

УДК 66.081.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СЛАБОМИНЕРАЛИЗИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ СТОЧНЫХ ВОД

© А.М. Акулинчев, О.А. Абоносимов, С.И. Лазарев, А.В. Краснова

*Ключевые слова:* коэффициент задержания; мембрана; обратный осмос; разделение; раствор; водопроницаемость; установка.

Рассмотрена возможность применения обратноосмотического разделения растворов при очистке сточных вод от солей тяжелых металлов. С целью изучения влияния параметров проведения процесса разделения на основные кинетические характеристики проведены экспериментальные исследования водопроницаемости и коэффициента задержания мембран МГА-95 и МГА-100 при очистке сточных вод от солей тяжелых металлов: Zn, Cd, Pl. Выявлены закономерности изменения коэффициента задержания и водопроницаемости в зависимости от давления и типа мембраны для всех исследуемых растворов. Объяснены зависимости основных кинетических характеристик от параметров проведения процесса разделения.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные мембранные установки для промышленной очистки воды от тяжелых металлов и высокомолекулярных органических веществ, в особенности установки обратного осмоса, все больше привлекают внимание специалистов за счет своей универсальности, а также возможности создания на предприятиях системы оборотного водоснабжения.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С целью исследования основных параметров обратноосмотического разделения был проведен эксперимент по очистке сточных вод с промышленных объектов г. Тамбова, взятых на РКС «Тамбовводоканал» ОАО Филиал, от тяжелых металлов Zn, Cd, Pl. Для очистки стоков использовали лабораторную обратноосмотическую установку, рабочей частью которой служит плоскокамерная ячейка. Установка работает следующим образом: из исходной емкости через систему вентилей рабочий раствор нагнетался через ресивер в мембранный модуль плунжерным насосом НД100/63 2. Пройдя рабочую ячейку, дроссели и поплавковые ротаметры разделяемый раствор возвращается в расходную емкость. Расход раствора задается регулированием рабочего хода плунжерного насоса.

Раствор, прошедший в результате разделения через мембраны, собирается в мерные емкости. Колебания давления и расхода на описанной установке не превышали 5 % от установленного значения.

Эксперименты проводились по следующей методике. Перед началом экспериментальных исследований собирали обратноосмотическую ячейку, при этом предварительно подготовленную мембрану располагали на прокладке (ватмане) активным слоем к разделяемому раствору. Далее производили крепление ячейки к трубопроводам установки. После этого задавали рабочий расход раствора изменением хода плунжера насоса и заполняли систему рабочим раствором. Далее уста-

навливали подачу воды в систему промывки сальников и охлаждения плунжера насоса, полностью закрывали игольчатые дроссели и включали насос. По мере увеличения избыточного давления в системе открывали перепускной игольчатый вентиль и плавно игольчатые дроссели, пока колебания стрелок манометров не останавливались около заданного значения давления. Одновременно проверяли и наличие утечек раствора в разделительной ячейке (рис. 1).

По этой схеме производили обжатие мембраны, т. е. вместо исследуемого раствора использовали дистиллированную воду. В течение часа ячейка находилась под давлением 4 МПа.

Затем по той же схеме проводили холостой опыт (уже с исследуемым раствором) в течение 30 мин. Затем выключали установку и сбрасывали в системе давление игольчатым вентилем. Собранный раствор из мерных емкостей выливали в исходную емкость. После восьмичасовой выдержки раствор сливали из установки, хорошо перемешивали и заливали в объеме  $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ . Затем в той же последовательности запускали установку, но при этом выводили ее на температурный режим, и проводили контрольный опыт в течение времени, необходимого для сбора пермеата.

Рабочий опыт проводили в течение времени, необходимого для сбора пермеата, при этом время проведения опыта фиксировалось секундомером. После рабочего эксперимента сбрасывали давление в системе, выключали установку.

Рабочими элементами ячейки служили мембраны МГА-95, МГА-100 производства ОАО «Полимерсинтез» г. Владимир. Площадь мембран составляет  $F = 0,078 \text{ м}^2$ . Эксперимент проводился при давлениях 1, 2, 3, 4 МПа.

Пермеат и исходный раствор анализировали на наличие в них солей тяжелых металлов Zn, Cd, Pl на полярографе ПУ-1. Значения концентраций этих металлов в исследуемом растворе представлены в табл. 1.

Экспериментальное значение коэффициента задержания определяли по формуле [1–2]:

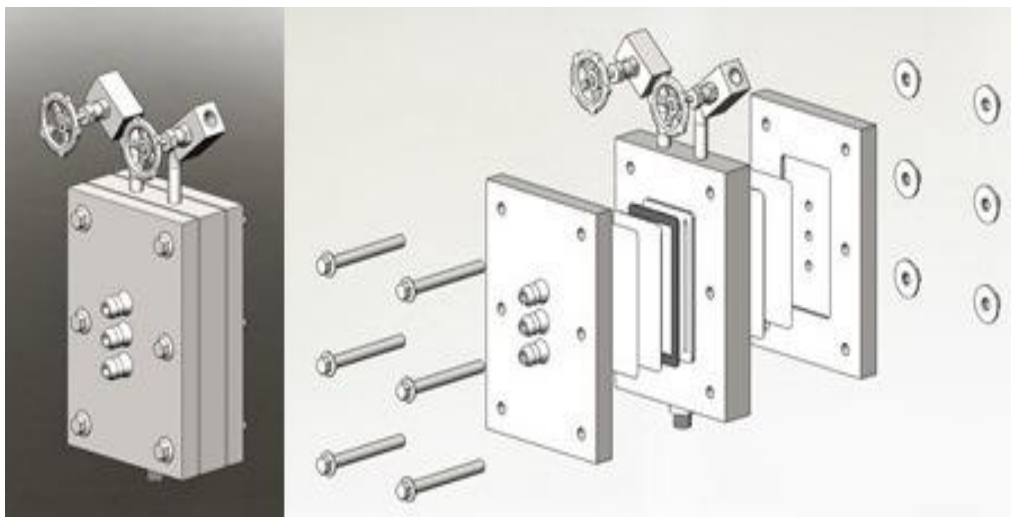


Рис. 1. Устройство обратноосмотической ячейки

$$K = 1 - \frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{исх}}}, \quad (1)$$

$K$  – коэффициент задержания;  $C_{\text{пер}}$  – концентрация растворенного вещества в пермеате,  $\text{кг/м}^3$ ;  $C_{\text{исх}}$  – концентрация растворенного вещества в исходном растворе,  $\text{кг/м}^3$ .

Значение водопроницаемости рассчитывали по следующей зависимости [1–3]:

$$G = \frac{V}{F \cdot \tau}, \quad (2)$$

$V$  – объем собранного пермеата,  $\text{м}^3$ ;  $F$  – площадь поверхности мембраны;  $\tau$  – время проведения эксперимента, с.

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1–2.

На рис. 2 представлена зависимость водопроницаемости мембран от давления над мембраной.

Таблица 1

Значения концентраций металлов Zn, Cd, Pb в исследуемом растворе

| Ме-<br>талл          | C <sub>исх.</sub> ,<br>мг/дм <sup>3</sup> | C <sub>п</sub> , мг/дм <sup>3</sup> |         |         |         |
|----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|
|                      |                                           | 1 МПа                               | 2 МПа   | 3 МПа   | 4 МПа   |
| Для мембраны МГА-95  |                                           |                                     |         |         |         |
| Zn                   | 0,0395                                    | 0,0034                              | 0,0022  | 0,0021  | 0,0021  |
| Cd                   | 0,0042                                    | 0,0009                              | 0,0006  | 0,0001  | 0,0001  |
| Pb                   | 0,00142                                   | 0,0001                              | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  |
| Для мембраны МГА-100 |                                           |                                     |         |         |         |
| Zn                   | 0,0395                                    | 0,0037                              | 0,0029  | 0,0027  | 0,0023  |
| Cd                   | 0,0042                                    | 0,0055                              | 0,00051 | 0,00028 | 0,00024 |
| Pb                   | 0,00142                                   | 0,0019                              | 0,00017 | 0,0001  | 0,0001  |

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

| Металл               | C <sub>исх.</sub> ,<br>мг/дм <sup>3</sup> | Коэффициент задержания |       |       |       |
|----------------------|-------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|
|                      |                                           | 1 МПа                  | 2 МПа | 3 МПа | 4 МПа |
| Для мембраны МГА-95  |                                           |                        |       |       |       |
| Zn                   | 0,0395                                    | 0,91                   | 0,94  | 0,95  | 0,96  |
| Cd                   | 0,0042                                    | 0,85                   | 0,86  | 0,98  | 0,98  |
| Pb                   | 0,00142                                   | 0,93                   | 0,93  | 0,93  | 0,93  |
| Для мембраны МГА-100 |                                           |                        |       |       |       |
| Zn                   | 0,0395                                    | 0,94                   | 0,93  | 0,93  | 0,95  |
| Cd                   | 0,0042                                    | 0,87                   | 0,88  | 0,95  | 0,94  |
| Pb                   | 0,00142                                   | 0,88                   | 0,88  | 0,93  | 0,93  |

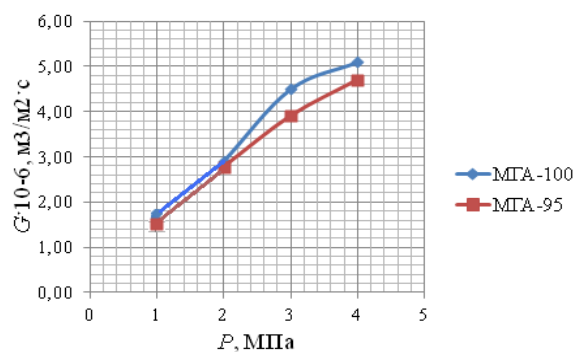


Рис. 2. Зависимость водопроницаемости от давления над мембраной

По представленным в таблицах данным и графикам зависимости видно, что водопроницаемость растет с увеличением давления над мембраной. Эта зависимость объясняется ростом движущей силы процесса обратноосмотического разделения.

Что же касается коэффициента задержания, то судя по полученным значениям можно сказать, что для исследуемых растворов при повышении давления коэф-

фициента задержания увеличивается незначительно, что характерно для сильноразбавленных растворов.

### ВЫВОДЫ

1. Выявлены закономерности изменения коэффициента задержания и водопроницаемости в зависимости от давления и типа мембраны для всех исследуемых растворов.

2. Объяснены зависимости основных кинетических характеристик от параметров проведения процесса разделения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
2. Лазарев С.И., Мамонтов В.В., Ковалев С.В., Лазарев К.С. Коэффициенты диффузионной проницаемости кальция сернокислого через мембранные элементы трубчатого типа // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. Вып. 5. С. 120-122.
3. Лазарев К.С., Ковалев С.В., Арзамасцев А.А. Исследование кинетических коэффициентов обратного осмотического разделения растворов на мембранах МГА-95, МГА-100, ОПМ-К // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т. 17. № 3. С. 726-734.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания.

Поступила в редакцию 3 июня 2014 г.

Akulichev A.M., Abonosimov O.A., Lazarev C.I., Krasnova A.V. STUDY OF KINETIC COEFFICIENTS OF WEAKLY MINERALIZED REVERSE OSMOSIS SEPARATION SOLUTIONS SEWAGE

The paper considers the possibility of using reverse osmosis separation solutions in wastewater treatment from heavy metal salts. To study the influence of the parameters of the process of separation of basic kinetic characteristics of experimental studies and permeability coefficient detention membranes MGA-95 MGA-100 wastewater treatment of salts of heavy metals: Zn, Cd, Pb. The regularities of changes in the coefficient of permeability and retention depending on the pressure and type of membrane for all test solutions are disclosed. It is explained how the main parameters of the kinetic characteristics of the separation process.

**Key words:** rejection coefficient; membrane; reverse osmosis; separating process; water penetration capacity; apparatus.

Акулинчев Андрей Михайлович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант, кафедра «Прикладная геометрия и компьютерная графика», e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Akulichev Andrey Mikhailovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Post-graduate Student, "Applied Geometry and Computer Graphics" Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Абоносимов Олег Аркадьевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная геометрия и компьютерная графика», e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Abonosimov Oleg Arkadyevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor of "Applied Geometry and Computer Graphics" Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Лазарев Сергей Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладная геометрия и компьютерная графика», e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Lazarev Sergey Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of "Applied Geometry and Computer Graphics" Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Краснова Анастасия Владимировна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Krasnova Anastasiya Vladimirovna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate for Master's Degree, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru