



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.081.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.026



## РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ БЕТА-НАФТОЛ

Надежда Вячеславовна Алексеева<sup>1</sup>, Егор Дмитриевич Романов<sup>2</sup>,  
Артём Викторович Рухов<sup>3</sup>, Константин Игоревич Мартьянов<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

<sup>1</sup> alekseeva.nv@mail.tstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9335-0477>

<sup>2</sup> egor\_romanov68@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1096-3265>

<sup>3</sup> artem1@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9194-8099>

<sup>4</sup> АО «Пигмент», Тамбов, Россия, mki\_clo@krata.ru

**Аннотация.** Процессы разделения водных растворов являются одними из наиболее сложных процессов химической технологии. Многокомпонентность образующихся в химической технологии сточных вод не позволяет разработать универсальную технологию разделения. Для химического предприятия чистая вода является важным природным ресурсом, от качества которого зависит качество выпускаемой продукции. Ухудшение экологической ситуации, в частности с добываемой природной водой, стало причиной создания на предприятиях линий водоподготовки, что привело к дополнительным производственным затратам. Организация на химическом предприятии технологической линии разделения сточных вод, образующихся в процессе производства, позволит организовать частично замкнутый цикл по используемой воде, что сократит затраты на закачку и водоподготовку добываемой воды и уменьшит количество сбрасываемых сточных вод. В работе рассмотрен процесс разделения образующихся при производстве пигментов фильтратов – водных растворов, одним из компонентов которого является бета-нафтол. Осуществляемый на производстве процесс обратноосмотического разделения характеризуется явлением «загрязнения» поверхности мембран, что влечет за собой снижение производительности установки. В исследовании изучена природы «загрязнения» поверхности мембран, рассмотрена возможность нанофильтрационного предварительного разделения водных растворов, содержащих бета-нафтол, проведены экспериментальные исследования нанофильтрационного разделения фильтрата производства пигмента алого Ж при различных параметрах разделяемого раствора. Полученные результаты показали эффективность применения нанофильтрационного разделения исследуемых растворов с целью предварительной подготовки перед последующим обратноосмотическим разделением.

**Ключевые слова:** бета-нафтол, нанофильтрация, разделение, обратный осмос, сточные воды, фильтрат, мембрана.

**Благодарности:** автор выражает признательность коллегам из АО «Пигмент» за помощь.

**Для цитирования:** Алексеева Н. В., Романов Е. Д., Рухов А. В., Мартьянов К. И. Разделение водных растворов, содержащих бета-нафтол // Ползуновский вестник. 2024. №3. С. 176 – 180. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.026, EDN: <https://elibrary.ru/JLTTPS>.

Original article

## SEPARATION OF AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING BETA-NAPHTHOL

Nadezda V. Alekseeva<sup>1</sup>, Egor D. Romanov<sup>2</sup>, Artem V. Rukhov<sup>3</sup>,  
Konstantin I. Martyanov<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>1</sup> alekseeva.nv@mail.tstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9335-0477>

<sup>2</sup> egor\_romanov68@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1096-3265>

© Алексеева Н. В., Романов Е. Д., Рухов А. В., Мартьянов К. И., 2024

<sup>3</sup>artem1@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9194-8099>

<sup>4</sup>JSC Pigment, Tambov, Russia, mki\_clo@krata.ru

**Abstract.** *The processes of separation of aqueous solutions are among the most complex processes in chemical technology. The multicomponent nature of aqueous solutions formed in chemical technology does not allow the development of a universal separation technology. For a chemical enterprise, clean water is an important natural resource, the quality of which determines the quality of products. The deterioration of the environmental situation, in particular with the extracted natural water, has led to the creation of water treatment lines at enterprises, which leads to additional production costs. The organization of a technological line for the separation of wastewater generated during the production process at a chemical enterprise will allow organizing a partially closed cycle for the water used, which will reduce the cost of pumping and water treatment of produced water and reduce the amount of wastewater discharged. The paper considers the process of separation of filtrates formed during the production of pigments - aqueous solutions, one of the components of which is beta-naphthol. The process of reverse osmosis separation carried out in production is characterized by the phenomenon of "contamination" of the membrane surface, which entails a decrease in the productivity of the installation. In the study, the nature of the "contamination" of the membrane surface was studied, the possibility of nanofiltration preliminary separation of aqueous solutions containing beta-naphthol was considered, experimental studies were carried out on the nanofiltration separation of the filtrate from the production of scarlet G pigment at various parameters of the separated solution. The results obtained showed the effectiveness of the nanofiltration separation of the studied solutions for the purpose of preliminary preparation before the subsequent reverse osmosis separation.*

**Keywords:** beta-naphthol, nanofiltration, separation, reverse osmosis, wastewater, filtrate, membrane.

**Acknowledgements:** the author expresses gratitude to his colleagues from JSC Pigment for their help.

**For citation:** Alekseeva, N. V., Romanov, E. D., Rukhov, A. V & Martyanov, K. I. (2024). Separation of aqueous solutions containing beta-naphthol. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 176-180. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.026. EDN: <https://elibrary.ru/JLTTPS>.

## ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие химической промышленности направлено в сторону создания замкнутых технологий и сокращения отходов. Химические предприятия характеризуются большими объемами сточных вод. Вода в производствах химического синтеза используется как в процессе производства, так и на технологические нужды. Разделение образующихся сточных вод позволяет организовать повторное использование воды, снизить водопотребление всего производства и уменьшить количество сточных вод. Наиболее распространенным процессом получения чистой воды является обратноосмотическое разделение водных растворов, которое наиболее эффективно применяется для разделения разбавленных растворов. Основным негативным фактором при осуществлении обратноосмотического разделения является загрязнение поверхности обратноосмотических мембран. Для снижения степени загрязнения поверхности мембран используют различные методы: увеличение скорости и изменение кислотности раствора [1], модификация поверхности мембран [2], периодическая регенерация мембран [3].

## МЕТОДЫ

Бета – нафтол является широко используемым промежуточным продуктом для производства красителей и других соединений и содержится в сточных водах производства пигментов, которые представляют собой фильтрат и про-

мывные воды. Наибольшая концентрация бета – нафтола наблюдается в фильтрате на стадии фильтрования суспензии пигмента. Так, при производстве пигмента алого Ж образуется фильтрат, состав которого представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав фильтрата пигмента алого Ж  
Table 1 – Composition of the filtrate of the scarlet pigment Ж

Наименование компонента	Содержание, кг/тонна пигмента	Концентрация, кг/м <sup>3</sup>
Серная кислота	3,2	0,09
Бета-нафтол	5,9	0,18
Побочные продукты сочетания	10,4	0,31
Соляная кислота	286,9	8,66
Хлорид натрия	465,5	14,05
Вода	32350,5	
Всего	33122,4	

Практика промышленного использования обратноосмотического процесса очистки сточных вод производства пигмента алого Ж на элементах рулонного типа с целью получения чистой воды для повторного использования показала снижение во времени производительности установки. Промывка мембранного модуля повышает производственные показатели, но не до первоначального уровня. В итоге после трех лет работы с регулярной промывкой необходима замена мембранного элемента. Анализируя состав сточных вод, можно сказать, что в про-

цессе загрязнения поверхности мембран могут участвовать любые побочные продукты сочетания или полупродукты синтеза пигмента, включая бета-нафтол. Для определения состава осадка на поверхности мембраны был взят образец со спиля отработанного рулонного элемента. Образцы осадка исследовались методами ИК-Фурье спектроскопии с использованием прибора ФТ-801, оснащенного приставкой полного отражения. Сравнение полученных данных с базой данных показало совпадение полос поглощения с бета - нафтолом.

Бета-нафтол (2-нафтол) представляет собой флуоресцентное бесцветное (или иногда желтое) кристаллическое твердое вещество, имеющий слабый запах фенола с формулой  $C_{10}H_7OH$ . Он плохо растворим в воде, летуч с водяным паром и светочувствителен.

Качественное определение бета-нафтола в растворе проведено с помощью реакции образования соли фиолетового оттенка при взаимодействии бета-нафтола и хлорида железа (III).

Снижение явления загрязнения поверхности обратноосмотических мембран соединениями бета - нафтола возможно несколькими способами:

1. перевод бета - нафтола в водорастворимое состояние;

2. предварительная обработка раствора с целью удаления нерастворимых в воде соединений.

Растворимость бета - нафтола в воде зависит от температуры и кислотности раствора. При повышении температуры и значения pH растворимость бета - нафтола растет. Увеличение рабочей температуры и уровня кислотности обрабатываемого раствора ограничено требо-

ваниями к условиям эксплуатации обратноосмотических мембран – максимальной температурой (40°C) и диапазоном кислотности раствора (pH от 3 до 8) [4], что не позволяет полностью достичь поставленной цели и перевести весь бета-нафтол в растворимое состояние.

В качестве предварительной обработки для удаления нерастворимых в воде соединений предлагается нанофильтрационное разделение. Изучение процесса разделения проведено на экспериментальной установке периодического действия, схема которой представлена на рисунке 1. Обрабатываемый раствор циркулирует в установке, непрерывно происходит отбор фильтрата.

Подача обрабатываемого раствора осуществляется из емкости 1 плунжерным насосом 2 через ресивер 3 (в который подается воздух компрессором 4 для компенсации перепадов давления в установке) в двухкамерную ячейку плоскорулонного типа 5 и затем возвращается в емкость 1. Скорость движения раствора в мембранных каналах контролируется по ротаметрам 6 и 7 и регулируется с помощью вентилялей 8, 9 и 10. Контроль и блокировка установки в случаях превышения давления выше критического осуществляется с помощью электрического щита 13, включающего в себя тумблеры 14, 15, образцовый манометр 17, электронно-контактный манометр 20. Для контроля давления в ресивере предусмотрен манометр 16. Отбор фильтрата осуществляется в емкости 18 и 19. Размер камер мембранной ячейки в собранном виде составляет 210×90×2 мм. Рабочая площадь мембран в каждой камере разделения - 0,019 м<sup>2</sup>.

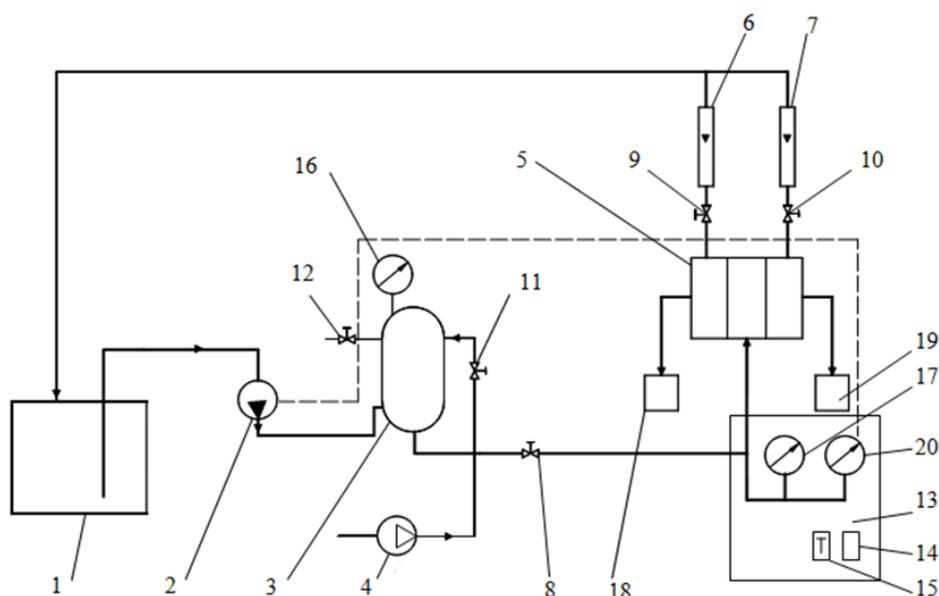


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Figure 1 – Diagram of the experimental installation

Для исследования использована нанофильтрационная мембрана на основе полиамида производства компании Владипор, основные рабочие характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики нанофильтрационной мембраны

Table 2 – Characteristics of the nanofiltration membrane

Материал	Полиамид
Рабочее давление, МПа	1,6
Рабочий диапазон pH	2-12
Максимальная температура, °C	45

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Разделению подвергался фильтрат, образующийся при производстве пигмента алого Ж с содержанием бета – нафтола 0,18 кг/м<sup>3</sup> при различных температурах и уровне кислотности:

- исходный ( $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $pH = 2,1$ ) – раствор № 1;
- подогретый ( $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $pH = 2,1$ ) – раствор № 2;
- нейтрализованный ( $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $pH = 5$ ) – раствор № 3.

Рабочее давление в мембранном модуле изменялось от 1 до 1,5 МПа. В результате получена зависимость удельной проницаемости нанофильтрационной мембраны от рабочего давления в мембранном канале (рис. 2).

Отсутствие бета – нафтола во всех полученных образцах фильтрата подтверждает эффективность использования нанофильтрационного способа очистки сточных вод от бета-нафтола.

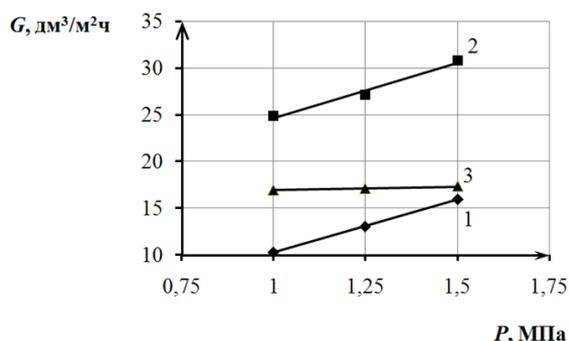


Рисунок 2 – Зависимость удельной проницаемости нанофильтрационных мембран ОПМН-К от рабочего давления в ячейке:

- 1 – раствор №1, 2 – раствор № 2,
- 3 – раствор № 3

Figure 2 – Dependence of the specific permeability of OPMN-K nanofiltration membranes on the operating pressure in the cell:

- 1 – solution No. 1, 2 – solution No. 2,
- 3 – solution No. 3

### ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным экспериментальным данным удельная проницаемость нанофильтрационных мембран в процессе разделения водных растворов, содержащих бета – нафтол, повышается при повышении рабочего давления и температуры раствора, что согласуется с литературными данными [5]. Влияние кислотности раствора имеет обратный характер, что объясняется природой растворенного вещества и изменением его растворимости в зависимости от кислотности. При повышении величины pH растворимость бета-нафтола увеличивается, таким образом, в растворе № 3 растворимого в воде бета-нафтола больше, чем в первом и втором растворах. С ростом рабочего давления усиливается проявление концентрационной поляризации, концентрация растворенного бета-нафтола с отдающей стороны мембраны растет, что приводит к ухудшению транспортных характеристик мембраны и снижению роста удельной проницаемости при увеличении давления в аппарате. Таким образом, предварительную нанофильтрационную очистку сточных вод перед обратноосмотическим разделением целесообразно проводить при повышенной температуре в рамках эксплуатационного температурного интервала используемых мембран, без нейтрализации и с последующим охлаждением обрабатываемого раствора.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования предложено предварительное нанофильтрационное разделение сточных вод перед обратноосмотической очисткой. Установлена эффективность нанофильтрационного разделения водных растворов, содержащих бета – нафтол. Показано увеличение удельной проницаемости нанофильтрационных мембран при повышении температуры и снижении кислотности обрабатываемого раствора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию . Москва .: ДеЛипринт . 2007. 208 с .
2. Перспективы развития мембранной науки П.Ю. Апель [и др.]. // Мембраны и мембранные технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 59-80. doi: 10.1134/S2218117219020020.
3. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Лазарев К.С. Регенерация обратноосмотических и электроосмофильтрационных мембран при разделении сульфатсодержащих растворов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2010. № 2. С. 78-80.
4. ЗАО НТЦ «Владипор»: официальный сайт. – Владимир. – URL: <https://vladipor.ru/>
5. Голованева Н.В., Каграманов Г.Г., Фарносова Е.Н. Нанофильтрационная очистка воды от

солей жесткости // Вода: Химия и экология. № 5, 2014, С. 36 – 41.

### **Информация об авторах**

*Н. В. Алексеева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» Тамбовского государственного технического университета;*

*Е. Д. Романов – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» Тамбовского государственного технического университета;*

*А. В. Рухов – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химия и химические технологии» Тамбовского государственного технического университета;*

*К. И. Мартьянов – кандидат технических наук, заместитель начальника центральной лаборатории АО «Пигмент».*

### **REFERENCES**

1. Svittsov, A.A. (2007) *Introduction to Membrane Technology*. Moscow: DeLiprint. (In Russ.).
2. Apel, P.Yu., Bobreshova O.V., Volkov A.V., Volkov V.V., Nikonenko V.V., Stenina I.A., Filippov A.N., Yampolskii Yu.P. & Yaroslavtsev A.B. (2019) Prospects of membrane science development. *Membranes and Membrane Technologies*. (2), 45-63. (In Russ.).doi: 10.1134/S2218117219020020.
3. Kovalev, S.V., Lazarev, S.I. & Lazarev K.S.

(2010) Regeneration of reverse osmosis and electroosmofiltration membranes when separating sulfate-containing solutions. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. (2), 78-80 (In Russ.).

4. Sait the company CJSC Scientific and Technical Center "Vladipor" Retrieved from <https://vladipor.ru/> (In Russ.).

5. Golovaneva N.V., Kagramanov G.G. & Farnosova Ye.N. (2014) Nanofiltration water purging of hardness salts. *Water: chemistry and ecology*. (5), 36-41. (In Russ.).

### **Information about the authors**

*N. V. Alekseeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Technological processes, devices and technospheric safety» of the Tambov State Technical University;*

*E. D. Romanov, graduate student of the Department of «Technological processes, devices and technospheric safety» of the Tambov State Technical University;*

*A. V. Rukhov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of «Chemistry and chemical technology» of the Tambov State Technical University;*

*K. I. Martyanov, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Central Laboratory JSC "Pigment".*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 26 ноября 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.*

*The article was received by the editorial board on 26 Nov 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.*