

Способы применения электромембранной обработки полупродуктов сахарного производства

О.К. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, зав. лабораторией

О.В. КОЛОСКОВА, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник

М.Р. ЯКОВЛЕВА, магистр техн. наук, мл. научн. сотрудник

Научно-исследовательская лаборатория 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

В сахарном производстве исходное сырьё, как и продукты его переработки, на каждой стадии технологического процесса по химическому составу представляет собой сложную систему, количественное соотношение компонентов которой меняется в широких пределах из-за целого ряда биологических и технологических факторов. При этом все компоненты в разной степени препятствуют получению кристаллической сахарозы и увеличивают её потери с мелассой. Основной задачей технологии сахарного производства является максимальное удаление балластных компонентов из сахарных растворов. Это требует постоянного совершенствования физико-химических параметров технологических процессов и использования наиболее эффективных современных технологических приёмов и средств.

Одной из задач традиционной технологической схемы известково-углекислотной очистки является максимально возможное осаждение анионов кислот, образующих с ионами Ca^{2+} трудно-растворимые соли, не удаляемые в процессе очистки и снижающие производительность теплообменной аппаратуры.

Существует ряд технологических приёмов, способствующих минимизации содержания солей кальция в очищенном соке и сиропе [1]:

– проведение дефекации перед II сатурацией с добавлением извести в количестве 10–30 % от общего расхода извести (0,2–0,6 % CaO к массе свёклы);

– нагрев сока перед II сатурацией до температуры 90–96 °С;

– поддержание на II сатурации оптимальной щёлочности, в том числе применение щелочных добавок (соды, каустической соды, тринатрийфосфата, гидроокиси магния) при работе со свёклой с низкой или отрицательной эффективной щёлочностью;

– «дозревание» сока II сатурации перед фильтрацией не менее 30 минут с вводом затравки (окси магния, карбоната кальция или перлита) и перемешиванием;

– контроль качества фильтрации сока II сатурации.

Однако указанные технологические приёмы позволяют снизить содержание солей кальция лишь на 20–27 %. Проблема нахождения более эффективных и дешёвых методов снижения содержания солей кальция остаётся актуальной. Анализ литературных данных показал, что при существующей технологии

эффект известково-углекислотной очистки не превышает 40 % [1, 5, 6]. Тем не менее в некоторых источниках говорится о теоретически возможном эффекте очистки, достигающем 50 %.

Особенностью технологии является то, что чем больше анионов кислот осаждается из сока, тем больше в нём избыток щелочных металлов калия и натрия. От количества данных элементов зависит величина натуральной щёлочности сока II сатурации – это важный показатель технологических свойств сока, по которому определяют наличие в нём избыточного реактива, осаждающего Ca^{2+} . Чем выше натуральная щёлочность, тем полнее удаление солей кальция из сока. Негативным моментом такого технологического решения является повышение содержания сахара в мелассе и, следовательно, снижение его выхода. Это происходит из-за повышения растворимости сахарозы в присутствии ионов калия и натрия – их высокого мелассообразующего коэффициента.

В свете вышеизложенного представляется актуальным поиск способа очистки, который даёт возможность не только удалять соли кальция, но и снижать содержание мелассообразующих эле-

ментов — калия и натрия. Таким методом, прогрессивным и в то же время малоисследованным, позволяющим увеличить выход сахара вследствие дополнительной его очистки, является электродиализная очистка диффузионного сока с помощью ионитовых мембран. В этих целях применяется доступный и экологичный способ регенерации ионообменных частиц — электрическим током.

При использовании электродиализа в процессе производства сахара под действием постоянного тока через поры мембран перемещаются только ионы электролитов, а сахароза, являясь электронейтральным веществом, в электродиализном процессе не участвует, поэтому она остаётся в растворе, из которого происходит удаление солей, и за счёт этого достигается его очистка.

Электродиализная очистка может быть включена в классическую технологию производства сахара на одном или нескольких этапах: для первичной очистки сока, дополнительной очистки сока II сатурации и полусиропа после III корпуса выпарной станции, для обработки клеровки I оттока утфеля I или II кристаллизации и даже клеровки мелассы.

Исследования, проведённые научно-исследовательской лабораторией сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» [2–4], показали, что применение электромембранной обработки диффузионного сока различной степени очистки позволяет достичь эффекта очистки 55–70 %. При электромембранной обработке сиропа достигается эффект очистки 30 %, при обработке оттока утфеля II кристаллизации — 40 %, а при обработке мелассы — 30 % и более.

С технологической точки зрения целесообразнее удалять несакара

в начале технологической схемы производства сахара, т. е. проводить электродиализную очистку сока, что интенсифицирует работу выпарной установки и продуктового отделения сахарного завода [7]. Однако с электротехнической позиции электродиализом предпочтительнее очищать растворы с высоким содержанием золы и сухих веществ. Это позволяет вести процесс с большей экономией водных и энергоресурсов.

На основе проведённых исследований и полученных данных были предложены способы применения электромембранной обработки полупродуктов сахарного производства, приведённые ниже.

Способы очистки диффузионного сока

Основным условием, обеспечивающим нормальную работу сокоочистительного отделения, является поступление на очистку высококачественного диффузионного сока с минимальным содержанием в нём веществ коллоидной дисперсности, мезги. Очистку сока ведут в непрерывном потоке, осуществляя следующие основные процессы: преддефекацию, дефекацию, тёплую и горячую основную дефекацию, I сатурацию, дефекацию перед II сатурацией, II сатурацию, сульфитацию. При выборе технологической схемы очистки диффузионного сока, полученного из свёклы различного качества, следует определить условия её проведения по технологическим показателям диффузионного и очищенного соков.

Технологическая схема должна обеспечивать:

— достижение высокого эффекта очистки,

— получение термостойкого сока с высокими фильтрационно-седиментационными свойствами при оптимальном расходе извести для выдерживания оптимальных технологических параметров,

— максимальный выход сахара высокого качества,

— широкий диапазон регулирования параметров процесса очистки соков: количеств и мест введения известкового молока возвратов сока или сгущённой суспензии, рециркуляционного сока; реакции среды (рН, щёлочность) предварительной дефекации, температуры процессов, длительности холодной (тёплой) и горячей ступеней основной дефекации, дефекации перед II сатурацией и др.

Предлагаемые способы ведения процесса сокоочистки заключаются в следующем.

Способ 1. Диффузионный сок подвергается прогрессивной предварительной дефекации в многосекционном преддефекаторе, разделённом на секции перегородками, при температуре 55–62 °С в течение 12–20 мин. до рН 10,7–11,8. Для очистки используют известковое молоко плотностью 1,15–1,21 г/см³. Основную дефекацию проводят сразу после преддефекации без промежуточного фильтрования в две ступени: холодную или тёплую дефекацию при температуре до 60 °С и горячую — при температуре 85–90 °С. Продолжительность тёплой дефекации — 20 мин., горячей — 10 мин. Дефекованный сок, содержащий гидроксид кальция в растворе и осадке и коагулят, направляют на I сатурацию, где его обрабатывают сатурационным газом. В результате реакции гидроксида кальция с диоксидом углерода образуются кристаллы СаСО₃, выпадающие в осадок. Температура процесса I сатурации 80–85 °С при длительности 8–10 мин., рН 10,5–11,2. Затем сок фильтруется, охлаждается до 25–50 °С и направляется на электродиализную очистку, которую проводят до рН 9,0–9,5. После этого его либо сгущают до 60–75 % сухих веществ и направляют на стадию уваривания утфеля I кристаллизации, либо вводят

на стадию приготовления клеровки сахаров II и III кристаллизации.

Очищенный по предложенному способу сок обладает преимуществами, представленными в табл. 1 (по результатам модельных производственных испытаний).

Способ 2. Диффузионный сок подвергается прогрессивной предварительной дефекации в многосекционном преддефекаторе, разделённом на секции перегородками, при температуре 55–62 °С в течение 12–20 мин. до pH 10,7–11,8. Для очистки используют известковое молоко плотностью 1,15–1,21 г/см³. Основную дефекацию проводят сразу после преддефекации без промежуточного фильтрования в две ступени: холодную или тёплую дефекацию при температуре до 60 °С и горячую – при температуре 85–90 °С. Продолжительность тёплой дефекации – 20 мин, горячей – 10 мин. Дефекованный сок, содержащий гидроксид кальция в растворе и осадке и коагулят, направляют на I сатурацию, где его обрабатывают сатурационным газом. В результате реакции гидроксида кальция с диоксидом углерода образуются кристаллы CaCO₃, которые выпадают в осадок. Температура процесса I сатурации 80–85 °С при длительности 8–10 мин.,

pH 10,5–11,2. Затем сок фильтруют, нагревают до 90–95 °С, проводят (при необходимости) дополнительную дефекацию и сатурируют повторно. Длительность II сатурации 10 мин., pH 8,5–9,5. После отделения сатурационного осадка фильтрованием сок сульфитируют (при необходимости). Затем сок фильтруется и охлаждается до 25–50 °С и направляется на электродиализную очистку, которую проводят до pH сока не ниже 7,0. Корректировку pH дилуата очищенного сока в соответствии с технологическим режимом осуществляют щелочными реагентами, применяемыми на предприятии для данной цели. После электродиализной очистки сок либо сгущают до 60–75 % сухих веществ и направляют на стадию уваривания утфеля I кристаллизации, либо вводят на стадию приготовления клеровки сахаров II и III кристаллизации.

Очищенный по предложенному способу сок обладает преимуществами, приведёнными в табл. 2 (по результатам модельных производственных испытаний).

Способы очистки сиропа

Сгущение фильтрованного очищенного сока осуществляют на выпарной установке.

Выпарные аппараты обогреваются паром, его теплота через поверхность нагрева передаётся соку, так как пар имеет более высокую температуру, чем кипящий сок, в результате чего греющий пар, отдавая скрытую теплоту парообразования, конденсируется в воду и отводится в виде конденсата. При этом подогретый сок, получив скрытую теплоту парообразования, кипит, удаляя из себя воду в виде сокового пара.

Проходя последовательно все корпуса, сок за счёт испарения из него воды сгущается, и в виде сиропа его откачивают насосом из последнего корпуса. На сгущение сока в ВУ очищенный сок поступает с температурой 115,0±5,0 °С и содержанием СВ 13,0–17,0 %. Для выпаривания воды из очищенного сока используется ретурный пар давлением 0,25 МПа и температурой не более 136,0 °С, который подаётся на первые корпуса выпарки. Массовая доля сухих веществ сиропа на выходе 60,0–70,0 %.

Предлагаемые способы улучшения качества сиропа заключаются в следующем.

Способ 1. Полученный после ВУ сироп смешивается с очищенным соком до содержания сухих веществ смеси 40±5 %. Затем смесь охлаждается до 25–50 °С и направляется на электродиализную очистку, которую ведут до удельной электропроводимости не выше 2,5 мСм/см. Далее обработанный сироп поступает в клеровочную мешалку стандарт-сиропа, где смешивается с клеровками II и III продукта, откуда насосом подаётся на фильтры. Для фильтрации сиропа можно применять фильтры с намывом фильтрующего порошка – кизельгура.

Способ 2. Из ВУ отбирается сироп с содержанием сухих веществ 40±5 %, охлаждается до 25–50 °С и направляется на электродиализную очистку до удельной электропроводимости не выше

Таблица 1. Эффект от электромембранной очистки сока

Наименование показателя	Значение показателя		Эффект очистки / удаления, %
	До обработки	После обработки	
Чистота, %	91,6	96,8	64,0
НСХ, % к массе сока	1,47	0,52	64,6
Соли кальция, % к массе сока	0,077	0,005	93,5
Калий, % к массе сока	0,100	0,005	95,0
Натрий, % к массе сока	0,004	0,002	50,0

Таблица 2. Эффект от электромембранной очистки сока

Наименование показателя	Значение показателя		Эффект очистки / удаления, %
	До обработки	После обработки	
Чистота, %	92,5	96,7	57,9
НСХ, % к массе сока	1,30	0,54	58,5
Соли кальция, % к массе сока	0,010	0,002	80,0
Калий, % к массе сока	0,100	0,002	98,0
Натрий, % к массе сока	0,016	0,002	87,5

2,5 мСм/см. Затем обработанный сироп поступает на дальнейшее концентрирование или в клеровочную мешалку стандарт-сиропа, где смешивается с клеровками II и III продукта.

Способ 3. Выведенный на промежуточное хранение сироп разбавляется водой до содержания сухих веществ смеси 40 ± 5 %. Затем смесь охлаждается до $25-50$ °С и направляется на электродиализную очистку, осуществляемую до удельной электропроводимости не выше 2,5 мСм/см. Обработанный сироп поступает в клеровочную мешалку стандарт-сиропа, где смешивается с клеровками II и III продукта, откуда насосом подаётся на фильтрацию, для которой можно применять фильтры с намывом фильтрующего порошка – кизельгура.

Очищенный предложенными способами сироп обладает преимуществами, представленными в табл. 3 (по результатам производственных испытаний).

Способ очистки оттока утфеля II кристаллизации

Полученный сироп и клеровку жёлтых сахаров, поступивших из продуктового отделения, а также частично или весь второй отток утфеля I кристаллизации направляют на уваривание утфеля I кристаллизации в вакуум-аппаратах до содержания сухих веществ 92,0–92,5 %. Готовый утфель разделяют центрифугированием на сахар и первый отток, слой сахара промывают в центрифугах с получением второго оттока. Влажный сахар высушивают и упаковывают или отправляют в склад бестарного хранения. Утфель II кристаллизации уваривают до содержания сухих веществ 92,0–93,0 % из первого оттока I кристаллизации и при необходимости в конце варки используют заданное расчётное количество оттока II кристаллизации. Утфель II кристаллизации

разделяют центрифугированием на жёлтый сахар и отток.

Полученный после II кристаллизации отток смешивается с аммиачным конденсатом или водой до содержания сухих веществ смеси 40 ± 5 %. Затем смесь охлаждается до $25-50$ °С и направляется на электродиализную очистку, осуществляемую до удельной электропроводимости не выше 5,0 мСм/см. Обработанный отток направляется на уваривание утфеля I, II или III кристаллизации и (или) смешивается с клеровкой жёлтых сахаров и (или) сиропом с выпарной станции. При низком качестве полупродуктов допускается отправлять обработанный отток на известково-углекислотную очистку.

Очищенный предложенным способом отток II кристаллизации обладает преимуществами, приведёнными в табл. 4 (по результатам производственных испытаний).

Заключение

Подтверждена эффективность применения электромембранной обработки полупродуктов сахарного производства. Электрохимическая очистка позволяет: повысить чистоту сахарных растворов

на 3,4–7,9 %, обеспечивая эффект очистки 30–64 %; снизить содержание солей кальция в растворах на 70,8–93,5 %, калия – на 69,4–98,0 %, натрия – на 50,0–87,5 %.

Предложены способы применения электромембранной обработки для различных этапов сахарного производства: обработка диффузионного сока на различных стадиях его очистки, сахарного сиропа, оттока утфеля II кристаллизации.

При проведении промышленных испытаний также было установлено, что электромембранная обработка одной партии (7 м^3) смеси сиропа с очищенным соком позволяет дополнительно получить 130 кг сахара, электромембранная обработка одной партии разбавленного оттока утфеля II кристаллизации – 287 кг сахара. Электромембранная обработка одной партии очищенного сока позволяет дополнительно получить 21,2–35,5 кг сахара.

Список литературы

1. Очистка диффузионного сока в сахарном производстве / З.В. Ловкис, Т.И. Турбан, Н.Н. Петюшев [и др.] ; под общ. ред. З.В. Ловкиса. – Минск : Беларуская навука,

Таблица 3. Эффект от электромембранной очистки сиропа

Наименование показателя	Значение показателя		Эффект очистки / удаления, %
	До обработки	После обработки	
Чистота, %	87,83	91,20	30,4
НСХ, % к массе сиропа	5,0	3,6	28,0
Соли кальция, % к массе сиропа	0,065	0,019	70,8
Калий, % к массе сиропа	0,49	0,15	69,4
Натрий, % к массе сиропа	0,10	0,04	60,0

Таблица 4. Эффект от электромембранной очистки оттока

Наименование показателя	Значение показателя		Эффект очистки / удаления, %
	До обработки	После обработки	
Чистота, %	76,95	84,88	40,5
НСХ, % к массе оттока	9,3	5,9	36,6
Соли кальция, % к массе оттока	0,11	0,02	81,8
Калий, % к массе оттока	0,89	0,14	84,3
Натрий, % к массе оттока	0,14	0,04	71,4



Оформить подписку на журнал «Сахар» в бумажной версии на 2023 г. можно по ссылке: <https://podpiska.pochta.ru>.
Подписная цена с учётом доставки зависит от региона.
Минимальный срок подписки – 1 месяц



ВАРИАНТЫ ПОДПИСКИ НА 2 ПГ 2023 г.

Бумажная версия:

- ✓ **через электронный каталог «Почта России»** по адресу: <https://podpiska.pochta.ru> (наш индекс П6305).
Подписная цена зависит от региона доставки;
- ✓ **через редакцию (заявка на sahar@saharmag.com)** с доставкой по России «Почтой России», цена 1001 р. за 1 месяц, 6006 р. за 6 мес.

PDF-версия журнала (подписка через редакцию):

для России, стран ближнего и дальнего зарубежья – 3024 р. за 6 мес.;
минимальный срок подписки – 1 месяц, цена 504 р.

Адрес редакции: 121069, Россия, г. Москва, Скатертный пер., д. 8/1, стр. 1.
Тел/факс: +7(495) 690-15-68; +7(985) 769-74-01; **e-mail:** sahar@saharmag.com
Бухгалтерия: +7 (495) 695-45-67; **e-mail:** buh@saharmag.com

Официальный сайт: www.saharmag.com; **страница в «ВКонтакте»:** www.vk.com/saharmag

2013. – 232 с. – (Настольная книга производителя).

2. Повышение степени очистки диффузионного сока методом электрохимической деминерализации / О.К. Никулина, О.В. Колоскова, М.Р. Яковлева, О.В. Дымар // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2022. – Т. 15. – № 3 (57). – С. 69–78.

3. Применение электродиализа для очистки диффузионного сока в сахарном производстве / О.К. Никулина, О.В. Колоскова, М.Р. Яковлева, О.В. Дымар // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2021. – Т. 14. – № 3 (53). – С. 51–61.

4. Применение электромембранных методов обработки для очистки густых полупродуктов сахарно-

го производства / О.К. Никулина, О.В. Дымар, О.В. Колоскова, М.Р. Яковлева // Сахар. – 2022. – № 4. – С. 26–31.

5. Савостин, А.В. Эффективность очистки сахаросодержащих растворов / А.В. Савостин, А.Н. Литош // Сахар. – 2006. – № 8. – С. 33–35.

6. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов. – М. : Колос, 1999. – 494 с.

7. Физико-химические процессы сахарного производства / И.С. Гудый [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1987. – 264 с.

Аннотация. В данной статье предложены способы применения электромембранной обработки полупродуктов для различных этапов сахарного производства: обработка диффузионного сока на различных стадиях его очистки, сахарного сиропа, оттока утфеля II кристаллизации. Подтверждена эффективность применения электрохимической очистки полупродуктов сахарного производства.

Ключевые слова: электромембранные технологии, электродиализ, эффект очистки, полупродукты сахарного производства, соли кальция.

Summary. This article proposes the methods of by-products electromembrane processing for various stages of sugar production: processing of diffusion juice various purification degrees, sugar syrup, low-green syrup. The efficiency of sugar production by-products electrochemical processing application has been confirmed.

Keywords: electromembrane technologies, electro dialysis, purification effect, sugar production by-products, calcium salts.