

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФТФ

 Бойко В.И.

«15» ноября 2008 г.

Л.И. Дорофеева

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНЫЙ МЕТОД ДЕИОНИЗАЦИИ РАСТВОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу
«Ионообменные технологии» для магистрантов, обучающихся
по магистерской программе 010706 «Физика кинетических явлений»
направления 010700 «Физика»

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 544.354(076.5)

ББК 22.333я73

Д69

Дорофеева Л.И.

Д69 Электродиализный метод деионизации растворов: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Ионообменные технологии» для магистрантов, обучающихся по магистерской программе 010706 «Физика кинетических явлений» направления 010700 «Физика» / Л.И. Дорофеева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 11 с.

ISBN 5-98298-289-X

УДК 544.354(076.5)

ББК 22.333я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром
кафедры технической физики ФТФ
«28» июня 2007 года.

Зав. кафедрой ТФ

доктор физико-математических наук,
профессор



В.А. Власов

Председатель

учебно-методической комиссии ФТФ



В.Д. Каратаев

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор ТПУ

А.П. Вергун

ISBN 5-98298-289-X

© Дорофеева Л.И., 2008

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2008

Цель работы изучить процесс деионизации раствора в камере обессоливания трёхкамерного электродиализатора, определить величину степени извлечения ионов при деминерализации.

ВВЕДЕНИЕ

Современная техника и технологии требуют применения особо чистой воды для нужд различных отраслей промышленности. Для охлаждения обмоток ускорительных, плазменных и магнитных установок, в качестве теплоносителя используют диэлектрик – глубоко обессоленную воду с удельной электропроводностью $\leq 10^{-4} \div 10^{-5}$ См/м. Надёжная работа многочисленных ядерных реакторов и АЭС во многом зависит от системы водоподготовки.

При водоподготовке для нужд энергетики наряду с ионным обменом широкое применение для обессоливания (деминерализации) растворов нашёл электродиализ. Применение электродиализа для глубокой очистки контурных и других маломинерализованных радиоактивных вод приводит к возможности полного удаления из неё ионных компонентов. Важным фактором в данном случае является и то, что радиоактивные примеси, извлекаемые из раствора, можно сконцентрировать в одном месте – в потоке раствора из рассольных камер аппарата. Концентрацию и соответственно объём «рассола» можно регулировать в результате изменения плотности тока и скорости потока в камерах. Использование электродиализа в схемах очистки радиоактивно загрязнённых вод обеспечивает полное удаление солей из растворов и концентрацию их в минимальном объёме, идущем на захоронение.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электродиализный метод деминерализации представляет собой процесс переноса ионов электролита через мембраны под действием постоянного электрического поля.

Наибольшее распространение получил электродиализ через ионообменные мембраны, свойства которых определяются наличием в мембране ионогенных групп, связанных с полимерной матрицей. Заряд этих групп компенсируется зарядом подвижного, способного к обмену иона.

Селективные ионообменные мембраны изготавливаются из ионитовых материалов (катионитов и анионитов) и представляют собой синтетические плёнки способные не только пропускать катионы (катионитовые мембраны) или анионы (анионитовые мембраны), но и полностью задерживать газы и растворённые соли. Селективность ионообменных мембран ограничена избирательным переносом катионов или анионов и

характеризуется числом переноса. Для идеально селективной мембраны число переноса равно единице.

Схема электродиализного аппарата, состоящего из трёх камер: катодной (1), рабочей (4) и анодной (7) приведена на рисунке 1. Катодная и рабочая камеры аппарата разделены катионитовой мембраной (3), а анодная и рабочая камеры – анионитовой (5) мембраной. В качестве катионитовой используется мембрана марки МК-40, анионитовой – МА-40. Рамки камер изготовлены из органического стекла.

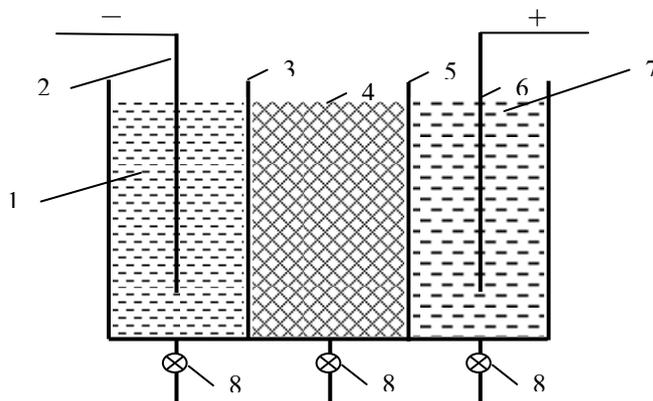


Рис. 1. Схема электродиализатора:

1 – катодная камера; 2 – катод; 3 – катионитовая мембрана; 4 – средняя (рабочая) камера; 5 – анионитовая мембрана; 6 – анод; 7 – анодная камера; 8 – вентиль

При подаче на электродиализный аппарат постоянного электрического тока катионы растворённых в воде солей, двигаясь в направлении катода (2), проходят через катионопроницаемую мембрану (3) в катодную камеру (1), находящуюся слева. Одновременно анионы, двигаясь в направлении анода (6), проходят через анионопроницаемую мембрану (5) в анодную камеру (7), находящуюся справа.

Эффективность электродиализа зависит от плотности тока (или падения напряжения на аппарате), природы и концентрации электролита, гидродинамического режима, конструкции электродиализатора, возможности образования труднорастворимых соединений на поверхности мембран и их поляризации.

Чем выше плотность тока, тем выше производительность аппарата, но тем значительнее затраты электроэнергии на получение обессоленной воды. Для каждого конкретного случая существует своя оптимальная плотность тока, которая обеспечивает достаточно высокую производительность процесса при относительно невысоком расходе электроэнергии. При этом потребление электроэнергии пропорционально соле-содержанию исходного раствора. Этот эффект особенно интересен в случае применения электродиализа для деминерализации соленоватых и

пресных вод. При солесодержании воды менее 1.0 г/л энергозатраты на деминерализацию незначительны, срок службы возрастает, благодаря низкой плотности тока. Выход по току в этих условиях более 90%, поэтому электродиализ также эффективен для очистки контурных вод тепловых и атомных станций.

2. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Процесс деминерализации проводится в двух режимах:

1. В статическом режиме

В этом случае рабочая камера заполняется исходным раствором, и процесс извлечения ионов идёт до конечной, ранее установленной концентрации. Затем диализат (очищенный раствор) сливается, а в рабочую камеру подаётся новая порция раствора и процесс повторяется.

2. В динамическом режиме

В этом случае исходный раствор протекает через рабочую камеру непрерывно с постоянной объёмной скоростью, т.е. с постоянным расходом Q_p . Расход должен быть строго определенным и контролироваться во времени. Определяется он по следующему соотношению:

$$Q_p = \frac{d H u_i U}{\ell F k}, \quad \left[\frac{\text{см}}{\text{с}} \right] \quad (1)$$

где d – ширина средней камеры, [см]; H – высота средней камеры, [см]; u_i – подвижность извлекаемого иона, $\left[\frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \right]$; U – прикладываемое напряжение, [В]; ℓ – межмембранное расстояние, [см]; F – число Фарадея ($9,65 \cdot 10^4 \left[\frac{\text{Кл}}{\text{моль}} \right]$); k – электрохимический эквивалент вещества, $\left[\frac{\text{мг}}{\text{Кл}} \right]$

Экспериментальная установка для осуществления процесса деминерализации растворов в трехкамерном электродиализаторе представлена на рисунке 2.

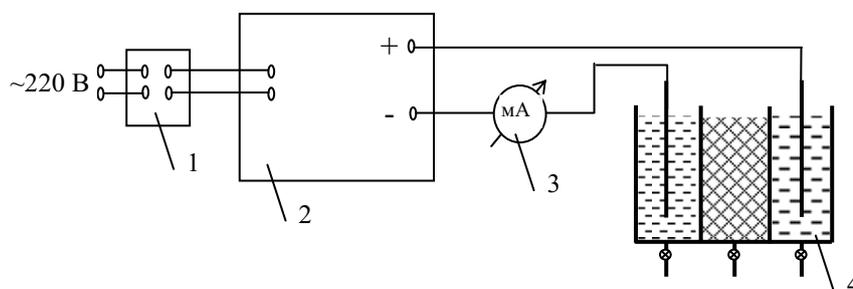


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:
1 –ЛАТР; 2 – выпрямитель; 3 – амперметр; 4 – электродиализатор

Установка питается от сети переменного тока с напряжением 220 В. Напряжение на входе регулируется с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа). Для преобразования напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока в схеме предусмотрен выпрямитель.

Плотность тока определяется по формуле:

$$i = \frac{I}{S_3}, \left[\frac{\text{А}}{\text{см}^2} \right], \quad (2)$$

где I – величина силы тока; S_3 – площадь электрода.

Электропроводность обратно пропорциональна величине удельного сопротивления:

$$j = \frac{\ell}{R S_3}, [\text{Ом}^{-1} \text{см}^{-1}], \quad (3)$$

которое в свою очередь пропорционально площади электродов и обратно пропорционально межэлектродному расстоянию.

Величина степени извлечения ионов в процессе электродиализа определяется как:

$$\omega = \frac{\eta(m_{\text{Na}} + m_{\text{Cl}})}{m_0}, \quad (4)$$

здесь η – выход по току; m_0 – первоначальная масса соли NaCl, содержащейся в средней камере, [мг]; m_{Cl} – масса хлора, извлеченная результате электропереноса, [мг]; m_{Na} – масса натрия, извлеченная в результате электропереноса, [мг].

Первоначальное количество соли NaCl, содержащейся в средней камере, определяется в зависимости от объёма камеры:

$$m_0 = C_0 \cdot V, \quad (5)$$

где C_0 – начальная концентрация соли в средней камере, [г/л]; V – объём средней камеры

Начальная концентрация соли определяется, исходя из эквивалентной массы вещества и нормальности раствора соли.

$$C_0 = \mathcal{E}_{\text{NaCl}} N, \left[\frac{\text{г}}{\text{л}} \right]. \quad (6)$$

Здесь N – нормальность раствора соли, подаваемого в среднюю камеру электродиализатора, [моль/л]; $\mathcal{E}_{\text{NaCl}}$ – эквивалентная масса NaCl, [г]

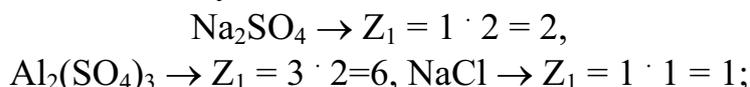
Эквивалентная масса вещества определяется с учётом фактора эквивалента:

$$\mathcal{E}_{\text{NaCl}} = M/Z_1, \quad (7)$$

где M – молярная масса соединения, [г]; Z_1 – фактор эквивалента.

Фактор эквивалента определяется согласно типу соединения:

- для соли Z_1 равен произведению степени окисления металла на число атомов в молекуле соли:



- для кислоты Z_1 равен основности кислоты:



- для основания Z_1 равен степени окисления металла:



Масса натрия (хлора) определяется по первому закону Фарадея:

$$m = k \cdot I \cdot t, \quad [\text{мг}] \quad (8)$$

где I – средняя величина тока в процессе электролиза; t – время электролиза, [с]; k – электрохимический эквивалент натрия (хлора).

Электрохимический эквивалент натрия (хлора) находится по второму закону Фарадея:

$$k = \frac{M}{F Z} \left[\frac{\text{мг}}{\text{А} \cdot \text{с}} \right] \quad (9)$$

где M – молярная масса вещества, Z – валентность вещества

3. ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Изучить описание работы, устройство электролизатора.
2. Заполнить электродные камеры обычной водой, а среднюю камеру 0,02 н. раствором NaCl.
3. Провести процесс деминерализации в статическом режиме, определяя силу тока при изменении напряжения в диапазоне значений $U = 10 \dots 30\text{В}$. При этом необходимо соблюдать последовательность операций:
 - а) с помощью ЛАТРа установить значение $U = 10\text{В}$, измерить величину тока по амперметру. Ручку ЛАТРа вывести в нулевое положение;
 - б) установить значение $U = 20\text{В}$ и определить новое значение тока. Ручку ЛАТРа вывести в нулевое положение;
 - в) повторить измерение в той же последовательности для 30В.
4. Полученные значения занести в табл. 1.

Таблица 1

$U, \text{В}$	10	20	30
$I, \text{мА}$			
$I, \text{А}$			

5. Построить график зависимости: $I = f(U)$.
6. Провести процесс деминерализации при $U = 20\text{В}$ с учётом времени течения процесса. Для этого:
 - а) с помощью ЛАТРа установить значение $U = 20\text{В}$, измерить величину тока по амперметру через 5 минут, 10 мин и далее через каждые последующие интервалы до 30 мин;
 - б) ручку ЛАТРа вывести в нулевое положение. Отключить питание установки.
7. Полученные данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Продолжительность электропереноса ионов, t , мин.	5	10	15	20	25	30
I , мА						
I , А						

8. Определить величину плотности тока по формуле (2). Построить график зависимости: $i = f(t)$.
9. Построить график зависимости изменения электропроводности в ходе процесса деминерализации: $\kappa = f(t)$.
10. Построить графики, показывающие изменение массы натрия в катодной камере аппарата и массы хлора в анодной камере электродиализатора с течением времени: $m_{\text{Na}} = f(t)$, $m_{\text{Cl}} = f(t)$.
11. Определить степень извлечения ионов ω при величине выхода по току $\eta = 60 \dots 90 \%$.
12. На основе полученных данных сделать выводы по работе. Проанализировать графические зависимости, привести значение величины степени извлечения ионов.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой электродиализный метод обессоливания растворов, область его применения.
2. Привести схему трёхкамерного электродиализного аппарата, объяснить назначение основных частей.
3. Чем определяется эффективность процесса.
4. Охарактеризовать статический и динамический режимы деминерализации.
5. Записать расчётную формулу для определения расхода раствора, протекающего через рабочую камеру электродиализатора.
6. Как определяется степень извлечения ионов, записать формулу

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульский Л.А.. Основы химии и технологии воды. – Киев: Наукова Думка, 1991. – 568 с.
2. Кульский Л.А., Страхов Э.Б., Волошинова А.М. Технология водоочистки на атомных энергетических установках. – Киев: Наукова Думка, 1986. – 272 с.
3. Москвин Л.Н., Царицына Л.Г. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. – Л.: Химия, 1991. – 256 с.
4. Гребенюк В.Д. Электродиализ. – Киев: Техніка, 1976. – 160 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Теоретическая часть.....	3
2. Проведение измерений	5
3. Порядок работы.....	7
4. Контрольные вопросы	8
Список литературы	9

Учебное издание

Дорофеева Людмила Ивановна

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНЫЙ МЕТОД ДЕИОНИЗАЦИИ РАСТВОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу
«Ионообменные технологии» для магистрантов, обучающихся
по магистерской программе 010706 «Физика кинетических явлений»
направления 010700 «Физика»

Научный редактор
Доктор физико-математических наук
профессор *В.Ф. Мышкин*

Верстка *В.П. Аршинова*
Дизайн обложки *О.Ю. Аршинова*
О.А. Дмитриев

Подписано к печати 17.11.2008. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 0,64. Уч.-изд.л. 0,58.
Заказ 886. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

