

Концентрирование сахарного раствора различных производителей нанофильтрационными мембранами ОФАМ-К и ОПМН-П

О.А. КОВАЛЕВА, канд. техн. наук (e-mail: sseedd@mail.ru)
Тамбовский государственный технический университет

Перспективные мембранные методы концентрирования растворов различных производств хорошо зарекомендовали себя на практике. Отмечается, что интерес к исследованию мембранных методов не угас, а только продолжает развиваться. Поэтому исследование задерживающих и проницаемых характеристик мембран является актуальной задачей, что следует из обзора литературных данных [1–10].

Работы в области изучения процесса разделения растворов сахарных производств на пористых мембранах показывают их перспективность от механических включений и примесей с размерами частиц, превышающими размер молекул сахара [1].

Так, авторами работы [1] создана конструкция мембранного элемента, предназначенного для разделения коллоидных растворов при проведении процесса ультрафильтрации на мембране УПМ-50П.

В работе [2] предложен промышленно применимый способ извлечения сахарозы из растворов или несхарозных компонентов из раствора, содержащего сахарозу. В данном способе предусмотрены следующие этапы: подготовка раствора сахарной свёклы и (или) сахарного тростника; осуществление электродиализа при пропускании раствора через анионо- и катионообменные мембраны при тем-

пературе 40–100 °С; проведение хроматографического разделения с использованием обработанного раствора с целью получения сахарозы и несхарозных компонентов в виде отдельных фракций; извлечение целевого компонента по крайней мере из одной полученной фракции.

Авторами работы [3] представлено исследование производительности керамических мембран с размерами пор 0,02, 0,05 и 0,10 мкм при обработке частично осветлённого сырого сока сахарного тростника. Для мембраны с размером пор 0,10 мкм при увеличении трансмембранного давления (TMP) от 1 до 3 бар увеличивался первоначальный расход потока на 15,5% и средняя скорость потока в течение 4 часов – на 11,9%. В работе показано, что первоначальный поток мембраны с размером пор 0,10 мкм резко увеличивался при TMP 1 бар, когда мембрана подверглась химической очистке с помощью 1%-ного раствора NaOH и NaCl, эквивалентном 3 000 частей на 1 млн свободного хлора в течение 1 часа, а средний поток в течение 4 часов также возростал.

В источнике [4] представлены результаты обработки сахарного сиропа на плоскокамерном аппарате, оснащённом микрофильтрационной мембраной. Авторы констатируют, что при проведении эксперимента с использованием керамических мембран с размером

пор 0,5 мкм для разделения очищенного сиропа при 80 °С получают установившиеся потоки 328,4 и 293,1 л / (м² ч) при скорости поперечного потока 5 м/с и TMP от 3,0 до 2,5 бар соответственно. В этой же работе отмечается, что используемые мембраны подвергались обрастанию и их регенерировали, а в заключении делается вывод, что все отфильтрованные сиропы имеют высокие показатели качества.

В материале [5] представлен последовательный процесс с применением ультрафильтрации (UF) на трубчатом и рулонном аппаратах и рулонной нанофильтрации для доочистки сока сахарного тростника. Авторы показывают, что применение операции диафильтрации может сохранить большую часть сахара в UF-концентратах, что приводит к высокой степени извлечения сахарозы до 98% в двухступенчатом UF-режиме.

В исследовании [6] изучено влияние параметров работы процессов микрофильтрации на эффективность очистки и обесцвечивание сырого сахарного сока. Эксперименты проводились с использованием опытно-промышленной установки, оборудованной трубчатым мембранным керамическим и рулонным модулем с полимерной мембраной. Исследования показали, что осветлённый сок, прошедший данную обработку, был значительно лучше по сравнению

КОМПЛЕКСНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

с газовой дефекацией сока по показателям цвета, мутности и твёрдым частицам соответственно на 49, 12, 78, 26 и 6,65%.

Опубликованы и другие труды в области осуществления процессов баромембранного разделения растворов сиропов, соков сахарной свёклы и свекловичной воды, которые хорошо описаны в источниках [7–10], но недостаточно внимания уделено исследованию концентрирования данных растворов с применением наночистотных пористых перегородок.

В экспериментальных исследованиях по концентрированию сахарного раствора использовались образцы наночистотных мембран типа ОФАМ-К и ОПМН-П (табл. 1) [11, 12], которые предварительно замачивались в дистиллированной воде, а затем помещались в баромембранную установку [13], где эксплуатировались под максимальным избыточным давлением в эксперименте $P = 1,5$ МПа при комнатной температуре по времени 3 300–7 200 секунд, а затем извлекались.

Исходным сырьём для приготовления водного сахарного раствора выступали промышленно выпускаемые «Сахар-песок стандарт» и «Русский сахар-песок» с концентрацией $C_{исх} = 5,0$ кг/м³, изготовленные по ГОСТ 21-49 для сахара-песка следующих фирм

Таблица 1. Рабочие характеристики мембран типов ОФАМ-К и ОПМН-П

Рабочие характеристики	Тип мембраны	
	ОФАМ-К	ОПМН-П
Рабочее давление, МПа	3,0	1,6
Минимальная производительность по воде при $T = 298$ °К, м ³ /м ² ×с	$2,22 \times 10^{-5}$	$2,77 \times 10^{-5}$
Коэффициент задержания, не менее	0,15% NaCl	
	0,95	0,55
Рабочий диапазон, рН	2–12	
Максимальная температура, °К	323	

производителей соответственно: ООО «АгроКомплекс «МЕТАКА», Воронежская область, Новоусманский район, с. Новая Усмань (изготовленный из свекловичного сырья) и ОАО «Знаменский сахарный завод» – филиал «Никифоровский», Тамбовская область, Знаменский район, р. п. Знаменка (изготовленный из тростникового сахара-сырца) при наночистотации в диапазоне варьирования давления $P = 0,8–1,5$ МПа.

В соответствии с актуальностью и анализом литературных данных по использованию мембран в сахарной промышленности целью работы являлось изучение кинетических характеристик наночистотных мембран ОФАМ-К и ОПМН-П (удельного потока, коэффициента задержания) при концентрировании водных растворов, содержащих сахар различных производителей.

Задачей работы было провести процесс концентрирования водных растворов, содержащих сахар, на различных типах наночистотных мембран с течением времени проведения эксперимента.

При проведении процесса баромембранного разделения водных растворов, содержащих сахар из различных видов сырья (свекловичный, тростниковый), в зависимости от времени проведения эксперимента и трансмембранного давления были получены зависимости удельного потока от времени, представленные на рисунке.

Анализ зависимостей удельного потока от времени проведения эксперимента показал, что с течением времени поток незначительно снижается в области малых значений рабочего давления $P = 0,8–1,0$, а в области $P = 1,2–1,5$ МПа его интенсивность к убыва-

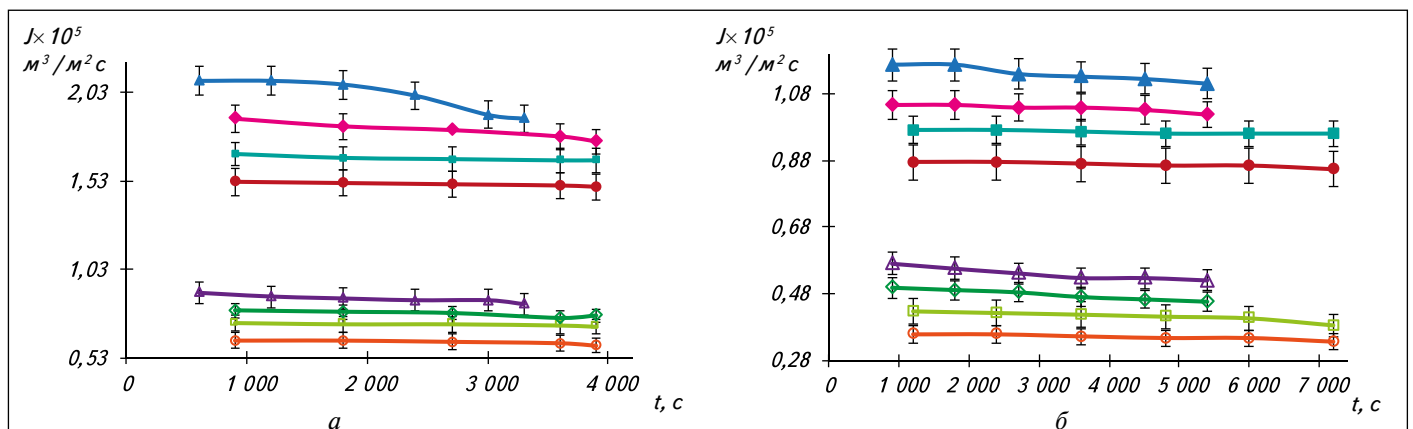


Рис. Экспериментальные зависимости удельного потока мембран от времени проведения эксперимента при разделении модельных водных растворов, содержащих сахар из различных видов сырья с $C_{исх} = 5,0$ кг/м³ и $T = 293$ °К: нижние зависимости – ОФАМ-К, верхние зависимости – ОПМН-П (а – свекловичное сырьё, б – тростниковое сырьё)

нию несколько возрастает, о чём свидетельствует более резкий наклон зависимости удельного потока от времени проведения эксперимента.

Зависимости удельного потока через мембраны от времени проведения эксперимента при выбранном диапазоне варьирования рабочего давления для разных видов сырья отличаются друг от друга на мембранах ОФАМ-К и ОПМН-П, что говорит о различной проницаемости мембран по растворителю при структурных изменениях мембран, различной чистоте выработанного сахара-песка, выпускаемого различными производствами, степени взаимодействия материала активного слоя данных материалов с раствором и растворённым веществом.

Для процесса баромембранного разделения исследуемого водного раствора, содержащего сахар заданной концентрации, коэффициент задержания для всех случаев варьирования давлением равен 100% (табл. 2), т.е. происходит

процесс концентрирования растворов, и, как следствие, возрастает осмотическое давление растворов в нём веществ, которое снижает эффективную движущую силу процесса мембранного разделения растворов.

Объяснением снижения удельного потока от времени проведения процесса разделения при максимальном рабочем давлении эксперимента $P = 1,5$ МПа может являться уплотнение из-за механического ужимания поверхностного слоя, перекрывающего частично поры проходного сечения мембраны, что отмечается в работе. В дополнение к представленным фактам полученных зависимостей можно подтвердить, что для исследуемых мембран ОФАМ-К и ОПМН-П происходит изменение поверхностной структуры, а также изменение подложек мембран при действии избыточного давления.

Полученные экспериментальные данные по удельному потоку растворителя и коэффициенту за-

держания могут быть использованы в дополнение к известным процессам мембранного концентрирования растворов (обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация) в сахарной промышленности, а также для обработки технологических растворов кондитерских фабрик, после промывки технологического оборудования для варки сахарных сиропов, эта жидкость предварительно должна охлаждаться до требуемых температурных норм использования этих типов нанофильтрационных мембран. Применение данной технологии для концентрирования сахарных растворов кондитерских фабрик (указанных промывных растворов) позволит вторично использовать сконцентрированные на нанофильтрационных мембранах ОПМН-П и ОФАМ-К растворы в качестве добавок к кондитерским изделиям выпускающих производств при доведении концентрации растворённого сахара в промывной воде до требуемого уровня.

Данные мероприятия позволят экономить материальные ресурсы предприятий сахарной и кондитерской промышленности за счёт:

- уменьшения общего объёма водопользования, если поток пермеата (фильтрата) очищенной воды использовать повторно в качестве исходной воды для промывок технологического оборудования или мойки полов в цехах предприятий;

- использования сахара водного раствора нужной концентрации.

Таким образом, можно констатировать, что применение нанофильтрационных мембран ОФАМ-К и ОПМН-П оградит указанные предприятия пищевой промышленности от излишних затрат, особенно во время применения против России ограничительных мероприятий в виде санкций.

Выводы

В настоящей работе проведены исследования кинетических ха-

Таблица 2. Экспериментальные значения параметров и рабочих характеристик мембран ОФАМ-К и ОПМН-П по водному раствору, содержащему сахар из различных видов сырья, при $T = 293$ °К

Параметры и рабочие характеристики	Раствор			
	Дистиллированная вода + сахар, изготовленный из свежесквашенного сырья		Дистиллированная вода + сахар, изготовленный из тростникового сахара-сырца	
Мембрана	ОФАМ-К	ОПМН-П	ОФАМ-К	ОПМН-П
Трансмембранное давление P , МПа (1)	0,8			
Время проведения эксперимента t , с (2)	3 900		7 200	
Коэффициент задержания R (3)	1,0			
(1)	1,0			
(2)	3 900		7 200	
(3)	1,0			
(1)	1,2			
(2)	3 900		5 400	
(3)	1,0			
(1)	1,5			
(2)	3 300		5 400	
(3)	1,0			

рактических образцов нанофильтрационных мембран ОФАМ-К и ОПМН-П при нанофильтрационном концентрировании водных растворов, содержащих сахар. Получены экспериментальные данные по коэффициенту задержания и удельному потоку в диапазоне варьирования трансмембранным давлением $P = 0,8-1,5$ МПа и временем проведения эксперимента. Показано, что по водному раствору, содержащему сахар, изготовленный из свекловичного и тростникового сырья, коэффициент задержания для обоих рабочих образцов $R = 1,0$, а удельный поток через мембраны ОФАМ-К и ОПМН-П при этом убывает с течением времени проведения эксперимента, изменяясь при $P = 1,5$ МПа с ($0,897 \times 10^{-5}$ до $0,833 \times 10^{-5}$ м³/м² с), ($2,094 \times 10^{-5}$ до $1,880 \times 10^{-5}$ м³/м² с) при $t = (0-3\ 300)$ с и ($0,57 \times 10^{-5}$ до $0,52 \times 10^{-5}$ м³/м² с), ($1,168 \times 10^{-5}$ до $1,111 \times 10^{-5}$ м³/м² с) при $t = (0-5\ 400)$ с соответственно, что связано с постепенным концентрированием разделяемого раствора и возрастанием осмотического давления растворенного в нём сахара. Даны практические рекомендации представленного способа концентрирования водных растворов, содержащих сахар, на нанофильтрационных мембранах ОПМН-П и ОФАМ-К.

Список литературы

1. Кудрявцев, В.А. Ультрафильтрация диффузионного сока сахарной свёклы на мембранном элементе трубчатого типа / В.А. Кудрявцев [и др.] // Сахар. – 2008. – № 1. – С. 33–35.
2. Melvin, C., Jensen, J. Process for the recovery of sucrose and non-sucrose materials. Заявка 2433518 Великобритания, МПК С 13 D 3/00 (2006.01). Danisco A/S, Carter Melvin, Jensen John P.D Young & Co 120 Holborn, LONDON, EC1N 2DY, United Kingdom. № 0526034.4; Заявл. 21.12.2005; Опубл. 27.06.2007.

3. Jegatheesan, V. Performance of ceramic micro- and ultrafiltration membranes treating limed and partially clarified sugar cane juice / V. Jegatheesan [and oth.] // Journal of Membrane Science. – 2009. – V. 327. – I. 1–2. – P. 69–77.

4. Li, W. Performance of ceramic microfiltration membranes for treating carbonated and filtered remelt syrup in sugar refinery / W. Li [and oth.] // Journal of Food Engineering. – 2016. – V. 170. – P. 41–49.

5. Luo, J. Refining sugarcane juice by an integrated membrane process: filtration behavior of polymeric membrane at high temperature / J. Luo [and oth.] // Journal of Membrane Science. – 2016. – V. 509. – P. 105–115.

6. Hakimzadeh, V. The potential of microfiltration and ultrafiltration process in purification of raw sugar beet juice / V. Hakimzadeh, [and oth.] // Desalination. – 2006. – V. 200. – I. 1–3. – P. 520–522.

7. Gul, S. Energy saving in sugar manufacturing through the integration of environmental friendly new membrane processes for thin juice pre-concentration / S. Gul, M. Harasek // Applied Thermal Engineering. – 2012. – V. 43. – P. 128–133.

8. Loginov, M. Comparison of dead-end ultrafiltration behaviour and filtrate quality of sugar beet juices obtained by conventional and «cold» PEF-assisted diffusion / M. Loginov [and oth.] // Journal of Membrane

Science. – 2011. – V. 377. – I. 1–2. – P. 273–283.

9. Saha, N.K. Fouling control in sugarcane juice ultrafiltration with surface modified polysulfone and polyethersulfone membranes / N.K. Saha, M. Balakrishnan, M. Ulbricht // Desalination. – 2009. – V. 249. – I. 3. – P. 1124–1131.

10. Shahidi, N.M. Effect of operating parameters on performance of nanofiltration of sugar beet press water / N.M. Shahidi // 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11). Procedia Food Science. – 2011. – V. 1. – P. 160–164.

11. Владипор: сайт ЗАО НТЦ Владипор [Электронный ресурс]. Дата обновления: 25.03.2016. URL: <http://www.vladipor.ru/> (дата обращения: 29.12.2016).

12. Бонн, А.И. О некоторых процессах создания асимметричных и композитных обратноосмотических мембран / А.И. Бонн, В.Г. Дзюбенко, И.И. Шишова // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 1993. – Т. 35. – № 7. – С. 922–932.

13. Ковалёв, С.В. Методика исследования гидродинамической проницаемости мембран от градиента давления и температуры / С.В. Ковалёв // Мембраны и мембранные технологии. – 2013. – № 3. – С. 191–198.

14. Дытнерский, Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1978. – 352 с.

Аннотация. При проведении исследований по концентрированию водных растворов, содержащих сахар различных производителей, нанофильтрационными мембранами ОФАМ-К и ОПМН-П установлено, что с течением времени удельный поток снижается, а коэффициент задержания постоянен и равен 100%. Полученные данные свидетельствуют, что на концентрирование исследуемых растворов оказывает влияние уплотнение поверхностного слоя мембраны.

Ключевые слова: разделение, водный раствор, сахар, мембрана, концентрирование.

Summary. When carrying out researches on concentrating of aqueous solutions of sacchariferous various producers by nanofiltration membranes of OFAM-K and OPMN-P it is established that eventually the specific stream decreases, and the coefficient of detention is constant and equal to 100%. The obtained data demonstrate that on concentrating of these solutions consolidation of the surface layer of a membrane affects.

Keywords: division, aqueous solution, sugar, membrane concentrating.