

Очистка диффузионного сока с применением электродиализа

О.К. НИКУЛИНА, инженер, исследователь, зав. научно-исследовательской лабораторией сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (e-mail: sugar@belproduct.com)
О.В. ДЫМАР, инженер, д-р техн. наук, проф., техн. директор представительства АО «МЕГА» в Республике Беларусь (e-mail: dymarov@tut.by)

Введение

Важнейшие тенденции развития сахарной отрасли Республики Беларусь на сегодняшний день — это повышение качества и увеличение выхода готовой продукции, а также снижение её себестоимости и сокращение материальных затрат на производство. В связи с этим возникает необходимость в обеспечении высокого качества сырья, разработке и внедрении новых технологических приёмов, направленных на оптимизацию основных процессов производства и снижение материальных и топливно-энергетических ресурсов [6].

Исследования качества вырабатываемой в условиях Республики Беларусь сахарной свёклы, проводимые научно-исследовательской лабораторией сахарного производства в разные годы, показали, что отечественное сырьё характеризуется высоким содержанием золы в диапазоне 0,60–0,76 % к массе свёклы, а по некоторым зонам свеклосеяния этот уровень доходит до 0,89 %, что предполагает получение диффузионного сока низкого качества даже при высоких показателях сахаристости свёклы и чистоты свекловичного сока. Кроме того, проводились исследования технологических

параметров уваривания и кристаллизации утфеля, главная цель которых — снижение содержания сахара в мелассе за счёт корректировки исследуемых параметров [3, 5, 7, 9]. В ходе анализа полупродуктов сахарного производства было установлено, что зола в них составляет 23,7–31,1 % от массы несахаров [2].

Также определено, что зола в большей степени представлена калием, который составляет 24,5–34,7 % золы, не удаляется в процессе очистки и накапливается в межкристалльных отлёках и мелассе. Содержание натрия в диффузионном соке незначительно, и его увеличение к завершению процесса очистки диффузионного сока происходит благодаря добавлению подщелачивающих реагентов. Ионы калия и натрия являются наиболее сильными мелассообразователями и способствуют увеличению содержания сахара в мелассе и её выхода. Содержание катионов кальция составляет 1,5 % от золы диффузионного сока. Оно увеличивается в соке I сатурации за счёт добавления извести на очистку сока и снижается до получения очищенного сока. Тем не менее количество катионов кальция остаётся значительным и ухудшает работу теплообменной

аппаратуры по причине образования малорастворимых солей с органическими кислотами [2].

Электродиализ обеспечивает получение продукта высокого качества путём регулирования минерального состава и кислотности до требуемых значений благодаря удалению ионогенных соединений. Электродиализ не только обеспечивает корректировку физико-химических показателей, но и значительно улучшает органолептические и технологические характеристики, что облегчает дальнейшие операции вакуумного сгущения, кристаллизации и сушки [1].

Электродиализная очистка может быть включена в классическую технологию производства сахара на одном или нескольких этапах: для первичной очистки сока; для дополнительной очистки сока II сатурации, полусиропа после III корпуса выпарной станции; для обработки клеровки I отлёка утфеля I или II кристаллизации и даже клеровки мелассы. С технологической точки зрения целесообразнее удалять несахара в начале технологической схемы, т. е. проводить электродиализную очистку сока, что интенсифицирует работу выпарной установки и продуктового отделения сахарного завода. Ис-

следования в данной области позволяют не только усовершенствовать технологию получения сахара путём применения электродиализа, но и решить ряд технологических проблем.

Цель и задачи исследования

Научная работа была посвящена изучению влияния электромембранной обработки диффузионного сока различной степени очистки на его химический состав с целью разработки технологических приёмов для повышения эффективности переработки сахарной свёклы и увеличения выхода сахара.

Основные задачи исследования:

- изучить изменение содержания ионов калия и натрия, которые являются основными мелассообразователями и увеличивают потери сахарозы, и ионов кальция при электромембранной обработке соков;
- изучить изменение технологического качества полупродуктов в процессе электромембранной обработки;
- рассчитать технологические показатели и провести сравнительную оценку технологических схем переработки сахарной свёклы с применением электродиализа;
- обосновать возможность применения электрохимической ионообменной обработки в технологии получения сахара.

Материалы и методы исследований

Для получения данных о фактических пределах изменения содержания катионов и анионов в полупродуктах сахарного производства и их технологического качества на ОАО «Городейский сахарный комбинат» были проведены модельные испытания процесса электродиализа в условиях реального производства при установившемся режиме получения сахара на пилотной мембранной установке с катионно-анионным набором

мембран на диффузионных соках различной степени очистки.

Модельные испытания производились на пилотной мембранной установке ED(R) — Y производства MEGA a.s., Чехия, с катионно-анионным набором мембран. В целях исследования изменения минерального состава и технологического качества полупродуктов в ходе процесса в исходных соках и продуктах после электродиализа (дилуатах) определяли массовые доли щелочных и щелочноземельных металлов, общей золы, показатели технологического качества. Для описания процесса деминерализации контролировали показатель pH и удельную электропроводимость.

Расчёт материальных потоков сахарного производства проводился в соответствии с [8]. Значение мелассообразующих коэффициентов и ожидаемых производственных показателей, такие как выход сахара, потери сахара в мелассе, чистота и выход рассчитывали по уравнениям из классического метода П.М. Силина для очищенного сока [10].

В лабораторных условиях процесс деминерализации исследовали на лабораторной электромембранной установке P EDR-Z с использованием мембран CMH-PES катионного типа и AMH-PES — анионного [2].

Результаты исследований и их обсуждение

Был исследован способ коррекции минерального состава полупродуктов сахарного производства с целью увеличения выхода сахара.

Установлено, что в процессе электродиализа из полупродуктов сахарного производства катионы калия удаляются на 94,4–98,5 %. Из сока I сатурации катионы кальция удаляются на 93,6 %, что сравнимо с эффектом от проведения II сатурации. Эффект декальцинации очищенного сока при исполь-

зовании электродиализа составляет 66,7 %.

Изменение технологических показателей полупродуктов сахарного производства представлено в табл. 1.

Из таблицы следует, что в процессе электродиализа повышается чистота очищенного сока на 4,1 процентных пункта и сока I сатурации на 5,2 процентных пункта, происходит снижение солей кальция и α -аминного азота в соке I сатурации на 93,5 и 95,8 % соответственно и в меньшей степени в очищенном соке — на 76,5 и 43,8 %. В диффузионном соке снижение содержания α -аминного азота составляет всего 11,9 %, снижение общего количества нес сахаров — 29,3 %, что даёт основание считать его обработку малоэффективной по сравнению с другими полупродуктами. Дилуат сока I сатурации превосходит по всем технологическим показателям качества очищенный сок, а также превосходит дилуат очищенного сока, кроме показателя соли кальция. Исходя из этого, можно предполагать, что электромембранная обработка способна заменить процессы II сатурации и сульфитации. Эффективность удаления из сока I сатурации α -аминного азота на 52 % выше, чем из очищенного сока, а общего количества нес сахаров — выше на 5,7 %.

Для оценки влияния электромембранной обработки по уравнениям из классического метода П.М. Силина для очищенного сока рассчитаны основные технологические показатели переработки сахарной свёклы (табл. 2). Расчёты показывают, что применение электродиализа на соке I сатурации и очищенном соке даёт одинаковый расчётный эффект снижения содержания сахара в мелассе и за счёт этого — повышения выхода сахара.

Для проверки данного утверждения был произведён расчёт

материальных потоков сахарного производства с применением электромембранной обработки сока I сатурации и очищенного сока в сопоставлении с традиционной схемой. Сравнительная оценка важнейших показателей переработки по результатам расчёта материальных потоков в разрезе технологических схем приведена в табл. 3. Из данных таблицы следует, что схема с применением электродиализа сока I сатурации является более эффективной, чем схема с применением электродиализа очищенного сока, так как позволяет снизить расход извести в пересчёте на СаО на 0,3 % к массе свёклы, а расход сатурационного газа — на 2,14 % к массе свёклы по сравнению с традиционной схемой очистки диффузионного сока.

В процессе электродиализа в полупродуктах сахарного производства наряду со снижением удельной электропроводимости происходит значительное снижение pH. При проведении исследований pH сока I сатурации снизился до 8, а очищенного — до 4,5.

Процесс деминерализации сока I сатурации и очищенного сока представлен на рис. 1, 2. Из графиков следует, что для обработки очищенного сока, помимо дополнительных процессов очистки, требуются дополнительные операции по корректировке низкого pH, что влечёт за собой увеличение расхода вспомогательных материалов. Электромембранная обработка сока I сатурации исключает данный фактор и позволяет вывести процесс II сатурации из технологической схемы получения сахара.

Для изучения влияния pH на процесс деминерализации сока I сатурации и разработки математических моделей, отражающих динамику изменения важнейших технологических показателей при применении электродиализа, проводились исследования

Таблица 1. Изменение технологических показателей полупродуктов сахарного производства (% к массе продукта)

Полупродукт сахарного производства	Чистота, %	pH	Несахар, %	Соли кальция, %	α-аминный азот, %
Диффузионный сок					
Сок	90,59±0,54	6,6±0,2	1,67±0,09	0,050±0,001	0,042±0,002
Дилуат	93,12±1,68	3,5±0,1	1,18±0,09	0,050±0,001	0,037±0,002
Δ*	+2,53±1,95	3,1±0,1	0,49±0,36	0	0,005±0,001
Сок I сатурации					
Сок	91,60±0,75	10,9±0,2	1,47±0,17	0,077±0,004	0,024±0,002
Дилуат	96,83±1,20	8,0±0,2	0,52±0,21	0,005±0,004	0,001±0,001
Δ	+5,24±0,85	2,9±0,1	0,95±0,15	0,072±0,008	0,023±0,002
Очищенный сок					
Сок	92,53±0,32	8,9±0,1	1,30±0,07	0,009±0,001	0,016±0,002
Дилуат	96,66±0,49	4,5±0,2	0,54±0,09	0,002±0,001	0,009±0,002
Δ	+4,13±0,17	4,4±0,1	0,77±0,03	0,007±0,001	0,007±0,001
Изменение показателей в процессе электродиализа, % к исходному качеству					
Диффузионный сок			29,3	0,0	11,9
Сок I сатурации			64,5	93,5	95,8
Очищенный сок			58,8	76,5	43,8
Δ* — разница между показателями сока и дилуата					

Таблица 2. Расчётные технологические показатели переработки свёклы

Полупродукт сахарного производства	Мелассообразующий коэффициент (m)	Выход сахара, % к м. св.	Содержание сахара в мелассе, % к м. св.	Чистота мелассы, %	Выход условной мелассы, % к м. св.
Сок I сатурации					
Сок	1,00	14,62	1,48	48,5	3,5
Дилуат	0,63	15,77	0,33	37,4	1,0
Δ*	0,37	1,15	1,15	11,1	2,5
Очищенный сок					
Сок	1,13	14,63	1,47	51,3	3,3
Дилуат	0,58	15,78	0,32	35,9	1,0
Δ	0,55	1,15	1,15	15,4	2,3
*Δ — разница между показателем сока и дилуата					

Таблица 3. Сравнительная оценка технологических схем переработки свёклы

Технологическая схема	Расход извести (СаО), % к м. св.	Расход сатурационного газа, % к м. св.	Выход сахара, % к м. св.	Содержание сахара в мелассе, % к м. св.	Выход условной мелассы, % к м. св.
Традиционная схема	2,34	9,94	14,57	1,37	3,3
Схема с применением электролиза сока I сатурации	2,04	7,80	15,62	0,32	1,0
Схема с применением электролиза очищенного сока	2,34	9,94	15,63	0,31	1,1

на лабораторной электродиализной установке. По полученным результатам были рассчитаны мелассообразующий коэффициент и ожидаемые производственные показатели, такие как выход сахара, потери сахара в мелассе, чистота и выход условной мелассы.

В результате исследований подтверждена целесообразность электромембранной обработки сока I сатурации до pH 9,0–9,5 [2].

Установленное значение pH конца процесса деминерализации для сока I сатурации (9,0–9,5) соответствует значению эффективной щёлочности и в данном слу-

чае соответствует оптимальной щёлочности сока II сатурации, так как наблюдается минимальное содержание солей кальция. Следовательно, отсутствует необходимость проведения II сатурации, как и дополнительной дефекации, а при проведении электролиза сока I сатурации до pH 9,0 дополнительно достигается эффект сульфитации. Это позволяет увеличить выход сахара, а также оптимизировать технологический процесс и, следовательно, снизить расход вспомогательных материалов [2, 4].

На основании исследований разработан способ очистки диф-

фузионного сока, предусматривающий проведение прогрессивной предварительной и основной дефекации, I сатурации, фильтрации, который отличается тем, что непосредственно после фильтрации сок охлаждают до 45–50 °С и направляют на электродиализную очистку до pH 9,0. Предлагаемая технологическая схема сокоочистки позволяет увеличить выход сахара на 1,05 % к массе свёклы, снизить цветность сока на 19,3–28,4 % и расход известнякового камня на очистку сока – на 0,7 % к массе свёклы [6].

Заключение

В итоге изучения динамики фактического минерального и органического состава полупродуктов сахарного производства при электрохимической ионообменной обработке установлено, что из сока I сатурации катионы кальция удаляются на 93,6 %, что сравнимо с эффектом от проведения II сатурации. Содержание катионов кальция в очищенном соке при применении электролиза снижается на 66,7 %. Расчёты прогнозных показателей и материальных потоков сахарного производства подтверждают, что схема с применением электролиза сока I са-

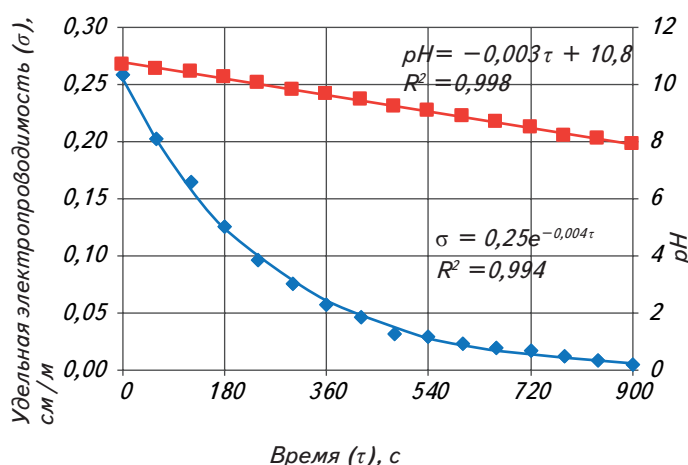


Рис. 1. Процесс деминерализации сока I сатурации: ■ – удельная электропроводимость (σ); ■ – pH

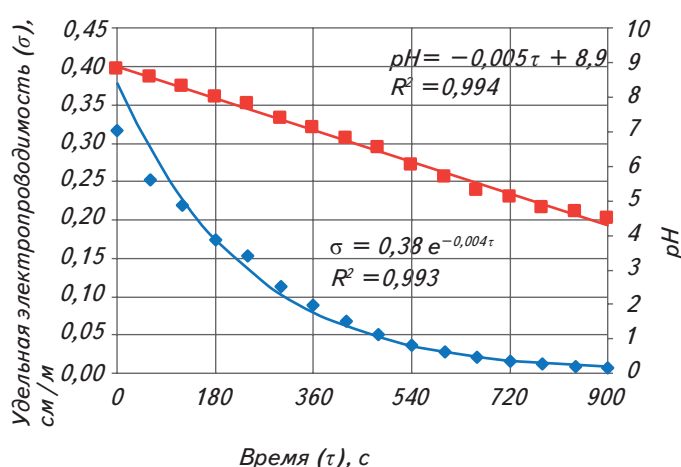


Рис. 2. Процесс деминерализации очищенного сока: ■ – удельная электропроводимость (σ); ■ – pH

турации позволяет снизить расход извести и сатурационного газа по сравнению с традиционной схемой очистки диффузионного сока.

По результатам исследований разработан способ очистки диффузионного сока, включающий в себя применение электрохимической ионообменной обработки сока I сатурации, в результате чего выход сахара увеличивается на 7,2 % к массе конечного продукта, а расход известнякового камня снижается на 0,7 % к массе свёклы [6].

Эффективность очистки диффузионного сока с применением электромембранной обработки экспериментально подтверждена при модельных и производственных испытаниях процесса на ОАО «Городейский сахарный комбинат». Получено положительное решение Национального центра интеллектуальной собственности Республики Беларусь № а 20200163 о заявке на изобретение «Способ очистки диффузионного сока».

Список литературы

1. Дымар, О.В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов: научно-технологические аспекты / О.В. Дымар. — Минск : Колорград, 2018. — 236 с.

2. Коррекция минерального состава полупродуктов сахарного производства с использованием электродиализа / О.К. Никулина, М.Р. Яковлева, О.В. Колоскова, О.В. Дымар // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2020. — Т. 13. — № 2 (48). — С. 27–35.

3. Никулина, О.К. Влияние качества сырья на процесс кристаллизации сахарозы / О.К. Никулина, В.В. Кулаковский // Пищевая про-

мышленность: наука и технологии. — 2017. — № 1(35). — С. 47–53.

4. Никулина, О.К. Интенсификация технологических процессов в сахарной отрасли / О.К. Никулина, О.В. Колоскова, М.Р. Яковлева // Наука, питание и здоровье: сб. научн. тр. по матер. докл. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные технологии в пищевой промышленности». — Минск : Беларуская навука, 2020. — С. 86–87.

5. Никулина, О.К. Исследование фунгицидного и фунгитоксического действия препарата «Гембар» на возбудителей кагатной гнили сахарной свёклы / О.К. Никулина, Л.И. Чернявская // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2016. — № 3(33). — С. 68–77.

6. Никулина, О.К. Технология получения сахара с использованием биологически активных препаратов при хранении свёклы и электромембранной очистки сока: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.05 / О.К. Никулина; РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». — Минск, 2021. — 22 с.

7. Повышение эффективности сахарного производства за счёт снижения потерь сахара при хранении корнеплодов сахарной свёклы с использованием биоцидного препарата КСД-2 / З.В. Ловкис, О.К. Никулина, Л.И. Чернявская, А.П. Воронков // Цукор України. — 2016. — № 6–7 (126–127). — С. 54–60.

8. Славянский, А.А. Расчёт материальных потоков сахарного производства как элемента САПР гибкой производственно-технологической системы : Учеб. пособие / А.А. Славянский, С.П. Гольденберг, В.И. Тужилкин // Мос. гос. ун-т пищевых производств. — М. : МГУПП, 2004. — 112 с.

9. Содержание сахара в мелассе. Оптимизация режима кристаллизации сахарозы на последнем продукте / З.В. Ловкис [и др.]; под общ. ред. З.В. Ловкиса. — Сер. : Настольная книга производственника. — Минск : Беларуская навука, 2014. — 97 с.

10. Чернявская, Л.И. Методы оценки качества свёклы, основанные на её лабораторной переработке / Л.И. Чернявская // Сахар. — 2006. — № 4. — С. 19–24.

Аннотация. Приведены результаты модельных испытаний процесса электродиализа в условиях реального производства при установившемся режиме получения сахара на пилотной мембранной установке с катионно-анионным набором мембран. Представлены результаты расчётов, подтверждающие эффективность применения электромембранной обработки в технологии переработки сахарной свёклы.

Ключевые слова: очистка диффузионного сока, мелассообразователи, полупродукты сахарного производства, деминерализация, электродиализ, электромембранные технологии.

Summary. The results of model tests of the electrodialysis process in real production conditions with a steady-state sugar production mode on a pilot membrane installation with a cation-anionic set of membranes are presented. The results of calculations confirming the effectiveness of the use of electromembrane processing in the technology of sugar beet processing are presented.

Keywords: purification of diffusion juice, molasses-forming agents, sugar production intermediates, demineralization, electrodialysis, electromembrane technologies.