



УДК 621.359.7

С.И. Ильина, Г.Н. Жаркова, С.А. Жарков

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ НА РАЗДЕЛЕНИЕ РАСТВОРОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

Process electro dialysis divisions in various types of devices is considered. Dependence of ohmic resistance of the device on current density at different stages of polarisation is established. Dependence of power inputs on an electro dialysis from a device design is considered.

Рассмотрен процесс электродиализного разделения в различных типах аппаратов. Установлена зависимость омического сопротивления аппарата от плотности тока на разных стадиях поляризации. Рассмотрена зависимость энергозатрат на электродиализ от конструкции аппарата.

Применение мембранных методов позволило снизить энергозатраты на проведение процессов разделения. Многообразие задач приводит к разработке различных технологических схем, в которых используются процессы мембранного разделения. Одним из них является электродиализ.

Элетродиализ – процесс мембранного разделения, основанный на проникновении ионов через мембраны под действием разности потенциалов.

Как метод опреснения элетродиализ был известен давно, однако, только сейчас начинает широко использоваться в технологических схемах.

В основном в промышленности широко используются аппараты двухпоточного типа, т.е. исходный раствор одновременно подается в камеры обессоливания и концентрирования, причем в нашей стране применение электродиализа часто ограничивается обессоливанием растворов с начальной концентрацией от 1500 до 7000 мг/л [1], хотя японские учёные считают целесообразным использование электродиализа и для растворов с более высокими начальными концентрациями [2]. Однако здесь стоит отметить, что существует большое многообразие существования электродиализных аппаратов как по конструкции, так и по целям их использования (к примеру, электродиализ с биполярными мембранами).

Особое применение нашли электродиализные аппараты с ионообменными смолами, заполняющими камеры обессоливания, что позволяет получить очень чистую воду (с сопротивлением до 10 МОм) и одновременно исключить этап регенерации ионообменных смол за счет организации процесса [3].

Вторым направлением в развитии электродиализа явилось применение однопоточных электродиализных аппаратов, в которых камера концентрирования заполняется только за счет переноса раствора через мембрану. Такая конструкция аппарата позволяет получить концентрат с высоким содержанием и в минимальном объёме, что значительно упрощает его дальнейшую переработку либо утилизацию.

Ещё одним важным свойством электромембранных процессов является возможность корректировки рН, что достигается путём определённого чередования катионо- или анионообменных, либо нейтральных мембран.



Варьирование внутреннего подкисления позволяет, с одной стороны, понизить значение pH исходных растворов, а с другой, – предотвратить образование осадков на мембранах [4].

Кроме этого, с помощью электродиализа можно выделять из растворов смесей растворы солей определенных ионов.

Эти возможности позволяют использовать электродиализ не только для получения пресной воды или концентрирования растворов, но и для переработки сточных вод с целью извлечения ценных компонентов, что решает сразу несколько задач:

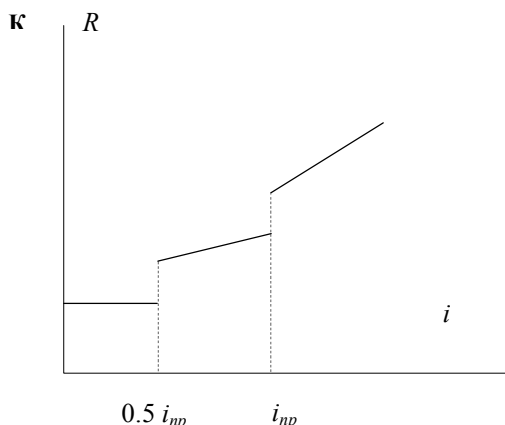
- 1) Уменьшение загрязнения окружающей среды, к примеру, солями тяжелых или радиоактивных металлов;
- 2) Возврат веществ обратно в процесс, что сокращает затраты;
- 3) Одновременно может получаться обессоленная вода, которую можно использовать для технологических целей.

Примером такого использования электродиализа могут являться комплексные схемы по переработке природных и сточных вод, разработанные в РХТУ им. Д.И. Менделеева [5].

Одной из характеристик процесса является его энергоемкость.

Расход энергии на электродиализ складывается из электроэнергии, затрачиваемой насосами на продавливание раствора через аппараты, и электроэнергии, расходуемой на реализацию технологической схемы [6]. Необходимо учесть, что в том и другом случае возникают потери, зависящие от конструктивных особенностей аппаратов, мембран и др..

На основе экспериментальных данных и вольтамперных характеристик, представленных в различных литературных источниках [3,7,8], нами была установлена зависимость омического сопротивления аппарата от плотности тока (см. рис.1)



**Рис. 1. Зависимость общего сопротивления аппарата от плотности тока:
 i_{np} – предельная плотность тока.**

Проанализировав полученные данные, мы пришли к выводу, что при изменении сопротивления как функции от плотности тока могут происходить изменения следующих лимитирующих стадий процесса.

В первом случае при ($i/i_{np} < 0.5$) протекание процесса определяется скоростью переноса ионов соли через мембрану, это можно утверждать опираясь на то, что количество ионов, переносимых через мембрану, прямо



пропорционально плотности тока. Следовательно, при низких рабочих плотностях тока в растворе существует избыток ионов электролита.

В случае $i/i_{np} > 1$, наоборот, протекание процесса определяется скоростью подвода ионов раствора к поверхности мембраны. При их недостатке ток осуществляется за счет переноса ионов H^+ и OH^- , образующихся при расщеплении воды под действием приложенного напряжения. В этом случае энергия расходуется на непроизводительный транспорт, что ведет к резкому увеличению энергозатрат на единицу массы перенесенной соли.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что при $0.5 < i/i_{np} < 1$ процесс переноса ионов контролируется как скоростью переноса ионов соли через мембрану, так и скоростью подвода ионов раствора к поверхности мембраны.

Необходимо также заметить, что во всех случаях, рассмотренных выше, под концентрацией и распределением ионов в растворе подразумевалась концентрация и распределение ионов в толщине диффузионного слоя. Скачки в сопротивлении, соответствующие предельной плотности тока i_{np} и плотности тока, равной $0,5i_{np}$, зависят от конструкции аппаратов, физико-химических свойств растворов, условий проведения опытов и т.д.

Из графика видно, что чем ниже плотность тока, тем меньше сопротивление, соответственно с увеличением плотности тока растут капитальные затраты. Однако, чем ниже плотность тока, тем меньше перенос соли через мембраны. На практике для деминерализации вод с небольшой исходной концентрацией (~ до 0,1 н) стараются придерживаться плотности тока, близкой к предельной. При более высоких концентрациях, например опреснение морских вод, рабочая плотность тока гораздо ниже предельной. В этом случае следует иметь в виду скачок в увеличении энергозатрат в области плотности тока, равной половине от предельной.

Рассмотрим зависимость энергозатрат на электродиализ от конструкции аппарата:

1. Если все камеры обессоливания прокачиваются параллельно, то процесс разделения во всех ячейках протекает одинаково, однако длина электродиализатора, и, соответственно ячеек, ограничена. В таких аппаратах можно проводить обессоливание растворов с низким исходным солесодержанием, т.к. сольесъем в них небольшой.

2. Если в аппарате фильтр-прессового типа камеры обессоливания прокачиваются последовательно, то максимальное сопротивление будет в ячейках на выходе из аппарата, т.к. чем ниже концентрация, тем ниже предельная плотность тока, и, соответственно, выше сопротивление при заданной рабочей плотности тока. В результате этого, во избежание увеличения энергозатрат снижают рабочую силу тока, что снижает перенос ионов через мембрану.

3. Ситуацию, описанную в предыдущем пункте, можно решить путем использования аппаратов рулонного типа. Т.к. плотность тока будет увеличиваться от периферийных ячеек к центральным, можно подавать раствор от центра к периферии. Это позволит при одинаковой силе тока, последовательно уменьшать плотность тока с уменьшением концентрации обессоливаемого раствора.

Вывод: энергозатраты на проведение электродиализа зависят от фи-



зико-химических свойств растворов, условий проведения процесса и конструкций аппарата.

Библиографические ссылки

1. СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
2. Гречухо Т.И. Основные направления освоения морских ресурсов Японией. Современные тенденции в освоении ресурсов Тихого океана. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1985.
3. Гребенюк В.Д. Электродиализ. Киев: Техника, 1976. 160с.
4. Хожайнов Ю.М. Комплексные технологические схемы электродиализного обессоливания и концентрирования промышленных и природных вод // Химическая промышленность, 1995. №9. С. 518-523.
5. Комплексная переработка природных и промышленных вод с целью получения пресной воды/ Ю.М. Хожайнов, В.А. Колесников, Ф. Нейра, С.И. Ильина // Вода: экология и технология. Третий Международный конгресс «ЭКВАТЭК-98»: Тезисы докладов. М., 1998. С. 472.
6. Пилат Б.В. Основы электродиализа. М.: Аввалон, 2004. 456 с.
7. Гнусин Н.П. Электродиффузионный перенос в электродиализной ячейке, работающей в режиме обессоливания и концентрирования солевых растворов. Режим допредельного состояния. Кинетическая задача.// Электрохимия, 1999. 35. № 6. С. 747 – 752.
8. Заболоцкий В.И., Никоненко В.В. Перенос ионов в мембранах. М.: Наука, 1996. 392 с.

УДК 66.084 : 665.66

С.К. Мясников, А.И. Безукладникова

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ БИТУМА ИЗ БИТУМИНОЗНОГО ПЕСКА И МЕЖФАЗНЫЕ НАТЯЖЕНИЯ В РАЗДЕЛЯЕМОЙ СИСТЕМЕ

An extreme character of the dependence of the bitumen yield on the concentration of alkaline agents in a working solution during ultrasonic separation of oil sand is found. Surface and interfacial tensions on the boundaries of the working solution with air and bitumen were measured that confirmed the formation of natural surfactants during the process. The minimum yield of bitumen is observed in the region of the ultralow values of interfacial tension, which facilitate the formation of a stable emulsion.

Установлен экстремальный характер зависимости выхода битума от концентрации щелочных агентов в рабочем растворе при ультразвуковом разделении битуминозного песка. Измерены поверхностные и межфазные натяжения на границах рабочего раствора с воз-