

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОГО ВЫХОДНОГО ПОТОКА АЦЕТАТЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПЛЕНОК ОТ ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСТВОРОВ

С. И. Лазарев<sup>1</sup>, А. А. Арзамасцев<sup>1</sup>, В. Ю. Рыжкин<sup>1</sup>, О. А. Ковалева<sup>1,3</sup>,  
Д. С. Лазарев<sup>1</sup>, В. М. Дмитриев<sup>2</sup>, Т. А. Хромова<sup>1</sup>

*Кафедры «Механика и инженерная графика» (1), kafedra\_mig@mail.ru; «Природопользование и защита окружающей среды» (2), ФГБОУ ВО «ТГТУ»; кафедра «Математическое моделирование и информационные технологии» (3), ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия*

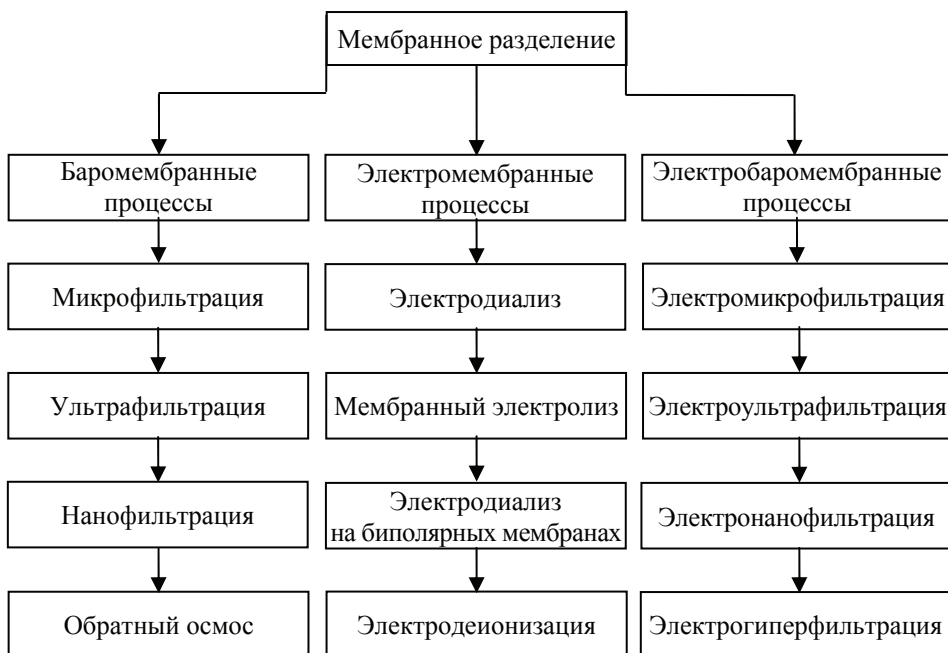
**Ключевые слова:** гальванотехника; мембрана; процесс; разделение; раствор; технология; электромембранный метод.

**Аннотация:** Представлено сравнительное исследование применения мембранных, электромембранных и электробаромембранных технологий для различных отраслей промышленности в области очистки сточных вод и технологических растворов. Сформулирован принцип классификации мембранных процессов разделения. Определены характерные периоды стимулирования переноса растворителя. На основе полученных экспериментальных данных по проницаемости растворителя через мембраны МГА-80П и МГА-95 предложены эмпирические зависимости, описывающие кинетические характеристики в зависимости от трансмембранного давления и температурного воздействия.

---

На основе анализа литературных данных методами разделения с помощью мембран являются [1 – 6]: обратный осмос; ультра- и микрофильтрация; разделение газов; электродиализ; диализ и др. Классификация процессов мембранного разделения растворов следующая: баромембранные (обратный осмос, нано-, ультра- и микрофильтрация); электромембранные (электродиализ, электроосмос и др.); электробаромембранные (электрогиперфильтрация, электронанофильтрация, электроультрафильтрация, электромикрофильтрация), движущими силами которых являются соответственно градиент давлений; градиент электрического потенциала; градиент давлений и градиент электрического потенциала (рис. 1) [1 – 6].

В работе проведен анализ укрупненных групп процессов мембранного разделения растворов, показано сравнение рассмотренных процессов мембранного разделения растворов по принципу действия движущей силы, которая накладывается на мембранный аппарат с размещенными в нем пористыми полупроницаемыми мембранами. Сравнительное исследование методов разделения растворов с применением мембран выявило, что наиболее распространенными, в настоящее время, являются процессы электромембранной очистки, что следует из литературных данных этой области. Хорошо зарекомендовавшими себя на производстве являются процессы баромембранного разделения растворов, а наиболее перспективными – электробаромембранные процессы [1 – 6].

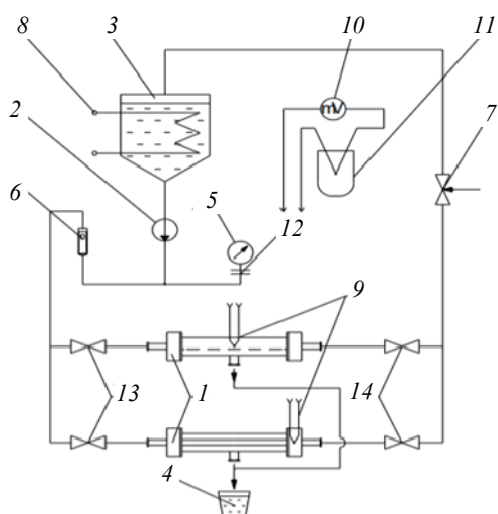


**Рис. 1. Классификация процессов мембранного разделения растворов**

Процесс фильтрации применяется для «грубой» фильтрации крупных частиц на следующих материалах: песке или кварце. Микрофльтрация – процесс разделения жидких, газовых смесей от частиц диаметром 100...0,1 мкм, который происходит в режиме с регенерацией обратным током жидкости или газа. Ультрафльтрация – процесс мембранного разделения, фильтрующий жидкость под действием перепада давления до и после мембраны при наличии высокомолекулярных соединений. Размер пор ультрафльтрационных мембран составляет 0,01...0,1 мкм. Мембранный электролиз – мембранный метод получения едкого натра и хлора, также называемый мембранным электролизом, основанный на электрохимическом разложении растворов хлорида натрия в электролизерах с твердым катодом и ионообменными (катионообменными) мембранами в качестве диафрагмы. Тем не менее необходимость решения новых задач приводит к поиску новых решений. В середине прошлого века созданы первый полупроводниковый диод и транзистор, и стали предприниматься попытки получения ионных аналогов данных электронных устройств. В это время появились так называемые биполярные мембраны, состоящие из двух (или более) слоев ионообменников, которые отличаются знаком электрического заряда катионообменных и анионообменных групп [1 – 6].

Рассмотрим установку, снабженную модулями микро- и ультрафльтрации для разделения исследуемых растворов (рис. 2). Основными элементами установки являются: насос, предназначенный для подачи разделяемого раствора в мембранные элементы с микро-, ультрафльтрационными пленками, при помощи которого создается давление; вентили, обеспечивающие регулирование давления в установке; термopара для контроля температурного режима осуществления процесса разделения; металлическая мембрана для предотвращения попадания раствора в движущие элементы манометра [7].

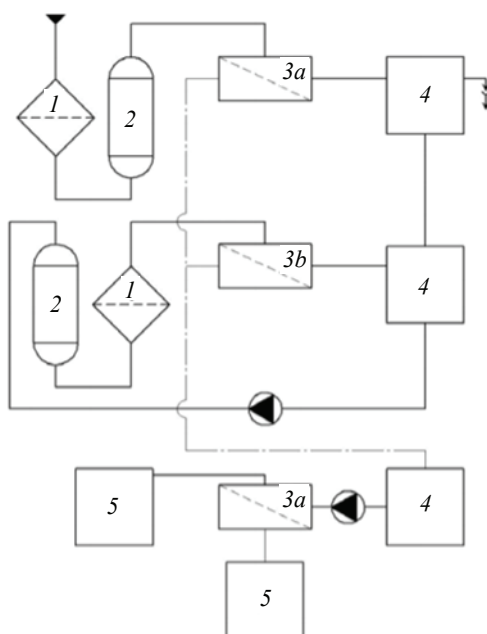
В работе [8] представлено исследование эффективности технологий переработки радиоактивно загрязненных растворов на основе коммерчески доступных гипер- и нанофльтрационных аппаратов в режиме гарантированного исключения



**Рис. 2. Прототип установки с последовательными процессами микрофильтрации, ультрафильтрации растворов:**

1 – мембранная ячейка; 2 – насос; 3 – питающий бак; 4 – бак для пермеата; 5 – манометр; 6 – ротаметр; 7 – вентиль регулировочный; 8 – змеевик; 9 –термопара; 10 – милливольтметр; 11 – сосуд Дьюара; 12 – разделитель; 13, 14 – вентили

переноса полизарядных металлов, обеспечивающих получение приемлемой для «вечной» изоляции формы радиоактивных отходов и вовлечение основной массы техногенно и радиоактивно загрязненных вод в промышленный оборот. Схема установки приведена на рис. 3. Система выполнена из двух ступеней, способных работать автономно.



**Рис. 3. Принципиальная схема установки:**

1 – микрофильтр; 2 – солерастворитель; 3a, 3b – гиперфильтрационный и нанофильтрационный (гиперфильтрационный) аппараты соответственно; 4, 5 – промежуточные и контрольные емкости соответственно

Первая ступень переработки включала в себя микрофильтр из волокнистого полипропилена стандарта SL-10' с декларированным размером пор 1,0 мкм, соле-растворитель для дозирования комплексона и гиперфильтрационный элемент Vontrop. Питательным раствором служила водопроводная вода сети г. Санкт-Петербурга, подаваемая на вход микрофильтра с допустимым для устойчивой работы элемента в режиме низконапорной гиперфильтрации давлением  $(0,32 \pm 0,02)$  МПа. Пермеат собирался в питательной емкости финишной ступени, а концентрат – в промежуточной емкости, снабженной переливным устройством для поддержания постоянного уровня питательного раствора, откуда самотеком передавался в питательную емкость второй ступени.

Вторая ступень представляла собой контур концентрирования биологически опасных компонентов и включала в себя: приемно-питательную емкость; питательный мембранный насос марки DLX с производительностью  $15 \text{ дм}^3/\text{ч}$  при давлении до 0,55 МПа; соле-растворитель для непрерывного дозирования лигандов; микрофильтр для защиты поверхности мембраны от вероятного механического воздействия образующихся в процессе дисперсных частиц [8].

В работе [9] представлена принципиальная схема обратноосмотической установки, состоящей из следующих основных элементов (рис. 4): емкости исходного раствора E1, пермеата E2 и концентрата E3; насосы высокого давления Н1, Н2; предварительные фильтры ФК1-2; мембранные разделительные модули ММ1-3. Установка оснащалась двухступенчатой системой мембранной очистки разделяемого раствора, причем на первой ступени установлены одновременно два мембранных модуля ММ1, ММ2, соединенных параллельно, а на второй – один ММ3.

Одними из наиболее распространенных аппаратов для мембранного разделения растворов являются электродиализаторы. Чаще всего такие аппараты состоят из следующих элементов (рис. 5): электродов, прокладок и ионообменных мембран (катионообменных и анионообменных мембран (МК, МА)), которые в свою очередь находятся в таком виде, чтобы между ними образовывалось не менее двух разделенных потоков. Электродиализ удаляет загрязняющие вещества путем пропускания исходного раствора через мембрану (на примере водного раствора). Установка электродиализного разделения растворов определяется комплексом технологических параметров, например, таких как схема установки, концентрация, свойства мембран, скорость потока, плотность тока. Эти понятия можно условно объединить в одно – производительность электродиализной установки. На примере переноса воды из разбавленного потока в поток концентрата можно говорить об эффективности процесса электродиализа [10].

Для исследования проницаемости использовалась экспериментальная установка, подробно представленная в работе [6]. Расчет коэффициента проницаемости по экспериментальным данным проводили по зависимости

$$\alpha = \frac{V}{F_m \tau P}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем собранного пермеата,  $\text{м}^3$ ;  $F_m$  – площадь рабочей поверхности пленки прямоугольного образца,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – время проведения эксперимента, с;  $P$  – трансмембранное давление, МПа.

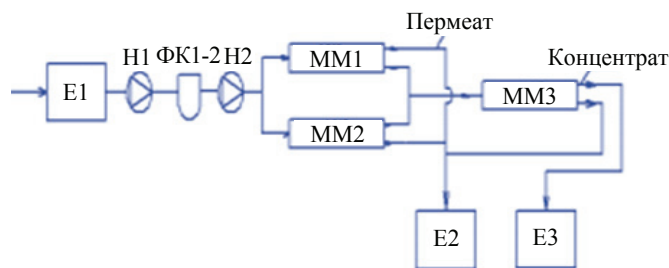
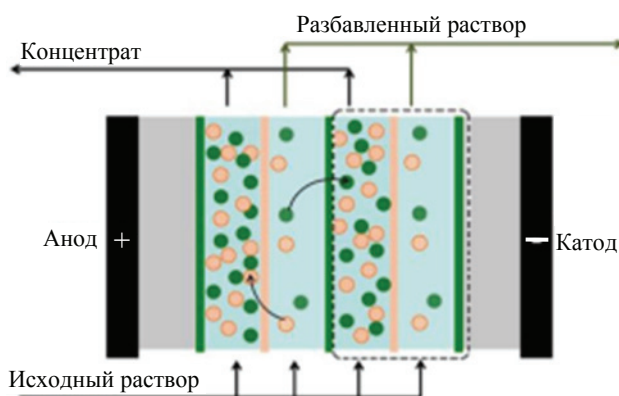


Рис. 4. Технологическая схема разделения сточной воды



**Рис. 5. Схема работы аппарата электродиализа:**  
 ● – анион; ● – катион; ■ – МК; ■ – МА

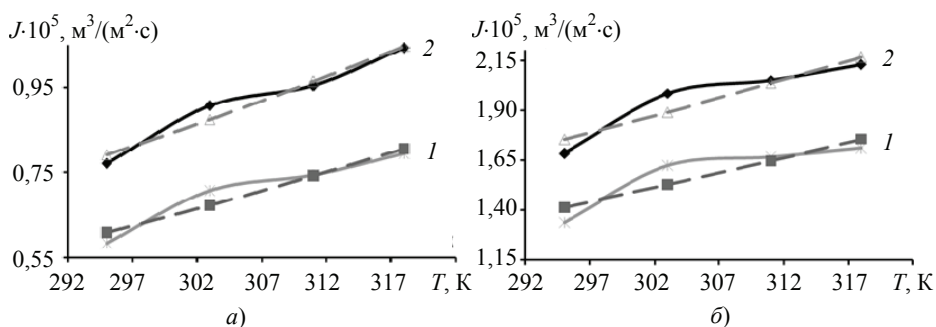
В экспериментальных исследованиях использовались образцы серийно выпускаемых пленок. Рабочие характеристики и свойства ацетатцеллюлозных пористых пленок приведены в табл. 1.

Трансмембранное давление является движущей силой баромембранного процесса, поэтому с ростом трансмембранного давления увеличивается производительность процесса мембранного разделения по растворителю. Исследование данных, приведенных для зависимостей удельного выходного потока от температурного воздействия и трансмембранного давления (рис. 6, кривые 1, 2), позволяет

Таблица 1

**Рабочие характеристики ацетатцеллюлозных пленок МГА-80П, МГА-95**

Размеры	Полупроницаемые пленки	
	МГА-95	МГА-80П
Трансмембранное давление $P$ , МПа	5,0	
Производительность по фильтрату при $T = 298\text{K}$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	$9,16 \cdot 10^{-6}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент задерживания, по 0,15 % NaCl	0,95	0,80
Рабочий диапазон, рН	3...8	
Максимальная температура, К	322	



**Рис. 6. Зависимости удельного выходного потока для ацетатцеллюлозных пленок МГА-95 (а) и МГА-80П (б) от температурного воздействия и трансмембранного давления, МПа:**

1 – 3; 2 – 4; — — эксперимент; - - - - расчет

отметить, что с повышением температуры удельный выходной поток на небольшом интервале резко возрастает как для ацетатцеллюлозной пленки МГА-95, так и МГА-80П, а затем до температуры 318 К возрастает монотонно, о чем свидетельствует более плавный наклон кривой проницаемости в сторону возрастания.

В таблице 2 приведены экспериментальные данные по гидродинамической проницаемости мембран для пористых пленок МГА-95, МГА-80П. Зависимости проницаемости через исследуемые ацетатцеллюлозные пористые пленки от температурного воздействия при выбранном диапазоне варьирования трансмембранного давления отличаются друг от друга, что, вероятно, свидетельствует о различной структуре активного слоя и подложки пленок (мембран), диаметра пор и их форме в поверхностном (активном) слое и поровом (межволоконном) пространстве подложки. Поры имеют различную форму и образуют сорбционное пространство мембраны. Вероятно, сорбционное пространство у МГА-80П выше, чем у МГА-95. Количественный анализ проницаемости мембран по воде также выше для МГА-80П, чем для МГА-95, что вызвано высокой скоростью поглощения воды материалом мембраны, то есть большей сорбционной способностью по воде для мембраны МГА-80П.

Кривые 1 и 2 удельного выходного потока и данные проницаемости представляют собой процесс повышения удельного выходного потока в зависимости от возрастания температурного воздействия, при прочих равных условиях, для исследуемых перегородок (см. рис. 6 и табл. 2). При начальном росте температуры на 10 °С отмечается возрастание потока по воде на ~ 18 %, что обусловлено структурными изменениями в ацетатцеллюлозном слое, а дальнейшее повышение температуры на 15 °С приводит к менее интенсивному возрастанию проницаемости на ~ 10 %. Подобные явления связаны с процессом структурной перестройки в активном слое и полимерной подложке для мембран МГА-95 и МГА-80П соответственно.

Таблица 2

**Зависимость проницаемости от температуры и трансмембранного давления для мембраны МГА-95, МГА-80П**

τ, с	Мембрана	T, К	P, МПа	$\alpha \cdot 10^5, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{МПа})$		m	n
				эксперимент	расчет		
900	МГА-95	3,0	295	0,195	0,203	1,054	3,717
			303	0,236	0,225		
			311	0,248	0,247		
			318	0,265	0,269		
		4,0	295	0,193	0,198	1,026	3,730
			303	0,227	0,219		
			311	0,239	0,241		
			318	0,261	0,262		
	МГА-80П	3,0	295	0,446	0,471	1,119	2,886
			303	0,541	0,509		
			311	0,556	0,548		
			318	0,570	0,585		
		4,0	295	0,421	0,438	1,041	2,814
			303	0,496	0,473		
			311	0,512	0,509		
			318	0,532	0,541		

Из данных (см. рис. 6, табл. 2), процесс изменения  $J$  и  $\alpha$  от температурного воздействия и трансмембранного давления удовлетворительно описывается соответственно расчетными функциями с эмпирическими коэффициентами для гидродинамической проницаемости  $\alpha_{\text{расч}}$  и удельного выходного потока  $J_{\text{расч}}$ :

$$\alpha_{\text{расч}} = \frac{J_{\text{расч}}}{P}; \quad (2)$$

$$J_{\text{расч}} = m\alpha_0 P \left( \frac{T_0}{T} \right)^n, \quad (3)$$

где  $\alpha_0$  – проницаемость по дистиллированной воде при 295 К,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{МПа})$ ;  $T_0$  – комнатная температура, К.

Значения эмпирических коэффициентов  $m$ ,  $n$  и других расчетных параметров для уравнения (3) приведены в табл. 2.

Перспективность внедрения новых мембранных технологий востребована временем, поэтому существует необходимость в разработке конструкций аппаратов нового поколения, которые позволят снизить эффект концентрационной поляризации в тонких межмембранных каналах и осуществить процесс разделения растворов с получением приемлемых данных по проницаемости и удельному выходному потоку растворителя [11, 12].

### Заключение

Аналитический обзор современных методов и процессов разделения растворов с применением мембран позволил сформулировать принцип классификации мембранных процессов разделения. Эксперименты по изучению поведения гидродинамической проницаемости мембран от трансмембранного давления и температурного воздействия показывают характерные периоды переноса растворителя.

Первоначальный рост температуры на 10 °С стимулирует возрастание потока воды на ~ 18 %. Данный факт объясняется структурными изменениями в ацетатцеллюлозном слое. Дальнейшее возрастание температуры на 15 °С приводит к менее интенсивному возрастанию проницаемости на ~ 10 %. Подобные явления связаны с процессом структурной перестройки в активном слое и полимерной подложке мембран для МГА-95 и МГА-80П соответственно. На основе полученных экспериментальных данных по проницаемости растворителя через мембраны МГА-80П и МГА-95 предложены эмпирические зависимости кинетических характеристик от трансмембранного давления и температурного воздействия.

### Список литературы

1. Сравнительное исследование методов разделения технологических растворов и сточных вод гальванических производств / О. А. Ковалева, С. И. Лазарев, Д. Н. Коновалов, С. В. Ковалев // Вестн. Техн. ун-та. – 2018. – Т. 21, № 5. – С. 58 – 63.
2. Кинетические зависимости и технологическая эффективность электрохимического мембранного разделения сточных вод на предприятиях / О. А. Абоносимов, М. А. Кузнецов, О. А. Ковалева [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 641 – 655. doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.641-655
3. Пат. 2522882 Российская Федерация, МПК В01Д 61/42. Электробаромембранный аппарат рулонного типа / С. В. Ковалев, С. И. Лазарев, О. А. Абоносимов, О. А. Соломина, К. С. Лазарев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – № 2013117190/05; заявл. 15.04.2013; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20. – 17 с.

4. Анализ морфологии поверхности микрофильтрационных мембран МФФК, МПС методом атомной силовой микроскопии / О. А. Ковалева, С. И. Лазарев, И. А. Осипова [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 608 – 615.
5. Ковалева, О. А. Разделение послеспиртовой меласной барды на пористых мембранах УФМ-50<sup>®</sup>, УПМ-50М<sup>®</sup>, ОПМН-П<sup>®</sup> и ОФАМ-К<sup>®</sup> / О. А. Ковалева, С. В. Ковалев // Мембраны и мембранные технологии. – 2017. – Т. 7, № 3. – С. 213 – 224. doi: 10.1134/S221811721703004X
6. Ковалева, О. А. Влияние трансмембранного давления на микрофильтрационное концентрирование дрожжевой биомассы / О. А. Ковалева, С. И. Лазарев, С. В. Ковалев // Мембраны и мембранные технологии. – 2017. – Т. 7, № 5. – С. 358 – 368. doi: 10.1134/S2218117217050042
7. Тимкин, В. А. Исследование и разработка баромембранных процессов производства творога в последовательности «микрофильтрация – ультрафильтрация» / В. А. Тимкин // Аграрный вестник Урала. – 2018. – № 6 (173). – С. 44 – 58.
8. Чугунов, А. С. Нанофильтрационное фракционирование компонентов радиоактивных растворов – метод сокращения объема изолируемых отходов / А. С. Чугунов, В. А. Винницкий // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2019. – № 1. – С. 51 – 61. doi: 10.26583/npe.2019.1.05
9. Шитова, В. О. Особенности очистки сточных вод от двухвалентных металлов высоконапорным обратным осмосом / В. О. Шитова // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. 28, № 2 (151). – С. 8 – 11.
10. Джубари, М. К. Эффективность электродиализа при очистке промышленных сточных вод / М. К. Джубари, Н. В. Алексеева // Вестник Техн. ун-та. – 2020. – Т. 23, № 7. – С. 33 – 39.
11. Коэффициенты диффузионной проницаемости кальция серноокислого через мембранные элементы трубчатого вида / С. И. Лазарев, В. В. Мамонтов, С. В. Ковалев, К. С. Лазарев // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и хим. технология. – 2007. – Т. 50, № 5. – С. 120 – 122.
12. Ковалев, С. В. Методика исследования гидродинамической проницаемости мембран от градиента давления и температуры / С. В. Ковалев // Мембраны и мембранные технологии. – 2013. – Т. 3, № 3. – С. 191 – 198. doi: 10.1134/S2218117213030061

---

## **The Study of the Correlation between a Specific Output Flow of Acetate Cellulose Films and the Pressure Gradient, Temperature and Classification of the Processes of Membrane Separation of Solutions**

S. I. Lazarev<sup>1</sup>, A. A. Arzamastsev<sup>1</sup>, V. Yu. Ryzhkin<sup>1</sup>, O. A. Kovaleva<sup>1,3</sup>,  
D. S. Lazarev<sup>1</sup>, V. M. Dmitriev<sup>2</sup>, T. A. Khromova<sup>1</sup>

*Department of Mechanics and Engineering Graphics (1), kafedra\_mig@mail.ru;  
“Nature Management and Environmental Protection” (2), TSTU;  
Department of Mathematical Modeling and Information Technologies (3),  
Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia*

**Keywords:** electroplating; membrane; process; separation; solution; technology; electromembrane method.

**Abstract:** A comparative study of the application of membrane, electromembrane and electrobaromembrane technologies for various industries in the field of wastewater treatment and technological solutions is presented. The principle



of classification of membrane separation processes is formulated. The characteristic periods of the solvent transfer stimulation were determined. Based on the experimental data obtained on the permeability of the solvent through the MGA-80P and MGA-95 membranes, empirical dependences are proposed that describe the kinetic characteristics of the dependence from transmembrane pressure and temperature effects.

### References

1. Kovaleva O.A., Lazarev S.I., Konovalov D.N., Kovalev S.V. [Comparative study of methods of separation of technological solutions and waste waters of galvanic industries], *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2018, vol. 21, no. 5, pp. 58-63. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Abonosimov O.A., Kuznetsov M.A., Kovaleva O.A., Polikarpov V.M., Dmitriyev V.M. [Kinetic dependences and technological efficiency of electrochemical membrane separation of wastewater at enterprises], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 4, pp. 641-655, doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.641-655 (In Russ., abstract in Eng.)
3. Kovalev S.V., Lazarev S.I., Abonosimov O.A., Solomina O.A., Lazarev K.S. *Elektrobaromembrannyy apparat rulonnogo tipa* [Electrobaromembrane roll-type apparatus], Russian Federation, 2014, Pat. 2522882 (In Russ.)
4. Kovaleva O.A., Lazarev S.I., Osipova I.A., Kovalev S.V., Polyanskiy K.K. [Analysis of the surface morphology of microfiltration membranes MPFK, MPS by atomic force microscopy], *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy* [Sorption and chromatographic processes], 2017, vol. 17, no. 4, pp. 608-615. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Kovaleva O.A., Kovalev S.V. [Separation of post-alcohol molasses stillage on porous membranes UFM-50<sup>®</sup>, UPM-50M<sup>®</sup>, OPMN-P<sup>®</sup> and OFAM-K<sup>®</sup>], *Membrany i membrannyye tekhnologii* [Membranes and membrane technologies], 2017, vol. 7, no. 3, pp. 213-224, doi: 10.1134/S221811721703004X (In Russ., abstract in Eng.)
6. Kovaleva O.A., Lazarev S.I., Kovalev S.V. [Influence of transmembrane pressure on microfiltration concentration of yeast biomass], *Membrany i membrannyye tekhnologii* [Membranes and membrane technologies], 2017, vol. 7, no. 5, pp. 358-368, doi: 10.1134/S2218117217050042 (In Russ., abstract in Eng.)
7. Timkin V.A. [Research and development of baromembrane processes for the production of cottage cheese in the sequence "microfiltration - ultrafiltration"], *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2018, no. 6 (173), pp. 44-58. (In Russ.)
8. Chugunov A.S., Vinnitskiy V.A. [Nanofiltration fractionation of components of radioactive solutions - a method for reducing the volume of isolated waste], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika* [Izvestiya vysshikh educational institutions. Nuclear energy], 2019, no. 1, pp. 51-61, doi: 10.26583/npe.2019.1.05 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Shitova V.O. [Features of wastewater treatment from divalent metals by high-pressure reverse osmosis], *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2014, vol. 28, no. 2 (151), pp. 8-11. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Dzhubari M.K., Alekseyeva N.V. [Efficiency of electrodialysis in industrial wastewater treatment], *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2020, vol. 23, no. 7, pp. 33-39. (In Russ., abstract in Eng.)
11. Lazarev S.I., Mamontov V.V., Kovalev S.V., Lazarev K.S. [Coefficients of diffusion permeability of calcium sulfate through membrane elements of tubular type], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology], 2007, vol. 50, no. 5, pp. 120-122. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Kovalev S.V. [Methods for studying the hydrodynamic permeability of membranes from the pressure and temperature gradient], *Membrany i membrannyye tekhnologii* [Membranes and membrane technologies], 2013, vol. 3, no. 3, pp. 191-198, doi: 10.1134/S2218117213030061 (In Russ.)

---

### **Untersuchung der Abhängigkeit des spezifischen Ausgangsflusses der Acetatcellulose-Folien von Druckgradienten, Temperatur und Klassifizierung der Membrantrennverfahren**

**Zusammenfassung:** Es ist eine vergleichende Studie zum Einsatz von Membran-, Elektromembran- und Elektrobarmembrantechnologien für verschiedene Branchen im Bereich Abwasserbehandlung und technologische Lösungen vorgestellt. Das Prinzip der Klassifizierung von Membrantrennprozessen ist formuliert. Die charakteristischen Perioden der Lösungsmitteltransferstimulation sind bestimmt. Auf der Grundlage der erhaltenen experimentellen Daten zur Permeabilität des Lösungsmittels durch die MGA-80P- und MGA-95-Membranen sind empirische Abhängigkeiten vorgeschlagen, die die kinetischen Eigenschaften der Abhängigkeit von Transmembrandruck- und Temperatureffekten beschreiben.

---

### **Étude de la dépendance du flux de la sortie spécifique des films d'acétate de cellulose du gradient de la pression, de la température et de la classification des processus de la séparation membranaire des solutions**

**Résumé:** Est présentée une étude comparative des applications des technologies membranaires, électromembranaires et électrobarmembranaires pour diverses industries dans le domaine du traitement des eaux usées et des solutions technologiques. Est formulé le principe de la classification des processus de la séparation membranaire. Sont déterminées les périodes caractéristiques de la stimulation du solvant. A la base des données expérimentales sur la perméabilité du solvant à travers les membranes MGA-80P et MGA-95, sont proposées des dépendances empiriques décrivant les caractéristiques cinétiques en fonction de la pression transmembranaire et de l'exposition à la température.

---

**Авторы:** *Лазарев Сергей Иванович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика и инженерная графика»; *Арзамасцев Александр Анатольевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Механика и инженерная графика»; *Рыжкин Владимир Юрьевич* – аспирант кафедры «Механика и инженерная графика»; *Ковалева Ольга Александровна* – доктор технических наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО «ТГТУ»; профессор кафедры «Математическое моделирование и информационные технологии», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина»; *Лазарев Дмитрий Сергеевич* – аспирант кафедры «Механика и инженерная графика»; *Дмитриев Вячеслав Михайлович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Природопользование и защита окружающей среды»; *Хромова Татьяна Александровна* – аспирант кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Абоносимов Олег Аркадьевич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.