокой степени обезвоживания свекловичного жома и снизить энергетические затраты на его прессование и сушку.

С целью определения оптимальных параметров предварительной обработки стружки и исследования характера взаимодействия различных факторов, влияющих на процесс экстрагирования сахарозы с предварительной температурной обработкой свекловичной стружки, применены математические методы планирования. В качестве основных факторов, влияющих на процесс предварительной тепловой обработки стружки, были выбраны X_1 – температура рабочего раствора, °С и X_2 – продолжительность ошпаривания свекловичной стружки рабочим раствором, мин. Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями проведения процесса. Критериями оценки влияния данных факторов выбраны качественные показатели диффузионного и очищенного сока: Y_1 – чистота диффузионного сока, %;

Y_2 – массовая доля белков в диффузионном соке, г/100 г сока; Y_3 – чистота очищенного сока, %; Y_4 – цветность очищенного сока, усл. ед.; Y_5 – массовая доля солей кальция очищенного сока, % СаО.

Опыты проводили по следующей методике. Корнеплоды сахарной свеклы измельчали в стружку. В отдельных колбах нагревали 10 проб раствора сульфата аммония до температуры 63, 65, 70, 75, 77°С (в соответствии с матрицей планирования эксперимента). По достижении каждой пробой раствора необходимой температуры проводили ошпаривание навесок свекловичной стружки при продолжительности ошпаривания: 0,6; 1; 2; 3; 3,4 мин (в соответствии с матрицей планирования эксперимента). По истечении времени ошпаривания в каждую колбу со стружкой приливали нагретый до 70°С экстрагент, проводили диффузию при температуре 70–72°С 60 мин и перемешивании. Отделяли диффузионный сок и подвергали его физико-химической очистке. В диффузионном и очищенном соке определяли показатели качества.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии вида:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 81,2992 + 0,0452 X_1 + 0,1728 X_2 - 1,95 X_1 X_2 - 0,2121 X_1^2 + 0,9882 X_2^2; \\ Y_2 &= 0,250058 + 0,0253 X_1 + 0,0100 X_2 - 0,0506 X_1^2 - 0,0250 X_1 X_2 - 0,0181 X_2^2; \\ Y_3 &= 93,5999 + 0,4470 X_1 - 0,3020 X_2 + 0,2219 X_1^2 + 0,1510 X_1 X_2 + 0,0844 X_2^2; \\ Y_4 &= 9,2014 - 0,2375 X_1 + 0,0433 X_2 - 1,1610 X_1^2 + 0,1250 X_1 X_2 - 0,9960 X_2^2; \\ Y_5 &= 0,0414988 - 0,0086 X_1 - 0,0008 X_2 - 0,0042 X_1^2 - 0,0020 X_1 X_2 - 0,0107 X_2^2. \end{aligned}$$

Анализ данных уравнений позволяет выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на рассматриваемый процесс.

Учитывая, что исследуемые факторы (температура и продолжительность ошпаривания стружки) неоднозначно влияют на рассматриваемый процесс, проведена оптимизация процесса предварительной обработки стружки. Задача оптимизации процесса обработки стружки перед экстрагированием сахарозы заключалась в поиске условий, при которых чистота диффузионного и очищенного соков максимальны, а цветность, массовые доли солей кальция и белков – минимальны.

Для решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов использована обобщенная функция желательности D (критерий Харрингтона). Для построения обобщенной функции желательности преобразованы измеренные значения откликов в безразмерную шкалу желательности d (табл. 8).

Обобщенная функция желательности определена по формуле:

$$D = \sqrt[5]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_4 \cdot d_5}$$

и приведена в последней графе табл. 8.

Анализируя полученные значения обобщенной функции желательности, можно сделать вывод об оптимальных параметрах проведения предварительной обработки стружки перед экстрагированием: температура ошпаривания свекловичной стружки 75°С, продолжительность ошпаривания стружки 3 мин.

Использование предварительной тепловой обработки свекловичной стружки позволяет повысить эффективность протекания диффузионного процесса, блокировать переход веществ белково-пектинового комплекса из свекловичной стружки в диффузионный сок, за счет чего их содержание в диффузионном соке снижается; снизить цветность очищенного сока на

15,1%, содержание солей кальция на 31,3% в сравнении с типовым способом; повысить чистоту очищенного сока на 1,2%, что соот-

ветствует увеличению выхода сахара-песка на 0,3%; уменьшить расход греющего пара на 0,2%.

Таблица 8

Частные функции желательности

Номер опыта	X_1	X_2	d_1	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	D
1	-1	-1	0,2790	0,2790	0,8018	0,3798	0,7096	0,2899	0,445
2	1	-1	0,8018	0,8018	0,6761	0,3281	0,7558	0,2051	0,488
3	-1	1	0,7181	0,7181	0,6037	0,7462	0,7957	0,7741	0,724
4	1	1	0,6248	0,6248	0,6228	0,8018	0,8018	0,8018	0,725
5	-1,414	0	0,6630	0,6630	0,3623	0,2773	0,7629	0,7837	0,525
6	1,414	0	0,2140	0,2140	0,3157	0,5535	0,3012	0,5037	0,355
7	0	1,414	0,3377	0,3377	0,3857	0,6194	0,3012	0,5372	0,420
8	0	-1,414	0,3774	0,3774	0,2051	0,2899	0,2185	0,7431	0,325
9	0	0	0,8851	0,8851	0,2051	0,7140	0,3061	0,6710	0,484
10	0	0	0,2051	0,2051	0,3157	0,2051	0,2051	0,3256	0,245

Список литературы

1. Водное хозяйство сахарных заводов: учебное пособие / В.А. Гольбин, В.М. Фурсов, Ю.И. Зелепукин, Н.Г. Кульнева, В. А. Федорук; Воронеж. гос. технол. акад. – 2-е изд., исправл. и доп. – Воронеж, 2009. – 124 с.

2. Выбор оптимальных параметров предварительной обработки свекловичной стружки перед экстрагированием/ Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлев, А.И. Шматова, И.С. Воронина // Новое в технике и технологии функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы III Международной научно-технической конференции / Воронеж.гос.ун-т.инж.технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2013. – С. 340– 342.

3. Колесников В.А. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов / В.А. Колесников, Ю.Г. Нечаев. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 392 с.

4. Разработка способа обработки свекловичной стружки перед экстрагированием / Н.Г. Кульнева, М.В. Журавлев, Е.В. Авилова, И.С. Воронина // Российская наука глазами молодых исследователей: опыт и инновации: материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции – Мичуринск, 2013. – С. 134– 138.

5 Сaproнов А.Р. Технология сахарного производства. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Колос, 1999. – 495 с.

2. Selection of optimal parameters of beet flakes pre-processing of before the extraction process / N. Kulneva, M.V. Zhuravlev, A. I. Shmatova, I.S. Voronina // New in technique and technology of functional food products based on biomedical views: Materials of the 3rd International scientific- and technical conference / Voronezh state university of engineering technologies Voronezh: VSUET, 2013. pp. 340– 342.

3. Kolesnikov V.A. Heat- and power economy of sugar factories / V.A. Kolesnikov, Yu.G. Nechaev: M.: Food industry, 1980. 392 p.

4. Development of methods of the processing of sugar-beet flakes before extraction / N.G. Kulneva, M.V. Zhuravlev, E.V. Avilova, I.S. Voronina // Russian science in the eyes of young researchers: experience and innovations [Text] : Materials of all-Russian student scientific- and practical conference Michurinsk, 2013. pp. 134– 138.

5. Saproнов A.R. Sugar production technology. 2nd edition, corrected. and added M.: Kolos, 1999. 495 pp.

Рецензенты:

Гольбин В.А., д.т.н., профессор кафедры технологии броидильных и сахаристых производств, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж;

Дерканосова Н.М., д.т.н., профессор, декан факультета технологии и товароведения, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I», г. Воронеж;

Работа поступила в редакцию 15.01.2014.

References

1. Water sector of sugar factories: Tutorial / V.A. Golybin, V.M. Fursov, Yu.I. Zelepukin, N.G. Kulneva, V.A. Fedoruk; Voronezh. state technology. Academy. 2nd edition, corrected. and added Voronezh, 2009. 124 p.