



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОМ ОБЕССОЛИВАНИИ НАНОФИЛЬТРАЦИОННОГО ПЕРМЕАТА МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Змиевский Ю.Г., Киричук И.И., Корниенко Л.В.

Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина

DETERMINATION OF LIMITING CURRENT DENSITY DURING DESALINATION OF NANOFILTRATION WHEY PERMEATE BY ELECTODIALYSIS

Yu.G. Zmiyevskiy, I.I. Kyrychuk, L.V. Kornienko

National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine

Abstract

This paper presents the results of experimental studies on determination of limiting current density. The electro dialyzer consisted of 7 stacks was used in the process of desalination of nanofiltration whey permeate by electro dialysis. The feed flow rate was varied during the investigation. The obtained results can be used for calculation of electro dialysis setup.

Keywords: *electrodialysis, limiting current density, permeate.*

Введение

В последнее время мембранные процессы активно используются в пищевой промышленности. Ключевую роль они играют и при переработке молочной сыворотки. В большинстве случаев в процессе мембранного разделения из нее удаляют от 35 до 90 % минеральных веществ. Технология деминерализации достаточно хорошо изучена и включает два основных этапа: нанофильтрацию и электродиализ. Однако, последняя стадия используется при высокой степени обессоливания, что не всегда необходимо. Частичное удаление минеральных веществ улучшает дальнейшую сушку молочной сыворотки, а также улучшает процесс кристаллизации лактозы.

Несмотря на все положительные стороны процесса нанофильтрации, не решенным остается вопрос использования получаемого нанофильтрационного пермеата, усредненный состав которого приведен в таблице. Его количество составляет около 65 % от объема переработанной молочной сыворотки. Поэтому целесообразно подвергать его обработке для получения очищенной воды, пригодной для повторного использования.

Для этих целей может быть использован электродиализ, который позволяет удалять минеральные вещества, при этом органические соединения, такие как лактоза, остаются в дилюате (обессоленном растворе). Однако, для реализации этого процесса необходимо определить технологические параметры, при которых он будет эффективным. К таким параметрам относится значение «предельной» плотности тока. Это момент, когда раствор у поверхности мембраны настолько обедняется минеральными веществами, что начинается активное разложение молекул воды на ионы H^+ и OH^- . Это снижает эффективность процесса и может негативно отразиться на качестве получаемых продуктов за счет изменения pH. Поэтому необходимо обеспечивать условия, чтоб плотность тока была немного ниже «предельной».

Учитывая сказанное, целью данной работы было экспериментальное определение «предельной» плотности тока в процессе электродиализного обессоливания нанофильтрационного пермеата молочной сыворотки. Знание этой величины позволит проводить технологические расчеты электродиализных установок, а также определить наиболее эффективные режимы их работы.

Таблица. Усредненный состав нанофильтрационного пермеата молочной сыворотки [1-2]

Тип ионов	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ²⁻	Цитрат	Лактоза
Концентрация, г/дм ³	0,010	0,162	0,756	0,889	0,006	–	0,179	0-0,046	1,1-2,0

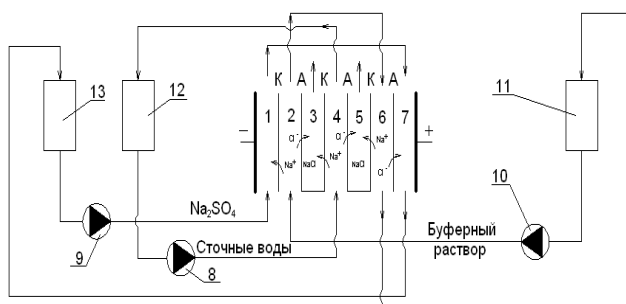
Материалы и методы

Мембраны

Использовали катионитовые Ralex CMH-PES и анионитовые Ralex AMH-PES мембраны производства фирмы MEGA (Чехия).

Лабораторная установка

Процесс электродиализа исследовался на лабораторной установке, которая изображена на фиг. 1. Эффективная площадь мембран составляла $1,6 \cdot 10^{-3}$ м². Длина рабочих камер, в которые закладывали сетки-турбулизаторы, была 16 см, ширина 1 см. Раствор перед попаданием в камеру проходил участок стабилизации потока длиной 4 см. Электроды были выполнены из графита. Толщина проточных камер 1, 2, 4, 6, 7 – 3 мм, а непроточных 3 и 5 – 9 мм. На клеммы электродов подавали постоянный ток с помощью выпрямителя тока ВСА-111К (на схеме не показан). Измеряли общее напряжение на клеммах электродов, а также на одной мембранной ячейке. В последнем случае использовали капилляры Луггина, установленные в камеры 3 и 5. Капилляры подсоединяли к хлор-серебряным электродам ЭВЛ-1М3.1 (Белоруссия). Они в свою очередь подключались к вольтметру с большим омическим сопротивлением.



Фиг. 1. Принципиальная схема электродиализной установки: 1, 7 – электродные камеры; 2, 6 – буферные камеры; 3, 5 – непроточные камеры концентрирования; 4 – дилюатная камера; 8-10 – насосы; 11-13 – емкости; К – катионитовые мембраны; А – анионитовые мембраны.

В состав установки входили три емкости и три насоса. Объемную скорость регулировали с помощью байпасов (на схеме не показаны). В электродные камеры подавали раствор Na₂SO₄ концентрацией 2 г/дм³, а в буферные 2, 6 и рабочую 4 – модельный раствор нанофильтрационного пермеата молочной сыворотки концентрацией 4 г/дм³, в непроточные камеры концентрирования перед началом эксперимента заливали раствор NaCl концентрацией 2 г/дм³. Во время обессоливания объем концентрата в камерах 3 и 5 увеличивался, его избыток самовольно вытекал через предусмотренные для этого в верхней части камер капилляры. Температура растворов при проведении экспериментов была в пределах 30 ± 2 °С.

Растворы

Для приготовления модельных растворов нанофильтрационного пермеата использовали «пищевую» лактозу, а все неорганические вещества были класса ХЧ (химически чистые). Для приготовления раствора концентрацией 4 г/дм³ брали 1,5 г KCl, 0,46 г NaCl, 0,04 г CaCl₂ и 2 г лактозы, которые засыпали в мерную колбу и «доводили» дистиллированной водой до метки 1000 мл.

Методы анализа растворов

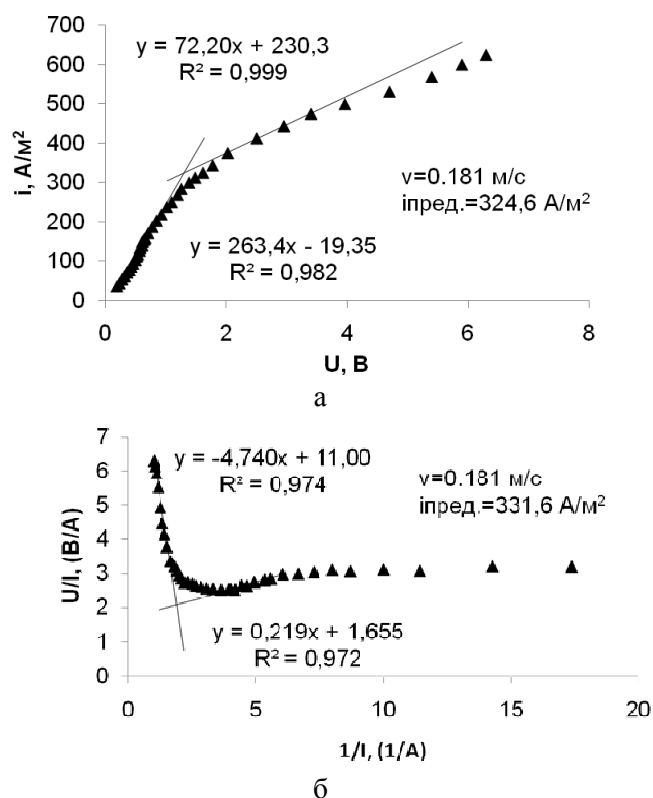
Общую концентрацию минеральных веществ определяли с помощью кондуктометра HANNA Instruments с температурным компенсатором.

Результаты и обсуждение

После приготовления модельных растворов нанофильтрационных пермеатов молочной сыворотки, общее количество растворенных веществ составляло 4 г/дм³. Во время экспериментов изменяли скорость течения жидкости над ионообменными мембранами в диапазоне от 0,06 до 0,23 м/с.

Для определения «предельной» плотности тока использовали два метода: метод Cowan и Brown [3], а также метод получения вольт-амперных характеристик (ВАХ). В первом случае изучалась зависимость плотности тока i от напряжения U , измеряемого с помощью капилляров Луггина. На основании полученных

результатов строили график зависимости величины $U/i - 1/i$, которая представляла собой параболическую кривую. За предельную плотность тока принимали величину i , соответствующую точке перегиба параболической кривой. Во втором случае строили график зависимости $U - i$ и за предельную принимали плотность тока, соответствующую точке перегиба прямой линии.

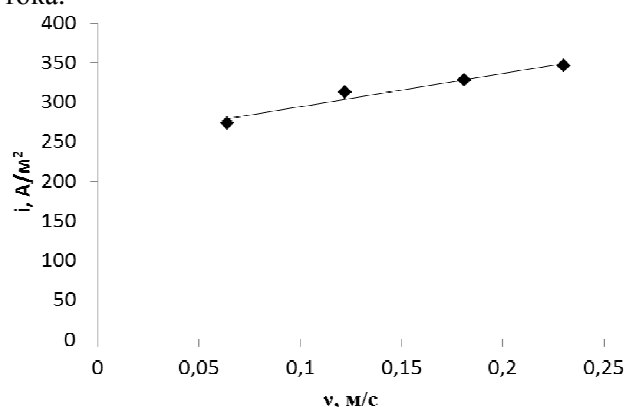


Фиг. 2. Данные по определению предельной плотности тока: а) за вольт-амперными характеристиками (ВАХ); б) за методом Cowan и Brown [3]; U – напряжение, В; I – сила тока, А; i – плотность тока, A/m^2 .

Для нахождения соответствующих точек перегиба проводили линии, касательные к аппроксимирующей экспериментальные данные линии (фиг. 2). Зная их уравнения и приравнявая эти уравнения один к другому, были получены значения «предельной» плотности для исследуемого раствора. На фиг. 2 изображен пример для $v=0,181$ м/с. Для других значений v расчеты проводились аналогично. За истинную $i_{пред.}$ принималась средняя величина, полученная с помощью двух, описанных выше, методов.

На фиг. 3 изображена зависимость «предельной» плотности тока от линейной скорости жидкости над поверхностью мембраны. Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретическими

предпосылками. Так, из фиг. 3 видно, что увеличение скорости потока приводит к возрастанию значения «предельной» плотности тока.



Фиг. 3. Зависимость «предельной» плотности тока от линейной скорости наночелночратнонного пермеата молочной сыворотки над поверхностью ионообменных мембран.

Это объясняется уменьшением величины диффузионного слоя у поверхности мембраны. Ведь известно, что значительная часть ионов транспортируется сквозь этот слой за счет диффузии. Поэтому его уменьшение позволяет реализовать процесс электролиза при более высокой плотности тока, что разрешает повысить интенсивность обессоливания, а также уменьшить необходимую площадь мембран. Как видно из фиг. 3, повышение скорости на 0,01 м/с приводит к увеличению «предельной» плотности тока в среднем на 4,3 A/m^2 .

Заклучение

Экспериментальным путем получена зависимость «предельной» плотности тока от скорости наночелночратнонного пермеата молочной сыворотки. Это значение изменяется от 273 до 346 A/m^2 в диапазоне скоростей от 0,06 до 0,23 м/с соответственно.

Литература

- [1] Atra, R., Vatai, G., Bekassy-Molnar, E., Balint, A. (2005) Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of Food Engineering*. Vol. 67: 325-332.
- [2] Bidhendi, G.N., Nasrabadi, T. (2006) Use of nanofiltration for concentration and demineralization in the dairy industry. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. Vol. 9, 5: 991-994.
- [3] Cowan, D., Brown, J. (1959) Effect of turbulence on limiting current in electrolysis cells. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 51, 12:1445-1448.