

МНОГОКОРПУСНАЯ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНАЯ УСТАНОВКА

Н.В. Алексеева, Р.В. Баранов

*Кафедра «Технологические процессы и аппараты»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; alexejewa.nadja@gmail.com*

Ключевые слова и фразы: ионообменная мембрана; концентрирование; многокорпусная установка; обессоливание; степень разделения; электродиализ.

Аннотация: Описана схема многокорпусной электродиализной установки высокой степени разделения водных растворов электролитов. На примере гальванического производства показана возможность повторного использования в производстве очищенной воды и сконцентрированного раствора целевого компонента с помощью многокорпусной электродиализной установки.

Проведение процесса электродиализного разделения растворов электролитов сопровождается рядом факторов, ограничивающих разность концентраций потока концентрата и диализата [1]. Оптимальным при проектировании такого процесса разделения является получение очищенной воды и сконцентрированного раствора компонентов, которые можно использовать в дальнейшем производстве без дополнительной обработки. В реальных электродиализных аппаратах отношение концентраций компонентов в потоке концентрата и диализата фиксировано и зависит от ряда факторов.

Процесс электродиализного разделения, проводимый в одном электродиализном аппарате, характеризуется получением двух потоков с сильно отличающимися концентрациями, которые контактируют с одной и той же мембраной (рис. 1). В этом случае имеет место сильно выраженный диффузионный поток, который зависит от перепада концентраций компонента через мембраны, а также осмотический поток [2], что негативно влияет на процесс.

Электродиализный аппарат состоит из последовательно соединенных камер концентрата с низким электросопротивлением и камер диализата с высоким электросопротивлением. Чем больший номер имеет камера диализата, тем выше ее сопротивление. В результате в последних камерах электросопротивление раствора диализата при незначительном изменении концентрации меняется значительно, а концентрации в соседней камере концентрата меняются несущественно.

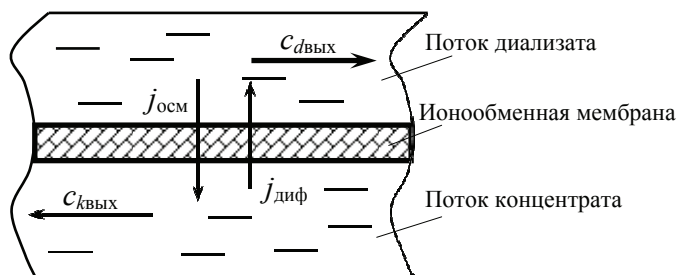


Рис. 1. Схема диффузионного $j_{диф}$ и осмотического $j_{осм}$ потоков через мембрану

Задачи, решаемые электродиализным методом обработки, можно разделить на три группы:

1) *обессоливание растворов* в целях получения очищенной до определенного качества воды (например, обессоливание морской воды или очистка сточных вод для обеспечения замкнутого водооборота на производстве). При этом состав раствора, образующегося в линии концентрата, не имеет решающего значения;

2) *концентрирование растворов* в целях получения сконцентрированного раствора или раствора с определенным содержанием необходимых компонентов (например, извлечение ценных компонентов из сточных вод для их повторного использования). При этом состав раствора, образующегося в линии диализата, не имеет решающего значения;

3) *одновременное обессоливание – концентрирование растворов* в целях получения одновременно очищенной до определенного качества воды и сконцентрированного до определенной концентрации раствора (например, обработка промывных вод гальванических производств с получением очищенной воды для возврата в ванну промывки и сконцентрированного раствора ценных реагентов для возврата его в ванну гальванической обработки).

В связи с широким кругом задач, необходимо создание схемы электродиализной установки, которую можно было бы легко модернизировать под конкретную технологическую проблему.

Рассмотрим многокорпусную электродиализную установку (рис. 2), содержащую отдельную линию обессоливания и отдельную линию концентрирования. Количество корпусов в каждой линии выбирается отдельно в зависимости от поставленных технологических задач. Особенностью обработки растворов в рассматриваемой установке является условие равенства кратности обессоливания и концентрирования в потоке концентрата и диализата каждого корпуса. То есть, если концентрация компонента в растворе, поступающем в корпус, c , а кратность разделения потока – n , то на выходе из корпуса концентрат должен иметь концентрацию cn , а диализат – c/n . Данное условие соблюдается при определенном значении расхода концентрата V_k и диализата V_d . Если общий расход раствора, поступающего в корпус, $V = V_k + V_d$, то при допущении о постоянстве расходов концентрата и диализата по высоте корпуса, согласно материальному балансу в потоках:

$$\begin{cases} cV_d + cV_k = \frac{c}{n}V_d + cnV_k, \\ V_d + V_k = V, \end{cases} \quad \text{откуда} \quad \begin{cases} V_d = \frac{n}{n+1}V, \\ V_k = \frac{1}{n+1}V. \end{cases} \quad (1)$$

Таким образом, при подаче раствора в корпус при соотношении потоков $V_d/V_k = n$ и степени разделения потока в корпусе n , на выходе концентрация диализата будет c/n , а концентрата cn .

Работа установки осуществляется следующим образом. Исходный раствор с концентрацией компонента c в количестве $V_{\text{исх}}$ подается в первую накопительную емкость, откуда в количестве V поступает в первый электродиализный корпус, являющийся начальной (нулевой) ступенью обработки. Поступающий в первый корпус раствор делится на два потока: диализат V_d и концентрат V_k в соотношении согласно уравнениям (1). На выходе из первого корпуса получают поток диализата с концентрацией c/n и поток концентрата с концентрацией компонента cn ; количественно потоки концентрата и диализата, согласно принятому допущению, в процессе разделения по высоте одного корпуса не изменились.

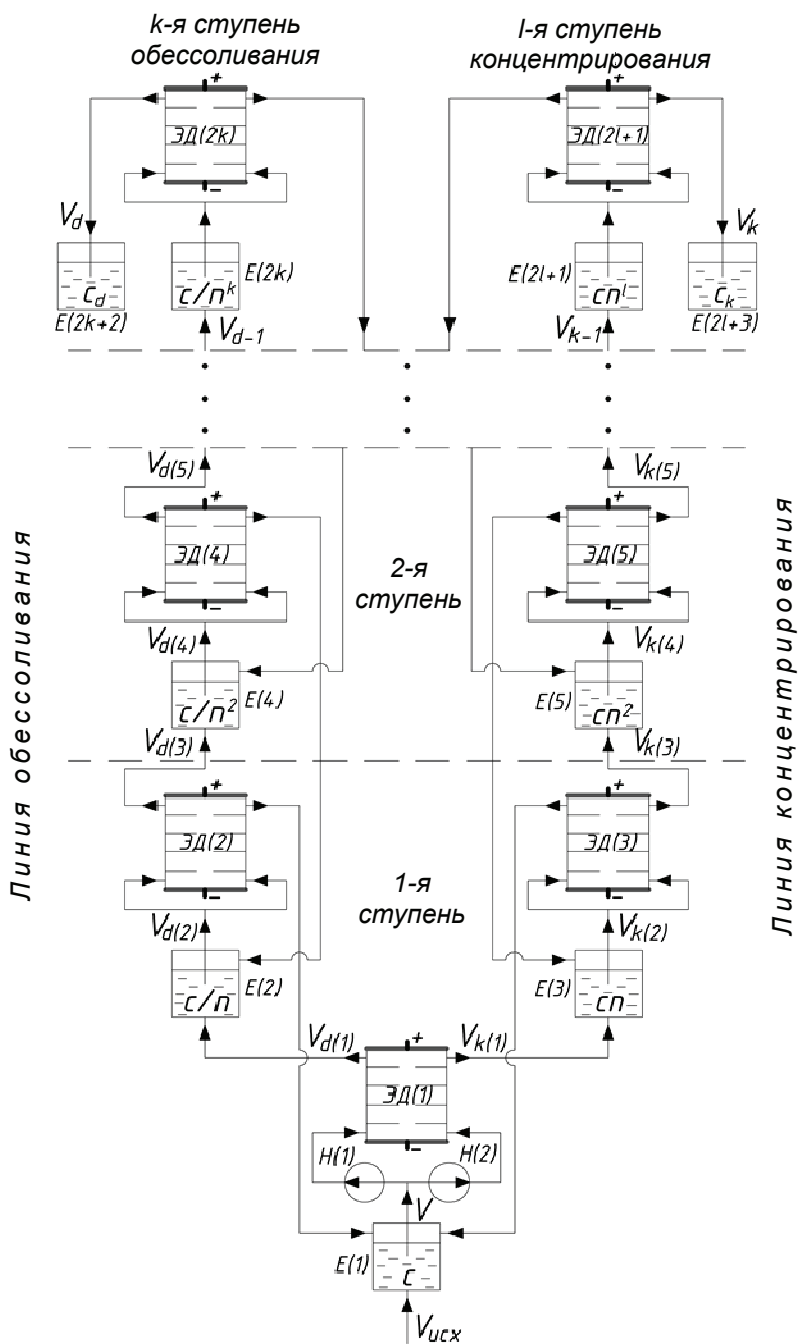


Рис. 2. Схема многокорпусной электродиализной установки

После первого корпуса процесс обработки делится на две линии: поток диализата направляется в линию обессоливания, а поток концентрата – в линию концентрирования.

Линия обессоливания: поток диализата после первого корпуса подается во вторую накопительную емкость, из которой раствор подается во второй электродиализный корпус (корпус первой ступени линии обессоливания). Полученные на

выходе поток диализата направляется в накопительную емкость и соответствующий корпус следующей ступени обессоливания, а поток концентрата – в накопительную емкость предыдущей ступени.

Линия концентрирования: поток концентрата после первого корпуса подается в третью накопительную емкость, из которой раствор подается в третий электродиализный корпус (корпус первой ступени линии концентрирования). Полученный на выходе поток концентрата направляется в накопительную емкость и соответствующий корпус следующей ступени концентрирования, а поток диализата – в накопительную емкость предыдущей ступени.

Данный принцип разделения сохраняется для необходимого количества ступеней. Подаваемый в каждый корпус из соответствующей накопительной емкости раствор делится на два потока: диализат и концентрат в соответствии с уравнениями (1). Степень разделения потока в каждом корпусе установки равна n .

В результате для всей многокорпусной электродиализной установки потоки исходного раствора $V_{исх}$, конечного раствора концентрата V_k и диализата V_d при условии равенства ступеней обессоливания и концентрирования:

$$V_{исх} = V_d + V_k; \quad (2)$$

$$V_d = V \frac{n^{k+1}}{(n+1)(1 + \sum_{i=1}^k n^i)}; \quad (3)$$

$$V_k = V \frac{1}{(n+1)(1 + \sum_{i=1}^l n^i)}; \quad (4)$$

где V – объем раствора с исходной концентрацией, подаваемый на разделение в первый корпус, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{исх}$ – объем исходного раствора, подаваемого в начальную емкость, $\text{м}^3/\text{с}$; V_d – объем диализата, получаемого в последнем корпусе линии обессоливания, $\text{м}^3/\text{с}$; V_k – объем концентрата, получаемого в последнем корпусе линии концентрирования, $\text{м}^3/\text{с}$; n – степень разделения потока в одном корпусе; k – количество ступеней разделения линии обессоливания; l – количество ступеней разделения линии концентрирования.

Если концентрация компонента в диализате на выходе многокорпусной электродиализной установки $c_d = c/n^{k+1}$, а в концентрате $c_k = cn^{l+1}$, то $c_k/c_d = n^{l+k+2}$.

Рассматривая применение данной схемы для организации замкнутого водооборота в гальваническом производстве, можно предложить несколько вариантов решения. Согласно ГОСТ 9.314–90 [3], содержание целевого компонента (тяжелых металлов) в воде, используемой в промывке, показано в табл. 1.

Для организации замкнутого водооборота необходимо, с одной стороны, обессоливать воду на выходе из гальванического производства до качества воды, используемой в гальваническом производстве, а с другой стороны, раствор удаляемых целевых компонентов сконцентрировать до уровня раствора гальванических ванн, согласно приведенным в табл. 1 значениям. Применение многокорпусной электродиализной установки, состоящей из k ступеней линии обессоливания и l ступеней линии концентрирования при степени разделения в аппарате n позволяет получить растворы необходимой концентрации при значениях n , l , k , приведенных в табл. 2.

Таблица 1

Содержание целевого компонента в воде

Компоненты	Вода, используемая в гальваническом производстве c_d , мг/л	Вода на выходе из гальванического производства c , мг/л	Растворы в гальванических ваннах c_k , г/л
Cu	≤ 1	≤ 30	≈ 50
Ni	≤ 5	≤ 50	≈ 65
Zn	≤ 5	≤ 50	≈ 70

Таблица 2

Число аппаратов k и l при различных значениях n

n	Cu		Zn		Ni	
	k	l	k	l	k	l
2	5	10	3	11	3	11
3	3	7	2	7	2	7
5	3	6	2	6	2	6
10	2	4	1	4	1	4

Увеличение степени разделения в одном аппарате уменьшает количество аппаратов во всей установке. Таким образом, применение многокорпусной электродиализной установки позволяет организовать замкнутый оборот сточных вод и возврат целевых компонентов в гальваническом производстве.

Преимуществами предложенной схемы разделения являются: высокие степени разделения для всей установки, которые невозможно получить на одном аппарате; возможность настройки работы установки в разных условиях для линии обессоливания и концентрирования; наличие промежуточных накопительных емкостей, позволяющих проводить необходимое терморегулирование в каждом аппарате.

Список литературы

1. Хванг, С.-Т. Мембранные процессы разделения : пер. с англ. / С.-Т. Хванг, К. Каммермейер. – М. : Химия, 1981. – 464 с.
2. Алексеева, Н.В. Массо-, тепло- и электроперенос при электродиализном разделении гальваностокков в запредельном режиме : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 : защищена 14.06.2002 : утв. 11.10.2002 / Алексеева Надежда Вячеславовна. – Тамбов, 2002. – 226 с.
3. ГОСТ 9.314–90. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования. – Введ. 1991-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 15 с.

Multi-Chamber Electrolysis Plant

N.V. Alekseyeva, R.V. Baranov

Department "Processes and Devices", TSTU;
 alexejewa.nadja @ gmail.com

Key words and phrases: concentration; degree of separation; desalting; ion-exchange membrane; multi-chamber plant; electrolysis.

Abstract: The paper describes the design of multi-chamber electro dialysis plant with high degree of separation of aqueous solutions of electrolytes. On the example of electroplating industry the authors show the possibility of reuse of purified water and concentrated solution of target component through multi-chamber electro dialysis plant.

Mehrkörperliche elektrodialytische Anlage

Zusammenfassung: Es ist das Schema der mehrkörperlichen elektrodialytischen Anlage der hohen Stufe der Teilung der Wasserlösungen der Elektrolyten vorgeschlagen. Am Beispiel der galvanischen Produktion ist die Möglichkeit der nochmaligen Nutzung in der Produktion des gereinigten Wassers und der konzentrierten Lösung des Zielkomponentes mit Hilfe der mehrkörperlichen elektrodialytischen Anlage gezeigt.

Installation multicoque d'électrodialyse

Résumé: Est proposé le schéma de l'installation multicoque d'électrodialyse avec un haut degré de la séparation des solutions d'eau d'électrolytes. A l'exemple de la production galvanique est montrée la possibilité de la réutilisation dans la production de l'eau raffinée et de la solution concentrée du composant à affectation déterminée à l'aide de l'installation multicoque d'électrodialyse.

Авторы: *Алексеева Надежда Вячеславовна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы и аппараты»; *Баранов Роман Вадимович* – студент, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Лазарев Сергей Иванович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная геометрия и компьютерная графика», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
